

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,  
INFORMÁTICA Y MECÁNICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**TESIS**

**DISEÑO DE UN MULTICULTOR PARA ACTIVIDADES  
AGRÍCOLAS DEL CULTIVO DE MAÍZ BLANCO GIGANTE EN  
TERRENOS DE LA COMUNIDAD DE URCO DISTRITO DE  
CALCA – CUSCO**

**PRESENTADO POR:**

Br. JUAN CARLOS LOAIZA TAIPE

Br. ELVIS RENE SUNI PACCO

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO MECÁNICO**

**ASESOR:**

Ing. ROOSBEL DENNIS MAMANI CASTILLO

**CUSCO – PERÚ**

**2026**



# Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

## INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el **Asesor** ROOSBEL DENNIS MAMANI CASTILLO.....  
..... quien aplica el software de detección de similitud al  
trabajo de investigación/tesis titulada: DISEÑO DE UN MULTICULTOR  
PARA ACTIVIDADES AGRÍCOLAS DEL CULTIVO DE  
MAÍZ BIANCO GIGANTE EN TERRENOS DE LA  
COMUNIDAD DE URCO DISTRITO DE CALCA - CUSCO

Presentado por: JUAN CARLOS LOAIZA TAIPE DNI N° 46307316 ;  
presentado por: ELVIS RENE SUNI PACCO DNI N°: 47262370  
Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO MECÁNICO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 01 veces, mediante el  
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de**  
**Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 4 %.

### Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

| Porcentaje     | Evaluación y Acciones                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Marque con una (X)                  |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Del 1 al 10%   | No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.                                                                                                                                                                                                                                                               | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Del 11 al 30 % | Devolver al usuario para las subsanaciones.                                                                                                                                                                                                                                                                     | <input type="checkbox"/>            |
| Mayor a 31%    | El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley. | <input type="checkbox"/>            |

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto**  
las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 22 de AGOSTO de 2026

  
Firma

Post firma ROOSBEL DENNIS MAMANI CASTILLO

Nro. de DNI 24002331

ORCID del Asesor 0000-0002-8998-184X

### Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: 27259:616283538

# RElvis Suni JCarlos Taype

## DISEÑO DEL MULTICULTOR (3).pdf

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:616283538

Fecha de entrega

22 ago 2026, 1:14 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

22 ago 2026, 5:15 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

DISEÑO DEL MULTICULTOR (3).pdf

Tamaño del archivo

16.2 MB

319 páginas

63.622 palabras

308.256 caracteres

# 4% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

## Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 12 palabras)

## Fuentes principales

- 3%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 3%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Marcas de integridad

### N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**  
58 caracteres sospechosos en N.º de páginas  
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

## **Dedicatoria**

A Dios, por ser mi guía, fortaleza y darme sabiduría en cada paso de este camino.

A mis padres Miguel Suni Huillca y Lucia Pacco Mamani, por su amor, esfuerzo y apoyo incondicional.

A mis hermanos Ruben, Edgar, Amilcar, Yujan y Berly por su constante apoyo y motivación.

A mi abuelita Valentina y Leonidas (Q. E. P. D.), por su cariño y enseñanzas.

A mi novia Yudi Silvia, por su paciencia, apoyo y por acompañarme en cada paso.

Elvis Rene Suni Pacco

A mis abuelos, Saturnino Taipe Chacón y Genoveva Bolaños Ramos, y a la memoria de un gran compañero y amigo de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Yehison

Mamani Figueroa, quien nos dejó este último año.

Juan Carlos Loaiza Taipe

## **Agradecimiento**

Agradecemos profundamente al Mgt. Mamani Castillo, Roosbel Dennis por su guía y orientación en el desarrollo de esta tesis.

También expresamos nuestro reconocimiento a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica por su formación y apoyo.

Finalmente, agradecemos a nuestros amigos y compañeros por su compañía y colaboración durante todo este proceso.

## Resumen

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad el diseño de un Multicultor orientado a mejorar y optimizar las actividades agrícolas del cultivo de maíz blanco gigante en la comunidad de Urco. La máquina Multicultor versátil y multifuncional ha sido concebida como una alternativa tecnológica accesible, eficiente y adecuada a las condiciones productivas, topográficas y socioeconómicas particulares de la zona, con el propósito de reducir el esfuerzo físico del agricultor, disminuir los tiempos de operación y mejorar la eficiencia del proceso agrícola.

Para el desarrollo del diseño, se empleó los criterios de diseño de norma alemana VDI 2221 – 2225, la cual permitió estructurar de manera sistemática el proceso de diseño conceptual, desde la identificación de necesidades hasta la definición de soluciones técnicas.

Asimismo, se realizó el cálculo y la selección de los elementos mecánicos, garantizando un funcionamiento seguro, confiable y acorde a los criterios de resistencia de materiales y factores de seguridad que aseguran la seguridad operativa y durabilidad de la máquina Multicultor.

El diseño fue validado mediante simulaciones en ANSYS, donde se verificó el comportamiento estructural de los componentes principales y el correcto funcionamiento de los implementos en contacto con el suelo. Los resultados numéricos mostraron coherencia con los cálculos analíticos, confirmando la estabilidad, rigidez y seguridad del Multicultor, así como el adecuado desempeño de los dosificadores en la distribución de semilla y fertilizante.

Finalmente, el análisis económico demostró que el proyecto es viable y rentable, evidenciando su factibilidad de implementación en la comunidad de Urco.

Palabras clave: Arado, Siembra, Multicultor, Urco, Maíz blanco gigante.

### **Abstract**

This research project aims to design a Multicultor to improve and optimize agricultural activities related to giant white corn cultivation in the community of Urco. This versatile and multifunctional machine has been conceived as an accessible, efficient, and suitable technological alternative for the specific productive, topographical, and socioeconomic conditions of the area, with the goal of reducing the farmer's physical effort, decreasing operating times, and improving the efficiency of the agricultural process.

For the design development, the German standard VDI 2221 design criteria were used, which allowed for a systematic structuring of the conceptual design process, from identifying needs to defining technical solutions. Based on the requirements of giant white corn cultivation, design parameters were established, such as working speed, transmission system, planting capacity, and field operating conditions.

Furthermore, the calculation and selection of mechanical components were carried out, ensuring safe and reliable operation in accordance with material strength criteria and safety factors that guarantee the operational safety and durability of the Multicultor machine. The design was validated through simulations in ANSYS, where the structural behavior of the main components and the correct functioning of the implements in contact with the soil were verified. The numerical results showed consistency with the analytical calculations, confirming the stability, rigidity, and safety of the Multicultor, as well as the adequate performance of the metering units in the distribution of seed and fertilizer.

Finally, the economic analysis demonstrated that the project is viable and profitable, highlighting its feasibility for implementation in the community of Urco.

**Keywords:** Plow, Planting, Multicultor, Urco, Giant white corn.

## **Introducción**

La agricultura en las zonas del valle sagrado de los incas presenta importantes limitaciones asociadas a la topografía irregular, la fragmentación de las parcelas y el uso predominante de métodos tradicionales en las labores de cultivo. En la comunidad de Urco, ubicada en el distrito de Calca-Cusco, el cultivo de maíz blanco gigante uno de los productos agrícolas de mayor importancia en la región, tanto por su valor económico como por su relevancia cultural y alimentaria, las labores agrícolas asociadas al sembrío de este cultivo se realizan, en su mayoría, mediante métodos tradicionales, los cuales demandan un elevado esfuerzo físico, mayores tiempos de operación y costos significativos, afectando la productividad del agricultor.

En este contexto, la maquinaria convencional disponible no responde adecuadamente a las exigencias del entorno, debido a la limitada disponibilidad de equipos diseñados específicamente para pequeños productores y a su elevado costo de adquisición y mantenimiento, dimensiones poco apropiadas y limitada capacidad de operación en terrenos inclinados y de reducida extensión, restringen su implementación en la comunidad de Urco.

Frente a esta problemática, el presente trabajo propone el diseño de un Multicultor, orientado a mejorar las actividades agrícolas del cultivo de maíz blanco gigante en la comunidad de Urco. El diseño se desarrolla considerando las condiciones agrícolas, económicas y operativas de la zona, con el fin de obtener una máquina funcional, eficiente y de fácil operación.

Para el desarrollo del proyecto se emplea los criterios de la norma alemana VDI 2221, la cual permite estructurar de manera sistemática el proceso de diseño conceptual y de detalle, desde la identificación de necesidades, el análisis funcional del sistema y la generación de alternativas de solución, seleccionando la opción más adecuada en función de criterios técnicos y operativos.

Asimismo, se determinan los parámetros de diseño del Multicultor, tales como la potencia requerida, potencia del motor, velocidad de operación y condiciones de trabajo, los cuales permiten establecer las bases para el cálculo y dimensionamiento de los elementos mecánicos. En esta etapa, se desarrollan los cálculos correspondientes al sistema de transmisión, ejes, estructura y elementos de unión, aplicando criterios de resistencia de materiales y factores de seguridad que garantizan la confiabilidad y durabilidad del equipo, el diseño propuesto es posteriormente modelado mediante software especializado, lo que permite validar su funcionamiento, analizar el ensamblaje de los componentes y verificar su factibilidad constructiva.

Finalmente, se realiza una evaluación económica del Multicultor, considerando los costos de materiales, costos de operación y los indicadores de rentabilidad, tales como el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR), con el propósito de determinar la viabilidad económica del proyecto y contribuir al desarrollo tecnológico del sector agrícola de la comunidad de Urco.

De esta manera, el presente estudio busca contribuir al desarrollo de una agricultura más eficiente, mecanizada y sostenible para los productores de maíz blanco gigante en la comunidad de Urco.

## Índice General

|                                                       |     |
|-------------------------------------------------------|-----|
| Resumen.....                                          | I   |
| Abstract.....                                         | II  |
| Introducción.....                                     | III |
| Índice General.....                                   | V   |
| Índice de Figuras.....                                | X   |
| Índice de Tablas .....                                | XIV |
| CAPÍTULO I .....                                      | 1   |
| 1    Consideraciones generales.....                   | 1   |
| 1.1    Ámbito de estudio.....                         | 1   |
| 1.2    Planteamiento del problema.....                | 2   |
| 1.3    Formulación del problema .....                 | 4   |
| 1.3.1    Problema general .....                       | 4   |
| 1.3.2    Problemas específicos.....                   | 4   |
| 1.4    Objetivos.....                                 | 4   |
| 1.4.1    Objetivo general.....                        | 4   |
| 1.4.2    Objetivos específicos .....                  | 4   |
| 1.5    Justificación .....                            | 5   |
| 1.5.1    Justificación Técnica.....                   | 5   |
| 1.5.2    Justificación social .....                   | 5   |
| 1.5.3    Justificación Económica .....                | 6   |
| 1.5.4    Justificación académica .....                | 6   |
| 1.6    Hipótesis .....                                | 6   |
| 1.6.1    Hipótesis general.....                       | 6   |
| 1.7    Identificación de variables e Indicadores..... | 6   |
| 1.8    Alcances y limitaciones .....                  | 7   |
| 1.8.1    Alcances.....                                | 7   |
| 1.8.2    Limitaciones.....                            | 8   |
| 1.9    Metodología de la investigación .....          | 8   |
| 1.9.1    Diseño de la investigación .....             | 8   |
| 1.9.2    Tipo de la investigación. ....               | 8   |
| 1.9.3    Nivel de la investigación.....               | 9   |
| 1.9.4    Enfoque de la investigación .....            | 9   |
| 1.9.5    Técnica de recolección de datos .....        | 9   |
| CAPÍTULO II.....                                      | 10  |
| 2    Marco teórico.....                               | 10  |

|                   |                                                                 |    |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------|----|
| 2.1               | Antecedentes de investigación.....                              | 10 |
| 2.1.1             | Antecedentes internacionales.....                               | 10 |
| 2.1.2             | Antecedentes nacionales .....                                   | 11 |
| 2.2               | Bases teóricas.....                                             | 12 |
| 2.2.1             | Conceptos preliminares sobre maíz blanco gigante de Cusco ..... | 12 |
| 2.2.1.1           | Origen y descripción de maíz blanco gigante .....               | 12 |
| 2.2.1.2           | Parámetros de siembra de maíz blanco gigante .....              | 13 |
| 2.2.1.3           | Cadena productiva del maíz blanco gigante .....                 | 13 |
| 2.2.2             | El suelo agrícola.....                                          | 15 |
| 2.2.2.1           | El suelo.....                                                   | 15 |
| 2.2.2.2           | Tipo de suelo de la provincia de Calca comunidad Urco .....     | 15 |
| 2.2.3             | Labranza del suelo .....                                        | 15 |
| 2.2.4             | Tipos de labranzas del suelo .....                              | 16 |
| 2.2.4.1           | Labranza Primaria.....                                          | 16 |
| 2.2.4.1.1         | Arado de vertedera.....                                         | 16 |
| 2.2.4.2           | Labranza secundaria.....                                        | 17 |
| 2.2.4.2.1         | Rastra de púas .....                                            | 18 |
| 2.2.4.3           | Labranza convencional .....                                     | 18 |
| 2.2.4.4           | Máquinas sembradoras.....                                       | 19 |
| 2.2.4.4.1         | Tipos de sembradoras .....                                      | 19 |
| 2.2.5             | El tractor agrícola.....                                        | 19 |
| 2.2.6             | Motor de combustión interna .....                               | 20 |
| 2.2.6.1           | Motores de cuatro tiempos.....                                  | 20 |
| 2.2.7             | Fases del diseño VDI 2221 .....                                 | 21 |
| CAPÍTULO III..... |                                                                 | 22 |
| 3                 | Desarrollo del modelo conceptual .....                          | 22 |
| 3.1               | Comprensión de la solicitud.....                                | 22 |
| 3.1.1             | Lista de exigencias.....                                        | 22 |
| 3.2               | Concepción de la solución .....                                 | 27 |
| 3.2.1             | Abstracción: caja negra (Black – box).....                      | 27 |
| 3.2.2             | Funciones parciales.....                                        | 28 |
| 3.2.2.1           | Alternativas de las funciones parciales .....                   | 29 |
| 3.2.3             | Estructura de funciones.....                                    | 29 |
| 3.2.4             | Matriz morfológica .....                                        | 30 |
| 3.2.5             | Alternativas de solución.....                                   | 33 |
| 3.2.6             | Valoración técnica y económica.....                             | 37 |
| CAPÍTULO IV.....  |                                                                 | 41 |

|          |                                                                 |     |
|----------|-----------------------------------------------------------------|-----|
| 4        | Diseño y selección de elementos mecánicos .....                 | 41  |
| 4.1      | Diseño mecánico del Multicultor .....                           | 41  |
| 4.1.1    | Evaluación de estabilidad del Multicultor .....                 | 41  |
| 4.1.2    | Selección de potencia requerida por el implemento .....         | 43  |
| 4.1.3    | Selección del motor.....                                        | 44  |
| 4.1.4    | Diseño del sistema de transmisión.....                          | 45  |
| 4.1.5    | Pérdida de potencia .....                                       | 46  |
| 4.1.6    | Potencia de diseño.....                                         | 48  |
| 4.1.7    | Selección de bandas y poleas (1 etapa de reducción) .....       | 48  |
| 4.1.8    | Selección de cadenas y piñones .....                            | 52  |
| 4.1.8.1  | Resumen de la selección de piñones y cadenas .....              | 55  |
| 4.1.9    | Diseño de ejes .....                                            | 57  |
| 4.1.9.1  | Diseño del eje superior.....                                    | 64  |
| 4.1.9.1  | Diseño del eje intermedio .....                                 | 71  |
| 4.1.9.1  | Diseño del eje inferior.....                                    | 73  |
| 4.1.9.1  | Diseño de eje de ruedas.....                                    | 75  |
| 4.1.10   | Selección de rodamientos .....                                  | 78  |
| 4.1.10.1 | Selección de rodamientos del eje superior.....                  | 78  |
| 4.1.10.2 | Selección de rodamientos del eje intermedio.....                | 79  |
| 4.1.10.3 | Selección de rodamientos del eje inferior.....                  | 80  |
| 4.1.10.4 | Selección de rodamientos del eje de ruedas.....                 | 80  |
| 4.1.11   | Diseño de chavetas o cuñas.....                                 | 81  |
| 4.1.11.1 | Selección de las chavetas del eje superior .....                | 81  |
| 4.1.11.2 | Selección de las chavetas del eje intermedio .....              | 83  |
| 4.1.11.3 | Selección de las chavetas del eje inferior .....                | 83  |
| 4.1.11.4 | Selección de las chavetas del eje de ruedas .....               | 84  |
| 4.1.11.5 | Cargas y esfuerzos en pernos .....                              | 84  |
| 4.1.12   | Diseño estructural del Multicultor .....                        | 87  |
| 4.1.12.1 | Espesor mínimo de la plancha lateral .....                      | 89  |
| 4.1.12.2 | Espesor mínimo del travesaño del soporte del motor .....        | 92  |
| 4.1.12.3 | Diseño de soldadura de los travesaños de soporte del motor..... | 94  |
| 4.1.12.4 | Espesor de las platinas del acople de los implementos.....      | 96  |
| 4.1.12.5 | Esfuerzos en la sección del acople de implementos .....         | 97  |
| 4.1.12.6 | Diseño de soldadura del acople de implementos .....             | 101 |
| 4.1.13   | Diseño del manubrio del Multicultor .....                       | 104 |
| 4.1.13.1 | Esfuerzos en el manubrio del Multicultor.....                   | 104 |
| 4.1.13.2 | Diseño de soldadura del manubrio.....                           | 107 |

|          |                                                                          |     |
|----------|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.2      | Diseño de los componentes del arado de vertedera .....                   | 109 |
| 4.2.1    | Fuerzas que compone el arado de vertedera .....                          | 112 |
| 4.2.2    | Diseño Estructural del arado .....                                       | 115 |
| 4.2.3    | Diseño de soldadura del brazo del arado .....                            | 122 |
| 4.3      | Diseño de los componentes de la rastra .....                             | 126 |
| 4.3.1    | Fuerzas que componen la rastra .....                                     | 127 |
| 4.3.2    | Diseño Estructural de la rastra .....                                    | 129 |
| 4.3.3    | Diseño de soldadura del brazo de la rastra.....                          | 133 |
| 4.3.4    | Diseño de la soldadura de los travesaños con la barra del bastidor ..... | 140 |
| 4.3.5    | Cálculo de las uniones empernadas de las púas de la rastra .....         | 143 |
| 4.4      | Diseño de los componentes del aporcador.....                             | 144 |
| 4.4.1    | Fuerzas empleadas en el aporcador.....                                   | 145 |
| 4.4.2    | Diseño estructural del aporcador .....                                   | 147 |
| 4.4.3    | Diseño de soldadura del brazo del aporcador .....                        | 150 |
| 4.5      | Diseño de los componentes de la sembradora de maíz blanco gigante .....  | 153 |
| 4.5.1    | Ángulo máximo de inclinación lateral.....                                | 154 |
| 4.5.2    | Parámetros para el cálculo de la sembradora de maíz blanco gigante ..... | 155 |
| 4.5.3    | Diseño de la capacidad de la tolva de semillas .....                     | 157 |
| 4.5.4    | Diseño del surcador.....                                                 | 158 |
| 4.5.4.1  | Fuerzas que actúan sobre el surcador.....                                | 159 |
| 4.5.5    | Diseño del dispositivo de cobertura de suelo.....                        | 161 |
| 4.5.6    | Diseño del dosificador de semillas .....                                 | 161 |
| 4.5.6.1  | Diseño del dosificador de fertilizantes.....                             | 163 |
| 4.5.6.2  | Torque necesario para mover el eje del dosificador.....                  | 163 |
| 4.5.7    | Diseño de la rueda de tracción .....                                     | 165 |
| 4.5.7.1  | Diseño del cubo de las ruedas de la sembradora.....                      | 166 |
| 4.5.8    | Diseño de la transmisión de la sembradora.....                           | 167 |
| 4.5.9    | Diseño de ejes de la sembradora.....                                     | 168 |
| 4.5.9.1  | Diseño del eje 2 de la sembradora .....                                  | 168 |
| 4.5.9.1  | Diseño del eje 1 de la sembradora .....                                  | 171 |
| 4.5.10   | Selección de rodamientos de la sembradora .....                          | 173 |
| 4.5.10.1 | Selección de rodamientos del eje 1 de la sembradora.....                 | 173 |
| 4.5.10.2 | Selección de rodamientos para el eje 2 de la sembradora.....             | 173 |
| 4.5.11   | Diseño de chavetas o cuñas de la sembradora .....                        | 174 |
| 4.5.11.1 | Selección de la chaveta del eje 1 de la sembradora .....                 | 174 |
| 4.5.11.2 | Selección de la chaveta del eje 2.....                                   | 174 |
| 4.5.12   | Diseño del bastidor de la sembradora .....                               | 174 |

|                      |                                                                       |     |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.5.12.1             | Diseño de soldadura del elemento CE del bastidor .....                | 180 |
| CAPÍTULO V .....     |                                                                       | 183 |
| 5                    | Análisis por simulación numérica.....                                 | 183 |
| 5.1                  | Estudio por elementos finitos (FEM).....                              | 183 |
| 5.1.1                | Estudio de los esfuerzos y las deformaciones del eje superior .....   | 183 |
| 5.1.2                | Estudio de los esfuerzos y las deformaciones del eje intermedio.....  | 187 |
| 5.1.3                | Estudio de los esfuerzos y las deformaciones del eje inferior .....   | 191 |
| 5.1.4                | Estudio de los esfuerzos y las deformaciones del eje de ruedas .....  | 194 |
| 5.1.5                | Estudio de los Esfuerzos y las Deformaciones del Multicultor .....    | 198 |
| 5.2                  | Análisis por elementos discretos (DEM) .....                          | 203 |
| 5.2.1                | Estudio de esfuerzos del arado.....                                   | 203 |
| 5.2.2                | Estudio de esfuerzos de la rastra.....                                | 207 |
| 5.2.3                | Estudio de esfuerzos del aporcador.....                               | 211 |
| 5.2.4                | Estudio de funcionamiento de los dosificadores de la sembradora ..... | 215 |
| CAPÍTULO VI.....     |                                                                       | 219 |
| 6                    | Evaluación económica del diseño .....                                 | 219 |
| 6.1                  | Evaluación económica del Multicultor .....                            | 219 |
| 6.1.1                | Costos directos .....                                                 | 219 |
| 6.1.2                | Costos indirectos .....                                               | 226 |
| 6.2                  | Costo total del Multicultor .....                                     | 228 |
| 6.3                  | Estudio de rentabilidad .....                                         | 228 |
| 6.3.1                | Análisis de Flujo de caja .....                                       | 229 |
| 6.3.1.1              | Tiempos de operación .....                                            | 229 |
| 6.3.1.2              | Costos de operación .....                                             | 230 |
| 6.3.1.3              | Costos de funcionamiento.....                                         | 231 |
| 6.3.2                | Valor actual neto (VAN).....                                          | 233 |
| 6.3.2.1              | Tasa interna de retorno (TIR).....                                    | 234 |
| 6.3.2.2              | Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI).....                    | 235 |
| CONCLUSIONES .....   |                                                                       | 237 |
| RECOMENDACIONES..... |                                                                       | 241 |
| BIBLIOGRAFÍA .....   |                                                                       | 242 |
| ANEXOS .....         |                                                                       | 244 |
| A.                   | Figuras y tablas para el diseño .....                                 | 245 |
| B.                   | Catálogos y fichas técnicas .....                                     | 257 |
| C.                   | Análisis experimental.....                                            | 264 |
| D.                   | Plan de mantenimiento del Multicultor.....                            | 266 |
| PLANOS .....         |                                                                       | 268 |

## Índice de Figuras

|                    |                                                                                           |    |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.1</b>  | Ubicación de la operación del equipo Multicultor .....                                    | 1  |
| <b>Figura 2.1</b>  | Granos de maíz blanco gigante .....                                                       | 12 |
| <b>Figura 2.2</b>  | Procesos de producción manual del maíz blanco gigante .....                               | 14 |
| <b>Figura 2.3</b>  | Arado de vertedera y sus componentes .....                                                | 16 |
| <b>Figura 2.4</b>  | Rastra de púas.....                                                                       | 18 |
| <b>Figura 2.5</b>  | Esquema de un motor de 4T .....                                                           | 20 |
| <b>Figura 2.6</b>  | Método de diseño y sus fases .....                                                        | 21 |
| <b>Figura 3.1</b>  | Caja negra del Multicultor.....                                                           | 27 |
| <b>Figura 3.2</b>  | Fases del proceso que realiza la máquina.....                                             | 28 |
| <b>Figura 3.3</b>  | Estructura de funciones .....                                                             | 30 |
| <b>Figura 3.4</b>  | Matriz morfológica.....                                                                   | 31 |
| <b>Figura 3.5</b>  | Boceto de alternativa de solución 1 .....                                                 | 34 |
| <b>Figura 3.6</b>  | Boceto de alternativa de solución 2.....                                                  | 35 |
| <b>Figura 3.7</b>  | Boceto de alternativa de solución 3.....                                                  | 36 |
| <b>Figura 3.8</b>  | Boceto de alternativa de solución 4.....                                                  | 37 |
| <b>Figura 3.9</b>  | Diagrama de evaluación técnico económico .....                                            | 40 |
| <b>Figura 4.1</b>  | Pendiente pronunciada .....                                                               | 41 |
| <b>Figura 4.2</b>  | Centro de gravedad del Multicultor.....                                                   | 42 |
| <b>Figura 4.3</b>  | Geometría de transmisión de las 4 etapas de transmisión .....                             | 58 |
| <b>Figura 4.4</b>  | Fuerzas ejercidas por las poleas en la primera etapa de transmisión .....                 | 58 |
| <b>Figura 4.5</b>  | Fuerza ejercida por la cadena sobre los ejes superior e intermedia en segunda etapa ..... | 60 |
| <b>Figura 4.6</b>  | Distribución de los componentes de transmisión del eje superior .....                     | 61 |
| <b>Figura 4.7</b>  | Esquema de las fuerzas y reacciones actuantes del eje superior .....                      | 61 |
| <b>Figura 4.8</b>  | Esquema de fuerza cortante y momento flector del eje superior .....                       | 63 |
| <b>Figura 4.9</b>  | Distribución de los componentes de transmisión del eje intermedio .....                   | 71 |
| <b>Figura 4.10</b> | Esquema de las fuerzas y reacciones actuantes del eje intermedio .....                    | 71 |
| <b>Figura 4.11</b> | Esquema de fuerza contante y momento flector del eje intermedia .....                     | 72 |
| <b>Figura 4.12</b> | Distribución de los componentes de transmisión el eje inferior .....                      | 73 |
| <b>Figura 4.13</b> | Esquema de las fuerzas y reacciones actuantes del eje inferior .....                      | 73 |
| <b>Figura 4.14</b> | Esquema de fuerza contante y momento flector del eje inferior.....                        | 74 |
| <b>Figura 4.15</b> | Distribución de los componentes de transmisión del eje de ruedas .....                    | 75 |
| <b>Figura 4.16</b> | Esquema de las fuerzas y reacciones actuantes del eje de ruedas .....                     | 76 |
| <b>Figura 4.17</b> | Esquema de fuerza contante y momento flector del eje ruedas .....                         | 77 |
| <b>Figura 4.18</b> | Partes del Multicultor .....                                                              | 88 |
| <b>Figura 4.19</b> | Dimensiones de los componentes del bastidor.....                                          | 88 |
| <b>Figura 4.20</b> | Sección de la plancha lateral sometida a las cargas del peso del motor.....               | 89 |
| <b>Figura 4.21</b> | Distribución de cargas sobre la sección A-A de la plancha lateral.....                    | 91 |
| <b>Figura 4.22</b> | Diagrama de cuerpo libre del travesaño cargado por el motor.....                          | 92 |
| <b>Figura 4.23</b> | Unión soldada entre el soporte del motor y las planchas laterales .....                   | 94 |

|                    |                                                                                             |     |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 4.24</b> | Distribución de esfuerzos sobre la junta de soldadura .....                                 | 95  |
| <b>Figura 4.25</b> | Cargas producidas por el pasador de enganche sobre el acople del Multicultor .....          | 96  |
| <b>Figura 4.26</b> | Cargas actuantes sobre el acople producidas por el implemento de arado.....                 | 98  |
| <b>Figura 4.27</b> | Distribución de cargas sobre la sección de unión del acople .....                           | 100 |
| <b>Figura 4.28</b> | Unión soldada entre el brazo de soporte y el travesaño .....                                | 101 |
| <b>Figura 4.29</b> | Distribución de esfuerzos sobre la junta de la platina del acople.....                      | 103 |
| <b>Figura 4.30</b> | Cargas externas que actúan sobre el bastidor y el manubrio.....                             | 104 |
| <b>Figura 4.31</b> | Diagrama de cuerpo libre del manubrio .....                                                 | 105 |
| <b>Figura 4.32</b> | Unión soldada entre el manubrio y el bastidor.....                                          | 107 |
| <b>Figura 4.33</b> | Partes del arado vertedera.....                                                             | 109 |
| <b>Figura 4.34</b> | Longitud del resguardador.....                                                              | 110 |
| <b>Figura 4.35</b> | Dimensiones de los componentes del arado de vertedera .....                                 | 111 |
| <b>Figura 4.36</b> | Fuerzas del arado vertedera .....                                                           | 112 |
| <b>Figura 4.37</b> | Cargas que actúan sobre el pasador de enganche .....                                        | 116 |
| <b>Figura 4.38</b> | Cargas que actúan sobre la sección A-A .....                                                | 118 |
| <b>Figura 4.39</b> | Distribución de cargas sobre la sección A-A del brazo del arado vertedera ....              | 121 |
| <b>Figura 4.40</b> | Cargas que actúan sobre la base del brazo del arado vertedera.....                          | 122 |
| <b>Figura 4.41</b> | Unión soldada entre el brazo del arado y el resguardador .....                              | 123 |
| <b>Figura 4.42</b> | Distribución de esfuerzos sobre la sección de soldadura de la base del brazo del arado..... | 125 |
| <b>Figura 4.43</b> | Partes de la rastra de púas.....                                                            | 126 |
| <b>Figura 4.44</b> | Dimensiones de los componentes de la rastra .....                                           | 127 |
| <b>Figura 4.45</b> | Fuerzas que actúan sobre el cuerpo de la rastra y el pasador de enganche .....              | 129 |
| <b>Figura 4.46</b> | Cargas que actúan sobre la sección A-A del brazo de la rastra .....                         | 131 |
| <b>Figura 4.47</b> | Distribución de cargas sobre la sección A-A del brazo de soporte de la rastra .....         | 132 |
| <b>Figura 4.48</b> | Cargas que actúan sobre la base del brazo de soporte de la rastra .....                     | 133 |
| <b>Figura 4.49</b> | Unión soldada entre el brazo de soporte y el travesaño .....                                | 134 |
| <b>Figura 4.50</b> | Distribución de esfuerzos sobre la junta de soldadura del brazo de la rastra...             | 135 |
| <b>Figura 4.51</b> | Cargas sobre la sección de las púas.....                                                    | 136 |
| <b>Figura 4.52</b> | Cargas que actúan sobre la sección A-A, correspondiente al travesaño de unión .....         | 138 |
| <b>Figura 4.53</b> | Cargas entre el travesaño y la barra del bastidor.....                                      | 140 |
| <b>Figura 4.54</b> | Unión soldada entre el travesaño y la barra del bastidor.....                               | 141 |
| <b>Figura 4.55</b> | Distribución de esfuerzos sobre la junta de soldadura del travesaño y el bastidor .....     | 142 |
| <b>Figura 4.56</b> | Partes del aporcador .....                                                                  | 144 |
| <b>Figura 4.57</b> | Dimensiones de los componentes del aporcador.....                                           | 145 |
| <b>Figura 4.58</b> | Fuerzas que actúan sobre el aporcador y el pasador de enganche.....                         | 147 |
| <b>Figura 4.59</b> | Cargas que actúan sobre la sección A-A del brazo de soporte .....                           | 149 |
| <b>Figura 4.60</b> | Distribución de cargas sobre la sección A-A del brazo de soporte del aporcador .....        | 150 |
| <b>Figura 4.61</b> | Cargas que actúan sobre el brazo de soporte del aporcador .....                             | 151 |
| <b>Figura 4.62</b> | Unión soldada del brazo de soporte del aporcador.....                                       | 151 |

|                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 4.63</b> Distribución de esfuerzos sobre la junta de soldadura del brazo del aporcador ..... | 153 |
| <b>Figura 4.64</b> Componentes de la sembradora.....                                                   | 154 |
| <b>Figura 4.65</b> Centro de gravedad de la sembradora .....                                           | 154 |
| <b>Figura 4.66</b> Recorrido del Multicultor en una hectárea de terreno .....                          | 155 |
| <b>Figura 4.67</b> Geometría y sus dimensiones de la tolva .....                                       | 157 |
| <b>Figura 4.68</b> Dimensiones del abridor de surcos.....                                              | 159 |
| <b>Figura 4.69</b> Fuerzas que actúan sobre el surcador .....                                          | 159 |
| <b>Figura 4.70</b> Dimensiones de los componentes del dispositivo de cobertura del suelo .....         | 161 |
| <b>Figura 4.71</b> Mecanismo de dosificador.....                                                       | 161 |
| <b>Figura 4.72</b> Cubo de las ruedas de la sembradora .....                                           | 167 |
| <b>Figura 4.73</b> Disposición de los componentes de los ejes.....                                     | 168 |
| <b>Figura 4.74</b> Disposición de los componentes en el eje 2 .....                                    | 169 |
| <b>Figura 4.75</b> Esquema de las fuerzas y reacciones actuantes del eje 2 .....                       | 169 |
| <b>Figura 4.76</b> Diagrama de fuerza contante y momento flector del eje 2.....                        | 170 |
| <b>Figura 4.77</b> Disposición de los componentes de transmisión de potencia en el eje 1 .....         | 171 |
| <b>Figura 4.78</b> Esquema de las fuerzas y reacciones actuantes del eje 1 .....                       | 171 |
| <b>Figura 4.79</b> Diagrama de fuerza contante y momento flector del eje 1 .....                       | 172 |
| <b>Figura 4.80</b> Cargas que actúan sobre el bastidor .....                                           | 175 |
| <b>Figura 4.81</b> Dimensiones del bastidor de la sembradora .....                                     | 175 |
| <b>Figura 4.82</b> Esquema de cuerpo libre del elemento AB .....                                       | 177 |
| <b>Figura 4.83</b> Esquema de cuerpo libre del elemento CE.....                                        | 179 |
| <b>Figura 4.84</b> Unión soldada del eslabón CE del bastidor.....                                      | 180 |
| <b>Figura 4.85</b> Perfil del grupo de juntas.....                                                     | 181 |
| <b>Figura 5.1</b> Propiedades del material en el eje superior .....                                    | 184 |
| <b>Figura 5.2</b> Detalle de mallado del eje superior .....                                            | 184 |
| <b>Figura 5.3</b> Condiciones de contorno del eje superior .....                                       | 185 |
| <b>Figura 5.4</b> Esfuerzo máximo equivalente del eje superior.....                                    | 186 |
| <b>Figura 5.5</b> Deformación máxima del eje superior .....                                            | 186 |
| <b>Figura 5.6</b> Factor de seguridad del eje superior.....                                            | 187 |
| <b>Figura 5.7</b> Detalle de mallado del eje intermedio .....                                          | 188 |
| <b>Figura 5.8</b> Condiciones de contorno del eje intermedia .....                                     | 188 |
| <b>Figura 5.9</b> Esfuerzo máximo equivalente del eje intermedio .....                                 | 189 |
| <b>Figura 5.10</b> Deformación máxima del eje intermedio .....                                         | 190 |
| <b>Figura 5.11</b> Factor de seguridad del eje intermedio.....                                         | 190 |
| <b>Figura 5.12</b> Detalle de mallado del eje inferior .....                                           | 191 |
| <b>Figura 5.13</b> Condiciones de contorno del eje inferior .....                                      | 192 |
| <b>Figura 5.14</b> Esfuerzo máximo equivalente del eje inferior.....                                   | 193 |
| <b>Figura 5.15</b> Deformación máxima del eje inferior .....                                           | 193 |
| <b>Figura 5.16</b> Factor de seguridad del eje inferior.....                                           | 194 |
| <b>Figura 5.17</b> Detalle de mallado del eje de ruedas .....                                          | 195 |
| <b>Figura 5.18</b> Condiciones de contorno del eje de ruedas .....                                     | 195 |
| <b>Figura 5.19</b> Esfuerzo máximo equivalente del eje de ruedas .....                                 | 196 |

|                    |                                                                    |     |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 5.20</b> | Deformación máxima del eje de ruedas .....                         | 197 |
| <b>Figura 5.21</b> | Factor de seguridad de eje de ruedas.....                          | 197 |
| <b>Figura 5.22</b> | Propiedades del material del Multicultor .....                     | 199 |
| <b>Figura 5.23</b> | Modelo 3d simplificado del Multicultor .....                       | 199 |
| <b>Figura 5.24</b> | Detalle de mallado del Multicultor.....                            | 200 |
| <b>Figura 5.25</b> | Condiciones de contorno del Multicultor.....                       | 200 |
| <b>Figura 5.26</b> | Esfuerzo máximo equivalente del Multicultor .....                  | 201 |
| <b>Figura 5.27</b> | Esfuerzo máximo equivalente del punto crítico del Multicultor..... | 201 |
| <b>Figura 5.28</b> | Deformación máxima del Multicultor.....                            | 202 |
| <b>Figura 5.29</b> | Factor de seguridad del Multicultor .....                          | 202 |
| <b>Figura 5.30</b> | Geometría del arado .....                                          | 204 |
| <b>Figura 5.31</b> | Mallado del arado.....                                             | 204 |
| <b>Figura 5.32</b> | Simulación de recorrido de la herramienta.....                     | 205 |
| <b>Figura 5.33</b> | Esfuerzo normal del arado.....                                     | 205 |
| <b>Figura 5.34</b> | Gráfica de esfuerzo normal del arado.....                          | 206 |
| <b>Figura 5.35</b> | Esfuerzo tangencial del arado.....                                 | 206 |
| <b>Figura 5.36</b> | Gráfica de esfuerzo tangencial del arado .....                     | 207 |
| <b>Figura 5.37</b> | Geometría de la rastra.....                                        | 208 |
| <b>Figura 5.38</b> | Mallado de la rastra .....                                         | 208 |
| <b>Figura 5.39</b> | Simulación de recorrido de la herramienta.....                     | 209 |
| <b>Figura 5.40</b> | Esfuerzo normal de la rastra.....                                  | 209 |
| <b>Figura 5.41</b> | Gráfica de esfuerzo normal de la rastra.....                       | 210 |
| <b>Figura 5.42</b> | Esfuerzo tangencial de la rastra.....                              | 210 |
| <b>Figura 5.43</b> | Gráfica del esfuerzo tangencial de la rastra.....                  | 211 |
| <b>Figura 5.44</b> | Geometría del aporcador .....                                      | 212 |
| <b>Figura 5.45</b> | Mallado del aporcador.....                                         | 212 |
| <b>Figura 5.46</b> | Simulación de recorrido del aporcador .....                        | 213 |
| <b>Figura 5.47</b> | Esfuerzo normal del aporcador.....                                 | 213 |
| <b>Figura 5.48</b> | Gráfica del esfuerzo normal del aporcador .....                    | 214 |
| <b>Figura 5.49</b> | Esfuerzo tangencial del aporcador .....                            | 214 |
| <b>Figura 5.50</b> | Gráfica del esfuerzo tangencial del aporcador .....                | 215 |
| <b>Figura 5.51</b> | Geometría simplificada de la sembradora .....                      | 216 |
| <b>Figura 5.52</b> | Simulación de la sembradora en el dosificador.....                 | 216 |
| <b>Figura 5.53</b> | Correcto funcionamiento de los dosificadores .....                 | 217 |
| <b>Figura 5.54</b> | Caída de las semillas maíz y fertilizante .....                    | 217 |
| <b>Figura 5.55</b> | Flujo continuo de las semillas de maíz y fertilizante .....        | 218 |
| <b>Figura 6.1</b>  | Criterio de selección según el VAN.....                            | 234 |
| <b>Figura 6.2</b>  | Criterio de selección según TIR .....                              | 234 |

## Índice de Tablas

|                   |                                                                      |     |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tabla 1.1</b>  | Ubicación geográfica de la comunidad de Urco .....                   | 2   |
| <b>Tabla 2.1</b>  | Características del maíz blanco gigante .....                        | 13  |
| <b>Tabla 2.2</b>  | Siembra a surco corrido.....                                         | 13  |
| <b>Tabla 2.3</b>  | Ventajas y desventajas del arado de vertedera.....                   | 17  |
| <b>Tabla 3.1</b>  | Lista de exigencias del diseño del Multicultor .....                 | 23  |
| <b>Tabla 3.2</b>  | Entradas y salidas de la caja negra del Multicultor .....            | 27  |
| <b>Tabla 3.3</b>  | Leyenda de las alternativas de solución .....                        | 33  |
| <b>Tabla 3.4</b>  | Valoración técnica .....                                             | 38  |
| <b>Tabla 3.5</b>  | Valoración económica .....                                           | 39  |
| <b>Tabla 4.1</b>  | Potencia con pérdidas mecánicas .....                                | 47  |
| <b>Tabla 4.2</b>  | Especificaciones técnicas de segunda etapa de reducción .....        | 56  |
| <b>Tabla 4.3</b>  | Especificaciones técnicas de tercera etapa de reducción .....        | 56  |
| <b>Tabla 4.4</b>  | Especificaciones técnicas de cuarto etapa de reducción .....         | 57  |
| <b>Tabla 4.5</b>  | Resumen de selección del diámetro del eje superior.....              | 70  |
| <b>Tabla 4.6</b>  | Resumen de selección del diámetro del eje intermedio .....           | 72  |
| <b>Tabla 4.7</b>  | Resumen de selección del diámetro del eje inferior.....              | 74  |
| <b>Tabla 4.8</b>  | Resumen de selección del diámetro del eje de ruedas .....            | 77  |
| <b>Tabla 4.9</b>  | Resumen de selección de rodamientos del eje superior .....           | 79  |
| <b>Tabla 4.10</b> | Resumen de selección de rodamientos del eje intermedio .....         | 80  |
| <b>Tabla 4.11</b> | Resumen de selección de rodamientos del eje inferior .....           | 80  |
| <b>Tabla 4.12</b> | Resumen de selección de rodamientos del eje de ruedas .....          | 81  |
| <b>Tabla 4.13</b> | Resumen de selección de chavetas del eje superior .....              | 83  |
| <b>Tabla 4.14</b> | Resumen de selección de chavetas para el eje intermedio .....        | 83  |
| <b>Tabla 4.15</b> | Resumen de selección de chavetas del eje inferior .....              | 84  |
| <b>Tabla 4.16</b> | Resumen de selección de chavetas del eje de ruedas .....             | 84  |
| <b>Tabla 4.17</b> | Resumen de cálculo de los pernos para el montaje de chumaceras ..... | 86  |
| <b>Tabla 4.18</b> | Resumen de cálculo de pernos del Multicultor .....                   | 87  |
| <b>Tabla 4.19</b> | Peso teórico de los componentes del arado .....                      | 114 |
| <b>Tabla 4.20</b> | Pesos de los componentes de la rastra.....                           | 128 |
| <b>Tabla 4.21</b> | Peso teórico de los componentes del aporcador.....                   | 146 |
| <b>Tabla 4.22</b> | Especificaciones técnicas de transmisión de la sembradora .....      | 168 |
| <b>Tabla 4.23</b> | Resumen del diámetro para el eje 2 de la sembradora .....            | 170 |
| <b>Tabla 4.24</b> | Resumen del diámetro para el eje 1 de la sembradora .....            | 172 |
| <b>Tabla 4.25</b> | Resumen de rodamientos del eje 1 de la sembradora.....               | 173 |
| <b>Tabla 4.26</b> | Resumen de rodamientos del eje 2 de la sembradora.....               | 173 |
| <b>Tabla 4.27</b> | Resumen de selección de chavetas del eje 1 de la sembradora.....     | 174 |
| <b>Tabla 4.28</b> | Resumen de selección de chavetas del eje 2 de la sembradora.....     | 174 |
| <b>Tabla 4.29</b> | Peso teórico de los componentes de la sembradora .....               | 176 |
| <b>Tabla 5.1</b>  | Cargas aplicadas del eje superior .....                              | 185 |
| <b>Tabla 5.2</b>  | Cargas aplicadas del eje intermedio .....                            | 189 |

|                   |                                                                            |     |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tabla 5.3</b>  | Cargas aplicadas del eje inferior .....                                    | 192 |
| <b>Tabla 5.4</b>  | Cargas aplicadas del eje de ruedas .....                                   | 196 |
| <b>Tabla 6.1</b>  | Costos directos de materiales .....                                        | 219 |
| <b>Tabla 6.2</b>  | Costos directos de componentes comerciales .....                           | 222 |
| <b>Tabla 6.3</b>  | Costos directos de las maquinas herramientas .....                         | 225 |
| <b>Tabla 6.4</b>  | Costos directos de mano de obra directa.....                               | 225 |
| <b>Tabla 6.5</b>  | Costos indirectos de materiales no aprovechables .....                     | 226 |
| <b>Tabla 6.6</b>  | Costos indirectos de mano de obra indirecta.....                           | 227 |
| <b>Tabla 6.7</b>  | Costo total de la maquina Multicultor.....                                 | 228 |
| <b>Tabla 6.8</b>  | Tiempos de operación.....                                                  | 229 |
| <b>Tabla 6.9</b>  | Costo de operación de laboreo manual y tradicional .....                   | 230 |
| <b>Tabla 6.10</b> | Costos de operación de laboreo con Multicultor.....                        | 231 |
| <b>Tabla 6.11</b> | Costo de funcionamiento de laboreo manual y tradicional .....              | 231 |
| <b>Tabla 6.12</b> | Costo de funcionamiento de laboreo con Multicultor.....                    | 232 |
| <b>Tabla 6.13</b> | Comparación de procesos de la siembra tradicional y Multicultor.....       | 232 |
| <b>Tabla 6.14</b> | Flujo de caja neto de tres campañas de siembra de maíz blanco gigante..... | 233 |
| <b>Tabla 6.15</b> | Fechas recomendadas de labores agrícolas .....                             | 235 |

## CAPÍTULO I

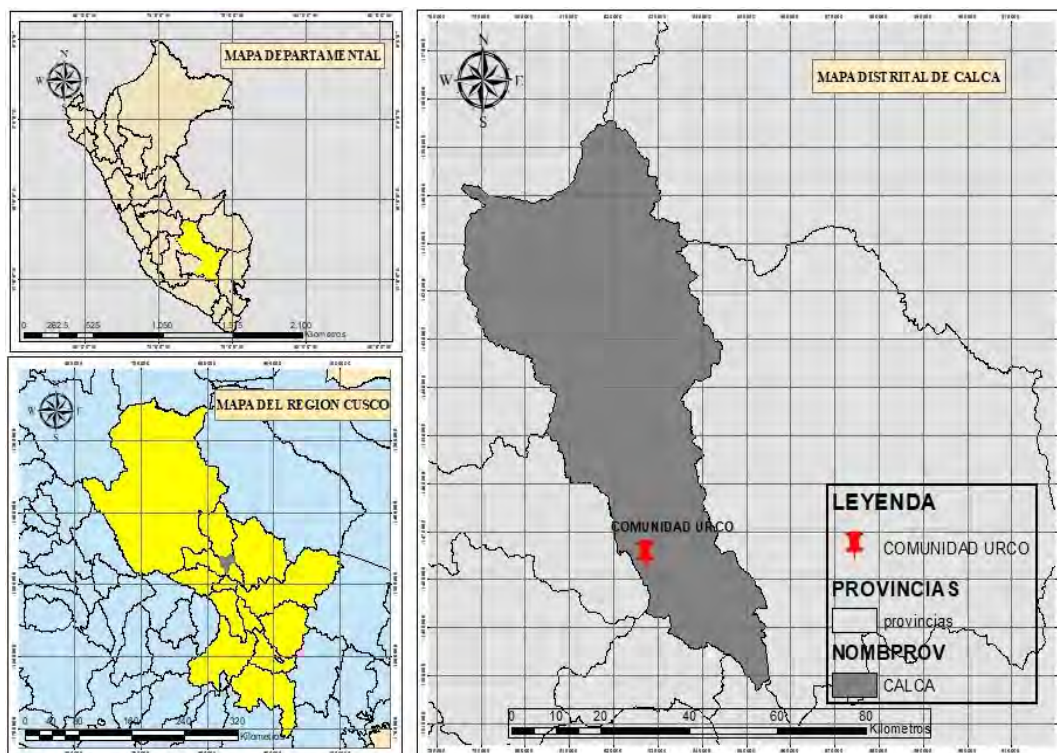
### 1 Consideraciones generales

#### 1.1 Ámbito de estudio

El presente tema de estudio, titulado “**DISEÑO DE UN MULTICULTOR PARA ACTIVIDADES AGRÍCOLAS DEL CULTIVO DE MAÍZ BLANCO GIGANTE EN TERRENOS DE LA COMUNIDAD DE URCO DISTRITO DE CALCA – CUSCO**”, presenta la localización del área de estudio de manera gráfica en la **Figura 1.1**, el área destinada para la operación de la maquina Multicultor se encuentra ubicada en la comunidad de Urco de distrito y provincia de Calca, región Cusco. Asimismo, su ubicación geográfica, definida mediante coordenadas y referencias territoriales, se detalla en la **Tabla 1.1**.

**Figura 1.1**

*Ubicación de la operación del equipo Multicultor*



*Nota:* La figura muestra el mapa departamental del Perú, mapa de la región Cusco, finalmente mapa distrital de Calca se señala de manera específica la comunidad de Urco, la cual corresponde al sitio destinado para la operación del equipo Multicultor, obtenido de ArcGIS.

**Tabla 1.1***Ubicación geográfica de la comunidad de Urco*

| Características                   | Departamento | Provincia | Distrito     | Coordenadas Geográficas               | Altitud Promedio (msnm) |
|-----------------------------------|--------------|-----------|--------------|---------------------------------------|-------------------------|
| Ubicación geográfica del proyecto | Cusco        | Calca     | Calca (Urco) | 13°19'59" S<br>71°57'00" O<br>UTM 19L | 2924                    |

*Nota:* La tabla representa la ubicación geográfica del distrito de Calca región Cusco, obtenido de (GPS, 2025).

## 1.2 Planteamiento del problema

El maíz blanco gigante es un sustento principal económico en el Valle Sagrado de los incas; en 2021 representó una producción regional de 18623 toneladas en 4423 ha, la provincia de Calca aportó 10093 toneladas en 2168 ha, el distrito de Calca registro 3631 toneladas en 792 ha y en la comunidad campesina de Urco se cultivan aproximadamente 14 hectáreas de maíz blanco gigante, cuya producción constituye la principal fuente de sustento económico para 42 familias dedicadas a esta actividad agrícola.

En la comunidad de Urco, las labores agrícolas del cultivo de maíz blanco gigante se realizan principalmente de manera manual y tradicional. Entre las principales actividades agrícolas desarrolladas se encuentran el arado, rastrado, surcado, siembra y aporcado, las cuales demandan un elevado esfuerzo físico y una gran cantidad de mano de obra, la escasez de mano de obra incrementa los costos de producción y dificulta la ejecución oportuna de estas labores.

En cuanto a la preparación del suelo, el arado generalmente se realiza mediante el uso de tracción animal, específicamente empleando una yunta de toros unida por medio de un yugo colocado sobre sus cuernos. A este sistema se adapta una herramienta de labranza una reja o arado, que penetra el suelo con el objetivo de remover la tierra y acondicionarla para el cultivo, el rastrado y el surcado se realizan principalmente de forma manual utilizando rastrillos, picos

y lampas, permitiendo acondicionar el suelo, desmenuzar terrones y formar los surcos necesarios para la siembra del maíz. La siembra se desarrolla de forma manual, donde los agricultores distribuyen las semillas y el abono directamente sobre los surcos, depositándolas a mano de acuerdo con la experiencia y costumbre local, el aporcado es una actividad necesaria para fortalecer el crecimiento de las plantas y proteger las raíces, se efectúa utilizando herramientas como el azadón o la lampa. Estas actividades manuales y tradicionales generan diversos efectos negativos en la salud y el bienestar de los agricultores. Entre las principales afectaciones se encuentran golpes en manos y pies, dolores musculares y articulares, agotamiento físico, exposición prolongada a condiciones climáticas adversas y la constante exposición al polvo puede ocasionar irritación ocular y afectar las vías respiratorias, durante la ejecución de estas labores se producen lesiones en las plántulas de maíz, como la rotura de tallos y hojas, lo que perjudica el desarrollo normal del cultivo.

El acceso a maquinaria agrícola en la comunidad de Urco resulta limitado debido a las características geográficas y topográficas del terreno, las cuales presentan pendientes pronunciadas, laderas, quebradas y caminos estrechos de difícil acceso. Aunque los tractores agrícolas constituyen una alternativa eficiente para la preparación del terreno y el desarrollo de labores mecanizadas, no siempre representan una solución viable para las condiciones presentes en la comunidad, especialmente en parcelas pequeñas o medianas, donde existen dificultades de maniobrabilidad e incluso restricciones para el ingreso de maquinaria agrícola.

En consecuencia, surge la necesidad de implementar alternativas tecnológicas más accesibles, como equipos agrícolas de menor tamaño, versátiles y de bajo costo operativo, que permitan mecanizar parcialmente las actividades agrícolas del cultivo de maíz blanco gigante, reduciendo el esfuerzo físico de los agricultores, disminuyendo los tiempos de trabajo y contribuyendo a mejorar la eficiencia productiva y la rentabilidad agrícola de la comunidad de Urco.

### **1.3 Formulación del problema**

#### ***1.3.1 Problema general***

¿Cómo mejorar las actividades agrícolas del cultivo de maíz blanco gigante en la comunidad de Urco distrito de Calca – Cusco?

#### ***1.3.2 Problemas específicos***

- ¿Cuál sería el criterio de diseño más adecuado para guiar todo el proceso de diseño de una máquina Multicultor?
- ¿Cuáles son los parámetros que se deben considerar para determinar la compatibilidad entre los elementos mecánicos de un Multicultor?
- ¿Cuáles son los elementos mecánicos adecuados para el diseño del Multicultor para garantizar su correcto funcionamiento durante las actividades agrícolas del cultivo de maíz blanco gigante?
- ¿Cómo validar el diseño y funcionamiento de los componentes del Multicultor?
- ¿Cómo determinar el costo del Multicultor y la viabilidad económica para su implementación en las actividades agrícolas del cultivo de maíz blanco gigante?

### **1.4 Objetivos**

#### ***1.4.1 Objetivo general***

Diseñar un Multicultor para mejorar las actividades agrícolas del cultivo de maíz blanco gigante en la comunidad de Urco distrito de Calca – Cusco.

#### ***1.4.2 Objetivos específicos***

- Determinar el modelo conceptual de la máquina Multicultor mediante los criterios de diseño de la norma alemana VDI 2221 – 2225
- Determinar los parámetros de diseño de un Multicultor según a las necesidades de las actividades agrícolas del cultivo de maíz blanco gigante.

- Calcular y seleccionar de manera adecuada los elementos mecánicos del Multicultor.
- Modelar el Multicultor para validar el diseño y su funcionamiento utilizando software especializado.
- Evaluar el costo de la maquina Multicultor y la viabilidad económica mediante indicadores financieros como el VAN y la TIR.

## **1.5 Justificación**

Para justificar el presente trabajo tomaremos en consideración los siguientes aspectos que se mencionan a continuación.

### ***1.5.1 Justificación Técnica***

Desde el punto de vista técnico, el diseño del Multicultor permite optimizar las labores de arado, rastrado, siembra y aporcado del cultivo de maíz blanco gigante en la comunidad de Urco. La máquina mecaniza estas actividades mediante la integración de sistemas mecánicos adecuados, mejora la eficiencia operativa, reduce los tiempos de trabajo y garantiza un funcionamiento estable, seguro y confiable bajo las condiciones de operación.

### ***1.5.2 Justificación social***

Desde una perspectiva social, esta investigación beneficia directamente a los agricultores mediante el diseño de un Multicultor que mecaniza las labores de arado, rastrado, siembra y aporcado, reduciendo el esfuerzo físico y la carga laboral en comparación con el trabajo manual y tradicional. Asimismo, mejora las condiciones de trabajo en el campo al disminuir el riesgo de lesiones musculares, el agotamiento y la exposición a condiciones climáticas adversas. Además, promueve la tecnificación del sector agrícola, contribuye a mejorar las condiciones de trabajo y fomenta el desarrollo local de la comunidad de Urco.

### ***1.5.3 Justificación Económica***

En el ámbito económico, la implementación del Multicultor contribuye a disminuir los costos de producción al reducir el tiempo requerido para las labores de preparación del suelo, siembra y aporcado, así como la necesidad de mano de obra. Asimismo, al optimizar la ejecución de estas actividades agrícolas, favorece un mejor desarrollo del cultivo y una mayor calidad de las plantas de maíz, incrementando los ingresos de los productores de la comunidad de Urco.

### ***1.5.4 Justificación académica***

En el aspecto académico y tecnológico, el desarrollo de esta máquina Multicultor permite aplicar conocimientos de ingeniería mecánica, diseño, simulación y manufactura, contribuyendo a la formación profesional y al desarrollo de soluciones adaptadas a las necesidades del entorno productivo. Asimismo, la máquina sirve como base para futuras investigaciones y el desarrollo de mejoras tecnológicas.

## **1.6 Hipótesis**

### ***1.6.1 Hipótesis general***

El diseño de la maquina Multicultor permitirá mejorar las actividades agrícolas del cultivo de maíz blanco gigante en la comunidad de Urco distrito de Calca – Cusco.

## **1.7 Identificación de variables e Indicadores**

**Variable independiente:** diseño del Multicultor

**Indicadores:**

- Propiedades físicas del maíz blanco gigante (gr y mm)
- Tipo y condición del suelo (franco)
- Profundidad de trabajo requerida (m)
- Potencia del motor (HP o kW)
- Tipo de transmisión (por fajas, cadenas o engranajes)

- Fuerza de tracción (N)
- Velocidad de avance ( $\frac{m}{s^2}$ )
- Potencia transmitida a los ejes motrices (HP o kW)
- Torque disponible en las ruedas (N×m)
- Esfuerzos y deformaciones (MPa y mm)
- Factor de seguridad

**Variable dependiente:** actividades agrícolas del cultivo de maíz blanco gigante.

**Indicadores:**

- Capacidad de trabajo
- Tiempo de ejecución
- Costo de labores agrícolas
- Consumo de combustible

## **1.8 Alcances y limitaciones**

### ***1.8.1 Alcances***

- Diseñar un Multicultor para las labores agrícola tales como el arado, rastrado, siembra y aporque del cultivo de maíz blanco gigante para la comunidad de Urco.
- Se utiliza la norma alemana VDI 2221 y 2225 para el desarrollo conceptual del Multicultor.
- Realizar los cálculos de diseño de los principales sistemas mecánicos.
- Realizar simulaciones computacionales para validar el funcionamiento y la viabilidad del diseño.
- Realizar la elaboración de planos técnicos de la maquina Multicultor y la selección adecuada de materiales para su fabricación.
- Evaluar la factibilidad técnica y económica del diseño mediante indicadores como VAN y TIR.

### ***1.8.2 Limitaciones***

En el presente estudio se excluirán los siguientes aspectos:

- El enfoque del estudio estará únicamente centrado en el diseño del Multicultor y solo se consideran trabajos tales como son arado, rastrado, siembra y aporque.
- El diseño está orientado a las condiciones de trabajo del cultivo de maíz blanco gigante en la comunidad campesina de Urco.
- El cálculo y selección de los elementos mecánicos se realiza a partir de modelos teóricos y datos de catálogos, sin validación mediante ensayos físicos.
- No se realiza el análisis vibracional del sistema, por lo que no se consideran los efectos dinámicos durante su operación.
- No se realiza el diseño ni el cálculo detallado de los sistemas eléctricos del Multicultor.
- No se realiza la construcción del Multicultor, por lo tanto, la validación estará restringida a simulaciones computacionales.

## **1.9 Metodología de la investigación**

### ***1.9.1 Diseño de la investigación***

La investigación es de tipo no experimental, ya que se enfoca en el diseño de una máquina mediante un proceso sistemático y estructurado, aplicando principios de diseño para garantizar su funcionalidad, confiabilidad y durabilidad.

### ***1.9.2 Tipo de la investigación.***

La presente investigación es de tipo aplicada, ya que utiliza principios y conocimientos de ingeniería para diseñar un Multicultor destinado a mejorar las labores agrícolas del cultivo de maíz blanco gigante, contribuyendo a la solución de una problemática real en la comunidad campesina de Urco.

### ***1.9.3 Nivel de la investigación.***

La investigación corresponde al nivel descriptivo, debido a que describe las necesidades y condiciones de las labores agrícolas del cultivo de maíz blanco gigante y, a partir de dicho análisis, propone el diseño de un Multicultor como alternativa para mejorar la eficiencia de estas actividades.

### ***1.9.4 Enfoque de la investigación***

Cuantitativo, por lo que se basa en cálculos, mediciones y análisis numéricos para el diseño y dimensionamiento de los componentes de la máquina, así como en la evaluación de parámetros técnicos como potencia, torque, velocidades, esfuerzos y costos.

### ***1.9.5 Técnica de recolección de datos***

Para la obtención de información se emplearán fuentes documentales, consultando bibliografía proveniente de tesis, artículos científicos, informes técnicos y sitios web confiables.

## CAPÍTULO II

### 2 Marco teórico

#### 2.1 Antecedentes de investigación

##### 2.1.1 *Antecedentes internacionales*

(Mora Bagua & Copa Mullo, 2017) desarrollaron, el diseño y construcción de un arado de discos que se acople a un motocultor YTO DF-15L para la zona de Ecuador. Con el fin de mejorar el movimiento del suelo para la siembra en beneficio de una asociación agrícola favorecida por el MAGAP. Ante la limitación del rotavator original el cual solo fragmenta el suelo hasta 15 cm de profundidad para siembra de pastos, se propuso este nuevo sistema mediante una metodología analítica, sintética, bibliográfica y comparativa. Los materiales de cada componente se seleccionaron bajo estrictos requerimientos de trabajo y mecanizado, validando el disco del arado mediante ensayos de espectrometría, microestructura, impacto y dureza para garantizar su resistencia al insertarse en el suelo. El proyecto concluyó exitosamente con pruebas de campo que evidenciaron la operatividad del equipo, demostrando que la potencia del motocultor supera los requerimientos del diseño para las labores agrícolas, por lo cual se recomienda su uso bajo una matriz de comportamiento que permita la mejora continua del sistema.

(Gonzalez Jaramillo, 1986) realizó el diseño y construcción de implementos de labranza acoplados a un motocultor. Esta tesis propone el diseño sistemático y la optimización de implementos de labranza locales para reducir la dependencia de maquinaria importada y fomentar el ahorro de divisas en el país. Tomando como referencia las zonas agrícolas bajo la influencia de la ESPOL y las estadísticas de importación de maquinaria, el estudio analiza las características de los suelos y los métodos de aradura para proceder con el diseño mecánico, cálculo y dimensionamiento de todos los elementos del implemento. Finalmente, el proyecto valida su propuesta mediante pruebas de campo que confirman la efectividad del equipo,

señalando la necesidad de realizar ensayos adicionales a largo plazo para evaluar su durabilidad antes de iniciar una producción en serie, consolidando así un modelo óptimo que sirva como fuente de información para futuras investigaciones.

### ***2.1.2 Antecedentes nacionales***

(Torres Marquez, 2023) desarrollo, diseño mecánico de máquina sembradora de semillas de maíz amiláceo blanco a tracción animal con una capacidad de 0,25 ha/h en el centro poblado de Cotarma, distrito de Pichirhua, provincia de Abancay, Apurímac. El presente proyecto aborda la problemática del cultivo de maíz amiláceo en el centro poblado de Cotarma, donde su producción es la principal actividad económica, pero se ve afectada por bajos rendimientos y altos costos debido al uso de métodos tradicionales por falta de acceso a tecnología agraria. Para solucionar esto, el trabajo detalla el desarrollo de una máquina sembradora automática que abre el surco, deposita la semilla y lo tapa. Estructurado en cuatro capítulos, el documento describe primero la tecnología de siembra local y sus parámetros; luego, desarrolla el diseño conceptual de la máquina aplicando la metodología de las normas VDI 2221 y 2225; posteriormente, presenta la ingeniería de detalle con los cálculos mecánicos y la selección de piezas normadas; y finalmente, realiza una estimación de costos de materiales y fabricación. El proyecto concluye con el diseño exitoso de una sembradora automática apta para terrenos accidentados, fácil de transportar y montar, que cumple con los parámetros agronómicos recomendados.

(Rubio Valle, 2018) desarrollo el diseño y optimización de un arado reversible por gravedad. Este proyecto resuelve la falta de respaldo técnico en la fabricación de maquinaria agrícola para las zonas andinas mediante el diseño de un arado reversible por gravedad de tecnología intermedia y bajo costo. Basado en la metodología de diseño sistemático de Pahl y Beitz, el equipo fue modelado y validado en SolidWorks utilizando materiales comerciales y económicos, como perfiles de acero ASTM A-36 para los bastidores, acero AISI 1045 para los

discos, y uniones estándar de soldadura y pernería. Con un peso total de 350 kg que lo hace ideal para operar con un tractor de 65 Hp, el arado destaca por un innovador sistema de reversión de discos autónomo que funciona exclusivamente mediante fuerzas de gravedad e inercia de sus propios componentes, logrando un diseño formalizado, eficiente y altamente accesible para el mercado local.

## **2.2 Bases teóricas**

### ***2.2.1 Conceptos preliminares sobre maíz blanco gigante de Cusco***

#### **2.2.1.1 Origen y descripción de maíz blanco gigante**

El maíz blanco gigante tiene su origen en el departamento de Cusco, específicamente en el valle sagrado de los incas, ubicado en las provincias de Calca y Urubamba, donde se cultiva a altitudes que varían entre los 2 600 y 3 050 m s. n. m.

#### **Figura 2.1**

*Granos de maíz blanco gigante*



*Nota:* la imagen representa los granos de mazorcas de maíz blanco gigante de Cusco.

El término maíz blanco gigante proviene del vocablo quechua “paraqay sara”, que significa “maíz blanco de granos grandes y anchos”. Esta variedad se caracteriza por presentar mazorcas cilíndricas de gran tamaño con 8 hileras de granos, granos de color blanco, forma

plana y circular, con textura harinosa, la planta alcanza alturas entre 2 y 3 metros y posee un tallo grueso y robusto

**Tabla 2.1**

*Características del maíz blanco gigante*

| Elementos            | Características  |
|----------------------|------------------|
| Peso del grano       | 120 a 160 gramos |
| Largo del grano      | 20.38 mm         |
| Diámetro del grano   | 17.66 mm         |
| Espesor del grano    | 6.14 mm          |
| Periodo de floración | 115 a 130 días   |
| Periodo de madurez   | 230 a 260 días   |

*Nota:* la tabla representa las características del grano del maíz, tomado de (INIA, 2013).

### 2.2.1.2 Parámetros de siembra de maíz blanco gigante

Los parámetros fundamentales de la siembra de maíz blanco gigante a surco corrido se muestran en la **Tabla 2.2**.

**Tabla 2.2**

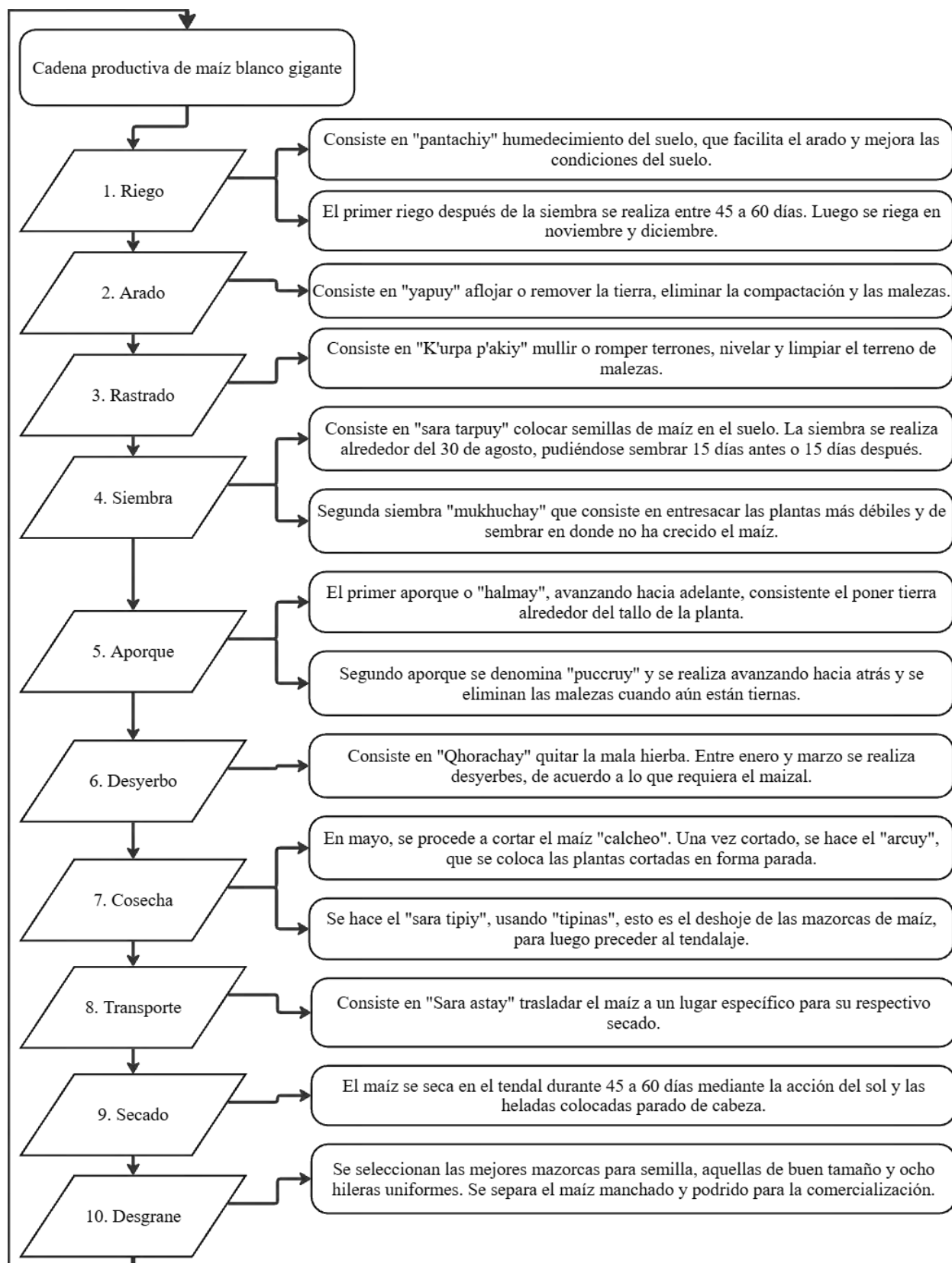
*Siembra a surco corrido*

| Distancia entre surcos (cm) | Numero de plantas por metro lineal de surco | Profundidad de siembra (cm) | Descripción                                                                                                                 |
|-----------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 80                          | 5 a 6 plantas                               | Entre 8 y 10                | El objetivo principal es maximizar el rendimiento mediante un mejor aprovechamiento del suelo y del agua de lluvia o riego. |
| 85                          |                                             |                             | Favorece la emergencia de las plántulas entre 8 y 15 días, dependiendo de la humedad del suelo y la temperatura.            |
| 90                          |                                             |                             |                                                                                                                             |

*Nota:* la tabla representa los parámetros de siembra, tomado de (INIA, 2013).

### 2.2.1.3 Cadena productiva del maíz blanco gigante

La producción del maíz blanco gigante tiene sus orígenes en la época preincaica y hasta la actualidad, conserva diversas prácticas tradicionales de cultivo y manejo.

**Figura 2.2***Procesos de producción manual del maíz blanco gigante*

*Nota:* la tabla representa los procesos manual y tradicional. Tomado de (INDECOPI, 2005)

### **2.2.2 *El suelo agrícola***

#### **2.2.2.1 El suelo**

Según (OCEANO/CENTRUM, 1999) el suelo es la capa natural que cubre la superficie terrestre, formada por la acción de procesos físicos, químicos y botánicos sobre la roca madre. Constituye el medio donde se desarrollan las plantas y cumple un papel fundamental en el mantenimiento de la vida.

Según (Maroni & Madera, 1989) el suelo es la capa superficial de la Tierra, formada por la transformación de la roca madre mediante procesos físicos, químicos y biológicos, que proporciona el medio adecuado para el crecimiento y desarrollo de las plantas.

#### **2.2.2.2 Tipo de suelo de la provincia de Calca comunidad Urco**

Los suelos del piso del valle son superficiales a medianamente profundos, de textura media (franco-arcillosa a franco-areno-arcillosa y franco-limosa), con drenaje medio o bueno. Presentan áreas pequeñas y dispersas de sectores con mal drenaje, otras veces pedregosos, con afloraciones salinas y encharcamientos. Los suelos de los andenes o terrazas artificiales son de mejores características físico – químicas, profundos, de buen drenaje, con subsuelo arenoso y superficie de textura franca, estructura friable con agregados más o menos estables donde mantiene el contenido de materia orgánica (INIA, 2013).

La comunidad de Urco presenta un relieve accidentado, compuesto por laderas y cerros con pendientes pronunciadas. Debido a estas condiciones, los cultivos se desarrollan en parcelas pequeñas e inclinadas, lo que dificulta el uso de maquinaria agrícola lo que optan a realizar de manera manual o tradicional.

### **2.2.3 *Labranza del suelo***

Según (Polanco Puertas, 2007) labranza del suelo comprende en las labores realizadas sobre el terreno para acondicionarlo antes de la siembra, proporcionando condiciones adecuadas para la germinación, crecimiento y desarrollo del cultivo.

Según (Maroni & Madera, 1989) labranza del suelo es el conjunto de operaciones destinadas a preparar el terreno para establecer y desarrollar un cultivo en condiciones adecuadas.

## **2.2.4 Tipos de labranzas del suelo**

### **2.2.4.1 Labranza Primaria**

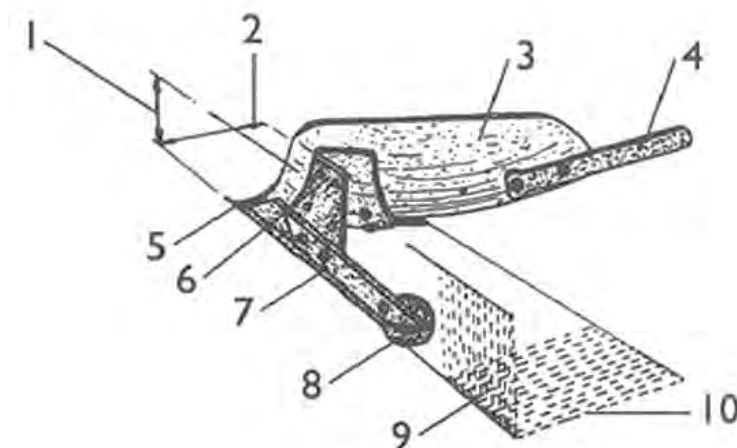
La labranza primaria comprende en las labores iniciales de preparación del terreno de cultivo, como el desmonte, retiro de raíces y piedras, arado, volteo del suelo y nivelación. Su finalidad es acondicionar el terreno, reducir la resistencia del suelo y eliminar obstáculos para el establecimiento del cultivo (Polanco Puertas, 2007).

#### **2.2.4.1.1 Arado de vertedera**

El arado de vertedera es una herramienta de labranza primaria utilizada para cortar, desmenuzar y voltear el suelo, mejorando su aireación y capacidad de retención de agua. Además, incorpora residuos vegetales y controla malezas (Polanco Puertas, 2007).

### **Figura 2.3**

*Arado de vertedera y sus componentes*



*Nota:* la figura representa elementos del arado vertedera, donde; 1. Profundidad de trabajo, 2. Anchura de corte, 3. Vertedera, 4. Extensión de vertedera, 5. Reja, 6. Dental, 7. Resguardador, 8. Talón, 9. Pared del surco, 10. Solera del surco, tomado de (Laguna Blanca, 1996).

Según (Polanco Puertas, 2007) las ventajas y desventajas del arado de vertedera se mencionan a continuación en la siguiente tabla.

**Tabla 2.3**

*Ventajas y desventajas del arado de vertedera*

| Ventajas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Desventajas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Permite incorporar eficientemente abonos verdes y residuos de cosechas anteriores.</li> <li>▪ Los modelos reversibles facilitan el volteo uniforme de la tierra y mantienen la nivelación del terreno.</li> <li>▪ Presenta buena capacidad de penetración en el suelo.</li> <li>▪ Requiere menor potencia de trabajo en comparación con el arado de disco convencional.</li> <li>▪ Ofrece una operación sencilla cuando está correctamente ajustado y calibrado.</li> <li>▪ Proporciona un mejor acabado del terreno, reduciendo labores posteriores de rastrillado.</li> <li>▪ Demanda menores costos y esfuerzos de mantenimiento y operación.</li> <li>▪ Tiene un costo de adquisición inferior al del arado de disco.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Su uso es limitado en suelos excesivamente secos o húmedos, debido a la menor eficiencia en el acondicionamiento del terreno.</li> <li>▪ No es adecuado para terrenos con piedras, raíces u otros obstáculos que puedan dañar el implemento.</li> <li>▪ Presenta un mayor desgaste al trabajar en suelos arenosos.</li> <li>▪ Tiene una capacidad limitada para realizar labores de gran profundidad.</li> </ul> |

*Nota:* la tabla representa las ventajas y desventajas del arado de vertedera.

#### **2.2.4.2 Labranza secundaria**

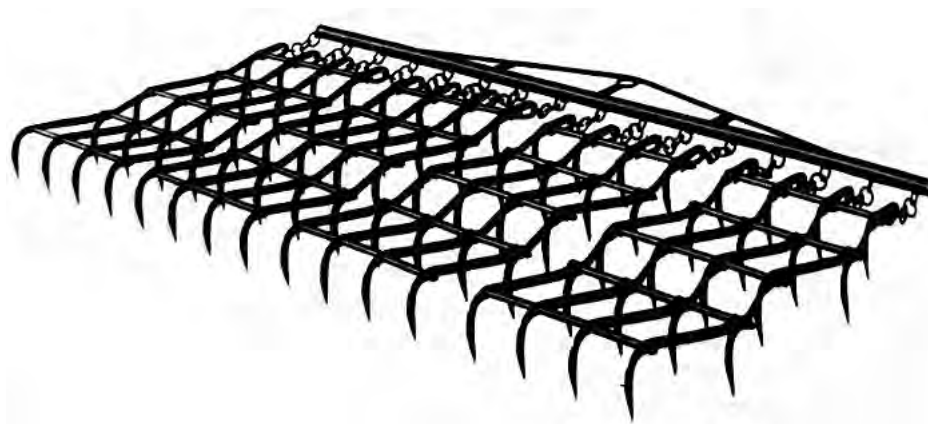
Según (Polanco Puertas, 2007) la labranza secundaria comprende las labores posteriores al arado destinadas a desmenuzar terrones, nivelar el suelo y acondicionar la cama de siembra. Para ello se emplean implementos que rompen (rastras de dientes, cultivadores y rodillos) o cortan el suelo (rastras de discos y fresadoras), facilitando la preparación adecuada del terreno para el cultivo.

#### 2.2.4.2.1 *Rastra de púas*

Las rastras de dientes están formadas por un bastidor con múltiples púas que trabajan a poca profundidad, desmenuzando la capa superficial del suelo. Se utilizan principalmente para preparar la cama de siembra, cubrir semillas, distribuir residuos de cosecha y eliminar la capa superficial del terreno (Ortiz Cañavate, 2003).

**Figura 2.4**

*Rastra de púas*



*Nota:* la figura representa modelo de una rastra de púas, tomado de (Ortiz Cañavate, 2003).

#### 2.2.4.3 **Labranza convencional**

Según (Polanco Puertas, 2007) la labranza convencional consiste en la combinación de labores primarias y secundarias para preparar una adecuada cama de siembra. Este sistema remueve el suelo mediante arado y rastra, las características de este sistema son:

- Prepara una adecuada cama de siembra, favoreciendo la germinación y el desarrollo del cultivo.
- Mejora la aireación y la infiltración de agua en el suelo.
- Contribuye al control de malezas y al acondicionamiento del terreno.
- Facilita la incorporación de fertilizantes y otros insumos agrícolas.
- Permite realizar con mayor facilidad las labores de siembra y manejo del cultivo.
- Ayuda a reducir la incidencia de plagas y enfermedades mediante la remoción del suelo.

#### 2.2.4.4 Máquinas sembradoras

La sembradora es uno de los implementos agrícolas más importantes, ya que determina la distribución y profundidad de siembra de las semillas, influyendo directamente en su germinación, desarrollo y rendimiento del cultivo (Polanco Puertas, 2007).

##### 2.2.4.4.1 Tipos de sembradoras

Según (Laguna Blanca, 1996) los tipos de sembradoras se mencionan a continuación:

- a. **Sembradora a chorrillo.** Distribuyen la simiente en líneas equidistantes se utilizan normalmente para la siembra de cereales (trigo, avena, etc.).
- b. **Sembradora a voleo.** Distribuyen y entierran la simiente, suelen utilizarse para la siembra de pratenses (alfalfa, trébol, ray – grass, etc.).
- c. **Sembradoras a golpe.** Depositán las semillas en grupos alineados quedando espacios libres sin semilla entre grupos y grupos (frejoles, garbanzos, etc.).
- d. **Sembradoras de precisión.** Depositán las semillas también en líneas, pero semilla a semilla.

#### 2.2.5 El tractor agrícola

El término tractor apareció en 1906 para describir una máquina autopropulsada utilizada en labores agrícolas como trillar y arar, proporcionando alta potencia de tiro a baja velocidad y funcionando inicialmente con kerosén. Con el tiempo se incorporaron importantes mejoras tecnológicas, como la toma de fuerza en 1920, las llantas neumáticas en los años treinta, y posteriormente el arranque eléctrico, luces y sistemas hidráulicos en los años cuarenta (Polanco Puertas, 2007).

Según (Polanco Puertas, 2007) Tras la Segunda Guerra Mundial, la incorporación de motores a gasolina y diésel, junto con el sistema de enganche de tres puntos, impulsó el desarrollo de los tractores agrícolas. Con el tiempo, su diseño evolucionó para mejorar la seguridad, comodidad, eficiencia y versatilidad, dando lugar a modelos adaptados tanto a

grandes como a pequeños productores. Según sus características, los tractores pueden clasificarse de la siguiente manera.

- Clasificación de tractores según su potencia
- Clasificación de tractores de acuerdo al diseño
- Clasificación de tractores de acuerdo al rodamiento
- Clasificación de tractores de acuerdo al tipo de motor

### **2.2.6 Motor de combustión interna**

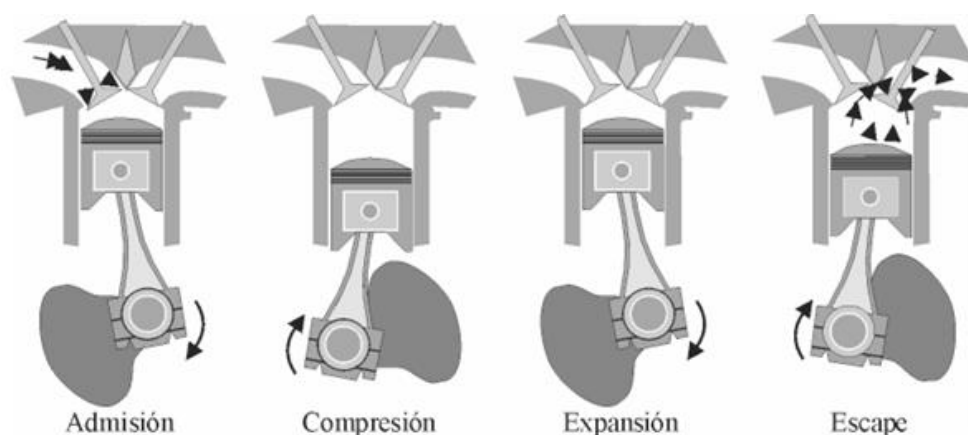
Los motores de combustión interna transforman la energía del combustible en energía mecánica mediante la combustión en una cámara cerrada. En agricultura, los más utilizados son los motores Otto y diésel, donde el movimiento del pistón se convierte en giro mediante el sistema biela manivela (Polanco Puertas, 2007).

#### **2.2.6.1 Motores de cuatro tiempos**

Según (Rovira, 2015) los motores de cuatro tiempos requieren cuatro carreras del pistón, equivalentes a dos revoluciones del cigüeñal, para completar el ciclo de funcionamiento. Estas cuatro etapas se representan de forma esquemática en la figura siguiente.

**Figura 2.5**

*Esquema de un motor de 4T*



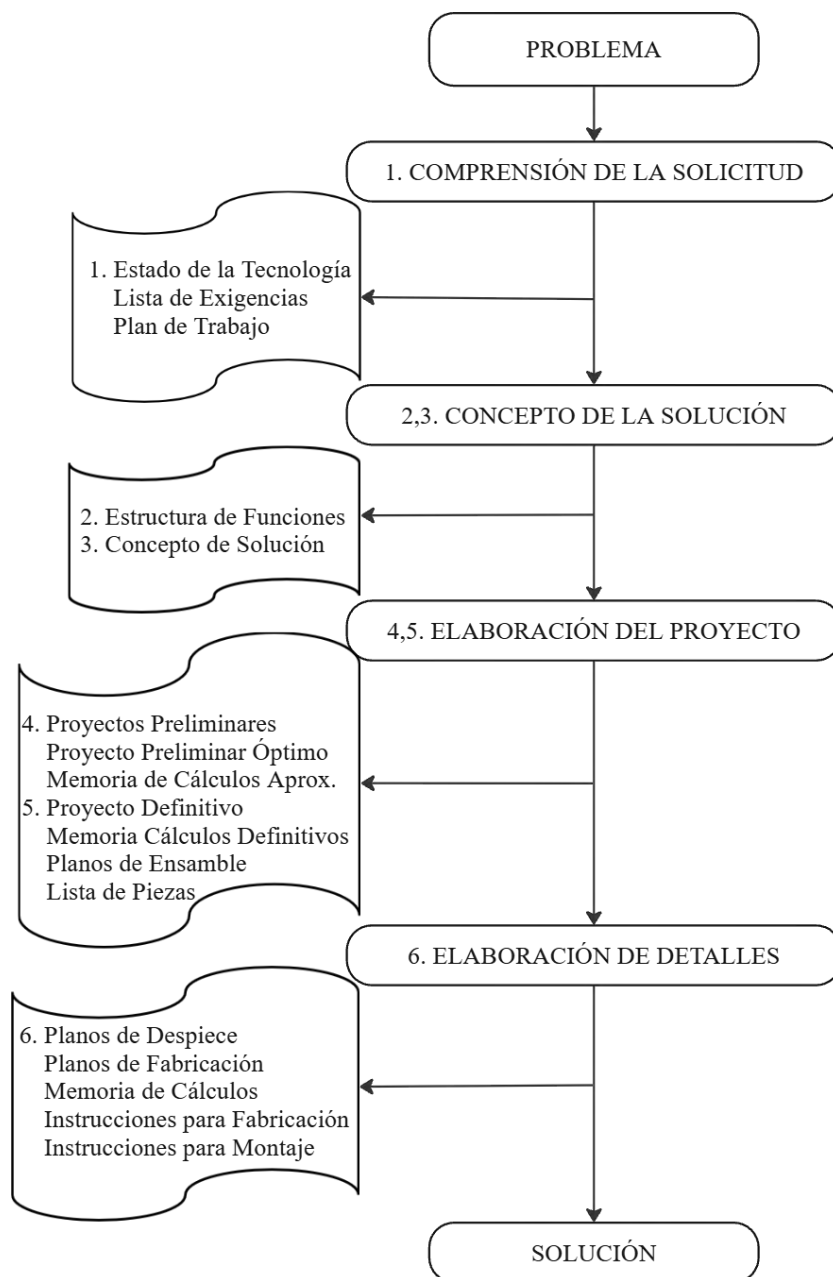
*Nota:* la figura representa un esquema del funcionamiento de un motor de cuatro tiempos, tomado de (Rovira, 2015).

### 2.2.7 Fases del diseño VDI 2221

La metodología de diseño, en la cual se distinguen las etapas principales: comprensión de la necesidad, generación del concepto de solución, desarrollo del proyecto y diseño detallado. Asimismo, en el lado izquierdo se presentan las actividades y los documentos que deben elaborarse en cada una de estas fases.

**Figura 2.6**

*Método de diseño y sus fases*



*Nota:* la figura representa método de diseño y sus fases, tomado de (Barriga Gamarra, 2018).

## CAPÍTULO III

### 3 Desarrollo del modelo conceptual

En el presente capítulo se desarrolla la formulación del modelo conceptual óptimo del Multicultor, aplicando la norma alemana de diseño VDI 2221, la cual permite estructurar de manera sistemática y secuencial las fases del proceso de diseño, facilitando la generación, evaluación y selección de alternativas de solución.

#### 3.1 Comprensión de la solicitud

Es la etapa inicial del diseño en la que se interpreta la necesidad del usuario y se define claramente el problema. Permite identificar los requerimientos básicos del sistema y sirve como base para las siguientes fases del diseño.

##### 3.1.1 *Lista de exigencias*

Trabaja como un acuerdo formal entre el diseñador y el usuario, en el que se establecen los requisitos y condiciones que debe cumplir el producto a desarrollar. La formulación de las exigencias debe realizarse de manera objetiva y sin predisponer una solución específica al problema. Para su definición, es necesario responder las siguientes interrogantes:

¿Qué función o propósito debe cumplir la solución?

¿Qué características o propiedades debe poseer?

¿Qué características o propiedades no debe presentar?

Estas preguntas permiten identificar de forma clara los requisitos que deberá satisfacer el diseño. En la **Tabla 3.1** se presentan las principales características y requerimientos considerados para el diseño de un Multicultor destinado a las actividades agrícolas del cultivo de maíz blanco gigante en los terrenos de la comunidad de Urco, distrito de Calca – Cusco.

**Tabla 3.1***Lista de exigencias del diseño del Multicultor*

| LISTA DE EXIGENCIAS          |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                     | Página: 1 de 4      |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
|                              |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                     | Edición:            |
| Proyecto                     | DISEÑO DE UN MULTICULTOR PARA ACTIVIDADES AGRÍCOLAS DEL CULTIVO DE MAÍZ BLANCO GIGANTE EN TERRENOS DE LA COMUNIDAD DE URCO DISTRITO DE CALCA-CUSCO |                                                                                                                                                                     | Fecha:              |
|                              |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                     | Revisado            |
| Cliente                      | COMUNIDAD DE URCO DISTRITO DE CALCA-CUSCO                                                                                                          |                                                                                                                                                                     | Elaborado:          |
| Fecha (Cambios)              | Deseo o Exigencia                                                                                                                                  | Descripción                                                                                                                                                         | Responsables        |
| FUNCION PRINCIPAL DEL EQUIPO |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                     |                     |
| 15/12/2024                   | E                                                                                                                                                  | El Multicultor debe proporcionar potencia, tracción y movilidad necesaria para accionar implementos y realizar labores agrícolas.                                   | J.C.L.T. / E.R.S.P. |
| 15/12/2024                   | E                                                                                                                                                  | El Multicultor debe incorporar un sistema de acople que permita la conexión y desconexión rápida y segura de los implementos.                                       | J.C.L.T. / E.R.S.P. |
| 15/12/2024                   | E                                                                                                                                                  | El Multicultor debe proporcionar estabilidad y equilibrio durante el arrastre de implementos.                                                                       | J.C.L.T. / E.R.S.P. |
| 15/12/2024                   | E                                                                                                                                                  | Al arar debe Invertir y remover el suelo para la preparación del terreno.                                                                                           | J.C.L.T. / E.R.S.P. |
| 15/12/2024                   | E                                                                                                                                                  | La rastra debe desmenuzar los terrones y nivelar el suelo.                                                                                                          | J.C.L.T. / E.R.S.P. |
| 15/12/2024                   | E                                                                                                                                                  | La sembradora debe realizar la siembra de maíz blanco gigante de manera uniforme y según los parámetros recomendados.                                               | J.C.L.T. / E.R.S.P. |
| 15/12/2024                   | E                                                                                                                                                  | El aporcador debe acumular tierra alrededor de las plantas de maíz para formar caballones que favorezcan su desarrollo.                                             | J.C.L.T. / E.R.S.P. |
| GEOMETRIA                    |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                     |                     |
| 15/12/2024                   | E                                                                                                                                                  | El Multicultor debe tener un ancho máximo de 70 cm y dimensiones que garanticen la visibilidad del operador y una adecuada maniobrabilidad en terrenos irregulares. | J.C.L.T. / E.R.S.P. |
| 15/12/2024                   | E                                                                                                                                                  | El arado debe operar con una profundidad de 20 cm y un ancho de 30 cm para garantizar una adecuada roturación del suelo.                                            | J.C.L.T. / E.R.S.P. |

| LISTA DE EXIGENCIAS   |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                               | Página: 2 de 4      |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
|                       |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                               | Edición:            |
| Proyecto              | DISEÑO DE UN MULTICULTOR PARA ACTIVIDADES AGRÍCOLAS DEL CULTIVO DE MAÍZ BLANCO GIGANTE EN TERRENOS DE LA COMUNIDAD DE URCO DISTRITO DE CALCA-CUSCO |                                                                                                                                                               | Fecha:              |
|                       |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                               | Revisado            |
| Cliente               |                                                                                                                                                    | COMUNIDAD DE URCO DISTRITO DE CALCA-CUSCO                                                                                                                     | Elaborado:          |
| Fecha (Cambios)       | Deseo o Exigencia                                                                                                                                  | Descripción                                                                                                                                                   | Responsables        |
| 15/12/2024            | E                                                                                                                                                  | La rastra debe contar con dimensiones adecuadas que garanticen suficiente espacio para el operador y faciliten la maniobrabilidad durante el trabajo.         | J.C.L.T. / E.R.S.P. |
| 15/12/2024            | E                                                                                                                                                  | El aporcador debe trabajar con una profundidad de 20 cm y un ancho de 30 cm para asegurar un adecuado aporque y acumulación de tierra alrededor de la planta. | J.C.L.T. / E.R.S.P. |
| 15/12/2024            | E                                                                                                                                                  | La distancia de sembrado entre semilla a semilla es a 20 cm, profundidad de siembra a 8 cm.                                                                   | J.C.L.T. / E.R.S.P. |
| CINEMÁTICA            |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                               |                     |
| 15/12/2024            | E                                                                                                                                                  | El Multicultor debe adecuarse a la posición, dirección y la velocidad que requiere cada proceso de labranza.                                                  | J.C.L.T. / E.R.S.P. |
| 15/12/2024            | E                                                                                                                                                  | El sistema de transmisión debe proporcionar el torque necesario para el accionamiento de los implementos.                                                     | J.C.L.T. / E.R.S.P. |
| FUERZAS               |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                               |                     |
| 15/12/2024            | E                                                                                                                                                  | La estructura debe soportar las cargas generadas durante las labores agrícolas sin deformaciones permanentes.                                                 | J.C.L.T. / E.R.S.P. |
| 15/12/2024            | E                                                                                                                                                  | El sistema de acople debe resistir las fuerzas de tracción y reacción del suelo.                                                                              | J.C.L.T. / E.R.S.P. |
| 15/12/2024            | E                                                                                                                                                  | El arado debe resistir las cargas producidas por la penetración en el suelo.                                                                                  | J.C.L.T. / E.R.S.P. |
| SEÑALES (INFORMACION) |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                               |                     |
| 15/12/2024            | E                                                                                                                                                  | Incorporar indicadores básicos de operación y control del equipo.                                                                                             | J.C.L.T. / E.R.S.P. |
| ENERGÍA               |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                               |                     |
| 15/12/2024            | E                                                                                                                                                  | Debe ser un motor ligero, compacto y de fácil mantenimiento.                                                                                                  | J.C.L.T. / E.R.S.P. |

| LISTA DE EXIGENCIAS |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                   | Página: 3 de 4      |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
|                     |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                   | Edición:            |
| Proyecto            | DISEÑO DE UN MULTICULTOR PARA ACTIVIDADES AGRÍCOLAS DEL CULTIVO DE MAÍZ BLANCO GIGANTE EN TERRENOS DE LA COMUNIDAD DE URCO DISTRITO DE CALCA-CUSCO |                                                                                                                                                   | Fecha:              |
|                     |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                   | Revisado            |
| Cliente             |                                                                                                                                                    | COMUNIDAD DE URCO DISTRITO DE CALCA-CUSCO                                                                                                         | Elaborado:          |
| Fecha (Cambios)     | Deseo o Exigencia                                                                                                                                  | Descripción                                                                                                                                       | Responsables        |
| 15/12/2024          | E                                                                                                                                                  | Utilizar un motor de combustión que suministre la potencia necesaria para todas las labores previstas.                                            | J.C.L.T. / E.R.S.P. |
| MATERIA             |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                   |                     |
| 15/12/2024          | E                                                                                                                                                  | Los materiales empleados deben poseer resistencia mecánica y resistencia a la corrosión, resistentes al desgaste abrasivo.                        | J.C.L.T. / E.R.S.P. |
| SEGURIDAD           |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                   |                     |
| 15/12/2024          | E                                                                                                                                                  | Garantizar la estabilidad de la maquina durante el trabajo y transporte.                                                                          | J.C.L.T. / E.R.S.P. |
| ERGONOMIA           |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                   |                     |
| 15/12/2024          | E                                                                                                                                                  | Permitir una operación cómoda y segura para el operador.                                                                                          | J.C.L.T. / E.R.S.P. |
| CONTROL DE CALIDAD  |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                   |                     |
| 15/12/2024          | E                                                                                                                                                  | Verificar dimensiones, materiales y funcionamiento de los componentes fabricados. Garantizar uniformidad en la distribución de semillas.          | J.C.L.T. / E.R.S.P. |
| FABRICACIÓN         |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                   |                     |
| 15/12/2024          | E                                                                                                                                                  | Los componentes deberán ser fácilmente accesibles, procesos de las piezas deberán ser simples y no requerir equipo especializado o de alto costo. | J.C.L.T. / E.R.S.P. |
| MONTAJE             |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                   |                     |
| 15/12/2024          | E                                                                                                                                                  | El montaje y desmontaje de los implementos deberá ser simple y fácil de realizar, sin requerir herramientas especializadas o técnicas complejas.  | J.C.L.T. / E.R.S.P. |
| TRANSPORTE          |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                   |                     |
| 15/12/2024          | D                                                                                                                                                  | Deberá poder transportarse en un vehículo o remolque sin necesidad de requerir maquinaria o equipo especializado.                                 | J.C.L.T. / E.R.S.P. |

| LISTA DE EXIGENCIAS |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                  | Página: 4 de 4      |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
|                     |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                  | Edición:            |
| Proyecto            | DISEÑO DE UN MULTICULTOR PARA ACTIVIDADES AGRÍCOLAS DEL CULTIVO DE MAÍZ BLANCO GIGANTE EN TERRENOS DE LA COMUNIDAD DE URCO DISTRITO DE CALCA-CUSCO |                                                                                                                                                                  | Fecha:              |
|                     |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                  | Revisado            |
| Cliente             |                                                                                                                                                    | COMUNIDAD DE URCO DISTRITO DE CALCA-CUSCO                                                                                                                        | Elaborado:          |
| Fecha (Cambios)     | Deseo o Exigencia                                                                                                                                  | Descripción                                                                                                                                                      | Responsables        |
| USO                 |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                  |                     |
| 15/12/2024          | E                                                                                                                                                  | Operar adecuadamente en terrenos de la comunidad de Urco que es destinado a las actividades del cultivo de maíz blanco gigante.                                  | J.C.L.T. / E.R.S.P. |
| MANTENIMIENTO       |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                  |                     |
| 15/12/2024          | D                                                                                                                                                  | El mantenimiento debe ser sencillo y los repuestos deben tener disponibilidad en el mercado local y nacional.                                                    | J.C.L.T. / E.R.S.P. |
| OPERACIÓN           |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                  |                     |
| 15/12/2024          | D                                                                                                                                                  | El Multicultor debe realizar de forma eficiente, continua y segura las labores de arado, rastrado, siembra y aporque en las condiciones de trabajo establecidas. | J.C.L.T. / E.R.S.P. |
| 15/12/2024          | D                                                                                                                                                  | El Multicultor deberá ser operado por una sola persona, permitiendo un manejo seguro, eficiente y de fácil control durante las labores agrícolas.                | J.C.L.T. / E.R.S.P. |
| COSTOS              |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                  |                     |
| 15/12/2024          | D                                                                                                                                                  | El costo del Multicultor no debe superar los 15 mil soles y deberá ser competente con las máquinas similares de importación.                                     | J.C.L.T. / E.R.S.P. |
| RECICLAJE           |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                  |                     |
| 15/12/2024          | D                                                                                                                                                  | Los materiales destinados al diseño deben ser aptos para su reutilización en otros productos.                                                                    | J.C.L.T. / E.R.S.P. |
| PLAZOS              |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                  |                     |
| 15/12/2024          | D                                                                                                                                                  | El proyecto deberá finalizar el 15 de junio de 2025.                                                                                                             | J.C.L.T. / E.R.S.P. |

*Nota:* la tabla representa una lista de exigencias del diseño del Multicultor.

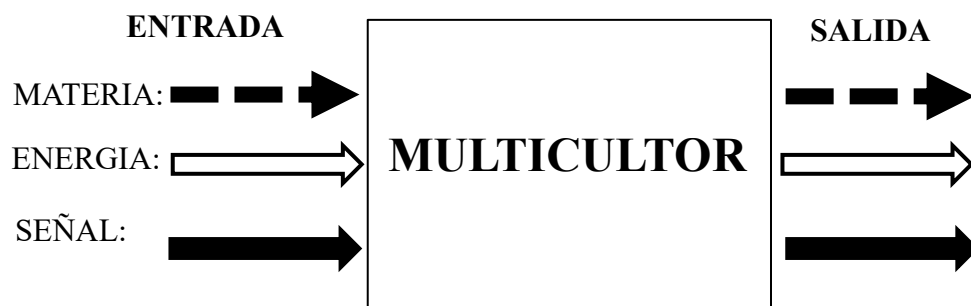
### 3.2 Concepción de la solución

#### 3.2.1 Abstracción: caja negra (Black – box)

Se analiza la lista de exigencias y se abstrae el problema para facilitar la generación de múltiples alternativas de solución. Durante esta fase, las funciones se conceptualizan como Cajas Negras, de modo que solo se analizan las tres magnitudes básicas de entrada y salida, ignorando completamente los detalles de los procesos internos.

**Figura 3.1**

*Caja negra del Multicultor*



*Nota:* la imagen representa una abstracción del Multicultor que tiene entrada y salida.

**Tabla 3.2**

*Entradas y salidas de la caja negra del Multicultor*

| Tipo     | Entrada                                                                                                                                     | Salida                                                                                                                                                                                        |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Materia: | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Suelo agrícola</li> <li>▪ Semillas de maíz blanco gigante.</li> <li>▪ Plántulas de maíz</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Suelo preparado (arado y rastrado)</li> <li>▪ Suelo sembrado con semillas de maíz blanco gigante.</li> <li>▪ Plántulas de maíz aporcadas.</li> </ul> |
| Energía: | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Combustible</li> <li>▪ Energía humana del operador.</li> </ul>                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Calor, ruido y vibraciones.</li> </ul>                                                                                                               |
| Señal:   | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Inicio y control del proceso.</li> </ul>                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Visual del trabajo realizado</li> </ul>                                                                                                              |

*Nota:* la tabla representa entradas y salidas de la caja negra del Multicultor.

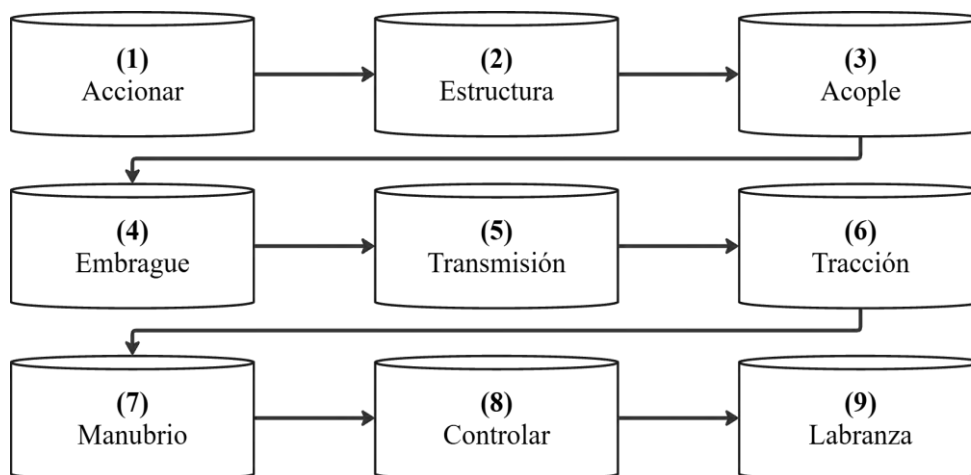
### 3.2.2 Funciones parciales

Cada parte de la máquina realiza parte de la función que contribuye a la función general. El diseño de la máquina incluye especificar estas funciones parciales, que pueden ser en serie o en paralelo, para lograr la transformación deseada. A continuación, describiremos las funciones parciales identificadas y aplicados para encontrar la solución óptima:

1. **Accionar:** Convierte la energía del combustible en potencia mecánica para el desplazamiento y trabajo del Multicultor.
2. **Estructura:** Soporta e integra los componentes de la máquina.
3. **Acople:** Permite unir y desmontar las herramientas de labranza.
4. **Embrague:** Conecta y desconecta la potencia entre el motor y la transmisión.
5. **Transmisión:** Transfiere la potencia del motor hacia las ruedas.
6. **Tracción:** Proporciona el agarre necesario para el avance.
7. **Manubrio:** Permite dirigir la máquina de forma segura.
8. **Controlar:** Regula el arranque, la velocidad y la parada del equipo.
9. **Labranza:** Ejecuta las labores de arado, rastrado, siembra y aporque.

**Figura 3.2**

*Fases del proceso que realiza la máquina*

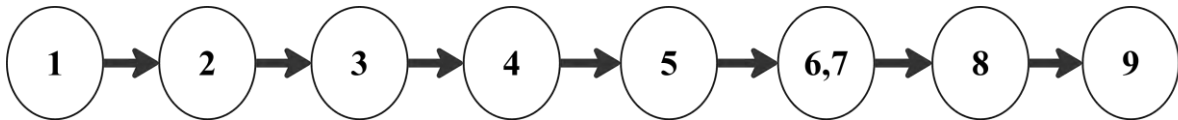


*Nota:* la figura representa las funciones parciales o fases del proceso que realizara la máquina Multicultor.

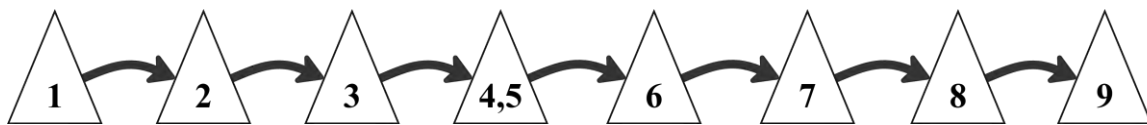
### 3.2.2.1 Alternativas de las funciones parciales

Las alternativas de las funciones parciales son las distintas opciones técnicas que permiten cumplir una función específica del sistema, y sirven para generar y evaluar diferentes conceptos de diseño antes de seleccionar la solución más adecuada.

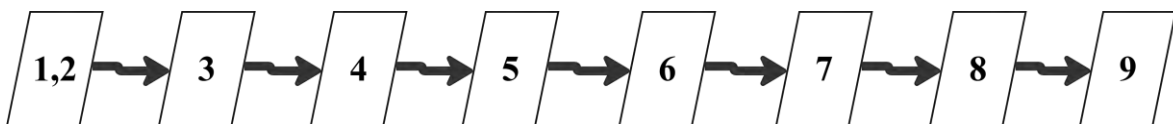
#### Alternativa 1



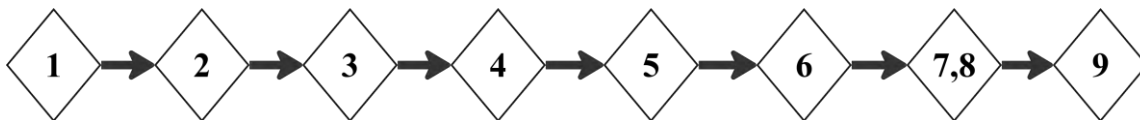
#### Alternativa 2



#### Alternativa 3



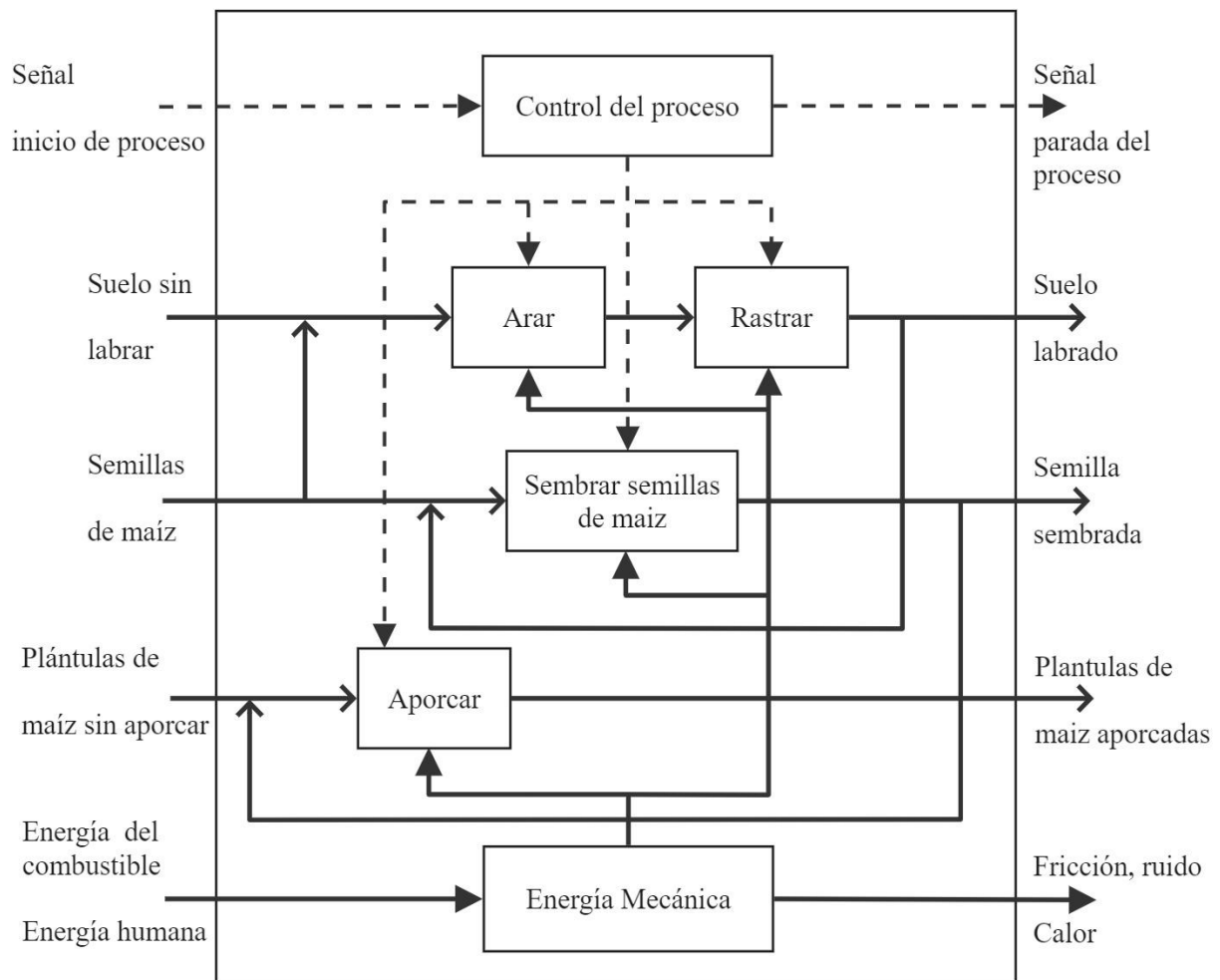
#### Alternativa 4



Tras evaluar las alternativas de las funciones parciales, se seleccionó la alternativa número 4 por simplificar el funcionamiento del Multicultor. Además, la ubicación de los controles en el manubrio mejora la accesibilidad, la ergonomía y la seguridad durante la operación, por lo tanto, quedaría expresada de la siguiente forma.

### 3.2.3 Estructura de funciones

La integración adecuada de las funciones parciales da lugar a la estructura de funciones, la cual representa de manera detallada cómo cada una de ellas contribuye al cumplimiento de la función global del sistema. Esta estructura permite comprender la interacción entre las distintas funciones y su aporte al funcionamiento integral de la máquina.

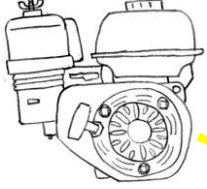
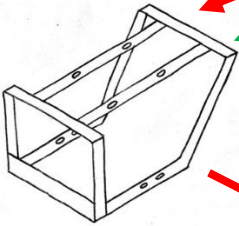
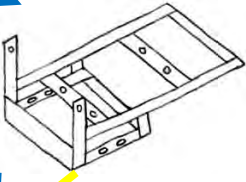
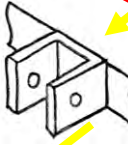
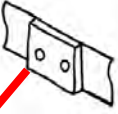
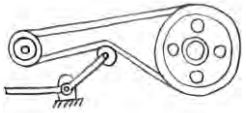
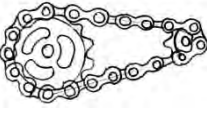
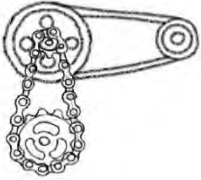
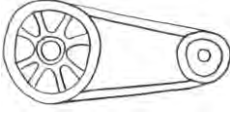
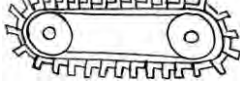
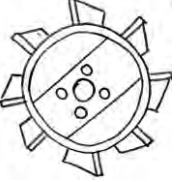
**Figura 3.3***Estructura de funciones*

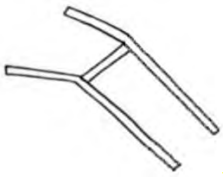
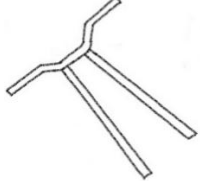
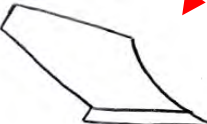
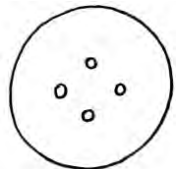
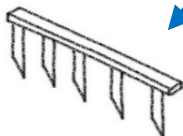
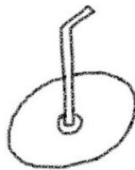
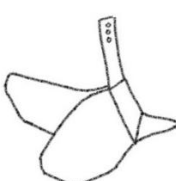
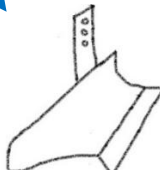
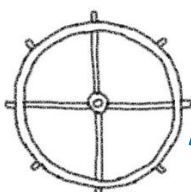
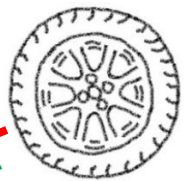
*Nota:* la imagen representa una estructura de funciones del diseño del Multicultor.

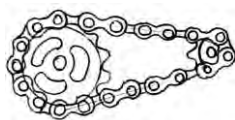
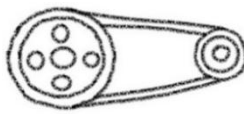
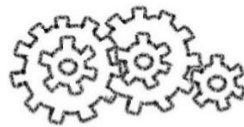
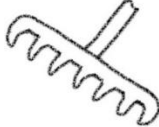
### 3.2.4 Matriz morfológica

Una vez obtenida la estructura de funciones, a cada una de ellas se le asignan distintos principios físicos que cumplan con los requisitos de esas funciones. El resultado de este proceso es la matriz morfológica a continuación se detalla en la **Figura 3.4**.

**Figura 3.4***Matriz morfológica*

| Funciones parciales | Alternativas de diseño                                                              |                                                                                      |                                                                                       |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Accionar            |    |                                                                                      |    |
|                     | Motor a gasolina                                                                    |                                                                                      | Motor diésel                                                                          |
| Estructura          |    |                                                                                      |    |
|                     | Soporte de una rueda                                                                |                                                                                      | Soporte de dos ruedas                                                                 |
| Acople              |  |  |  |
|                     | Enganche mediante pin en vertical                                                   | Enganche mediante pin en horizontal                                                  | Enganche mediante pernos                                                              |
| Embrague            |  |  |  |
|                     | Embrague centrífugo                                                                 | Embrague de disco                                                                    | Embrague de banda                                                                     |
| Transmisión         |  |  |  |
|                     | Cadena y piñones                                                                    | Cadenas y poleas                                                                     | Poleas                                                                                |
| Tracción            |  |  |  |
|                     | Neumático                                                                           | Oruga                                                                                | Rueda de acero                                                                        |

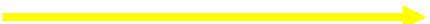
|          |                        |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
|----------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Manubrio |                        |    |                                                                                      |    |
|          |                        | Barras paralelas                                                                    |                                                                                      | Manillar tipo moto                                                                    |
| Arar     |                        |    |    |    |
|          |                        | Arado Romano                                                                        | Arado vertedera                                                                      | Arado de disco                                                                        |
| Rastrar  |                        |    |    |    |
|          |                        | Rodillo con púas                                                                    | Barra con cuchillas con punta                                                        | Barra con púas                                                                        |
| Aporcar  |                        |  |  |  |
|          |                        | Surcador de discos                                                                  | Surcador de reja                                                                     | Reja vertedera                                                                        |
| Sembrar  | Dosificar semilla      |  |  |  |
|          |                        | Rodillo dosificador                                                                 | Disco dispensador                                                                    | Cucharillas                                                                           |
|          | Dosificar fertilizante |  |  |  |
|          |                        | Rueda de paletas                                                                    | Rodillo dosificador                                                                  | Tornillo sin fin                                                                      |
|          | Rueda motriz           |  |                                                                                      |  |
|          |                        | Rueda metálica                                                                      |                                                                                      | Rueda neumática                                                                       |

|  |                     |                                                                                   |                                                                                    |                                                                                     |
|--|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Transmitir potencia |  |  |  |
|  |                     | Cadena y piñones                                                                  | Faja y poleas                                                                      | Engranajes                                                                          |
|  | Abrir surco         |  |  |  |
|  |                     | Surcador tipo bota                                                                | Reja surcadora                                                                     | Discos planos                                                                       |
|  | Tapar surco         |  |  |  |
|  |                     | Cadena de arrastre                                                                | Lamina de acero                                                                    | Rastrillo                                                                           |
|  | <b>Solución 1</b>   | <b>Solución 3</b><br><b>Solución 4</b>                                            | <b>Solución 2</b>                                                                  |                                                                                     |

*Nota:* la imagen representa la matriz morfológica del diseño de Multicultor.

**Tabla 3.3**

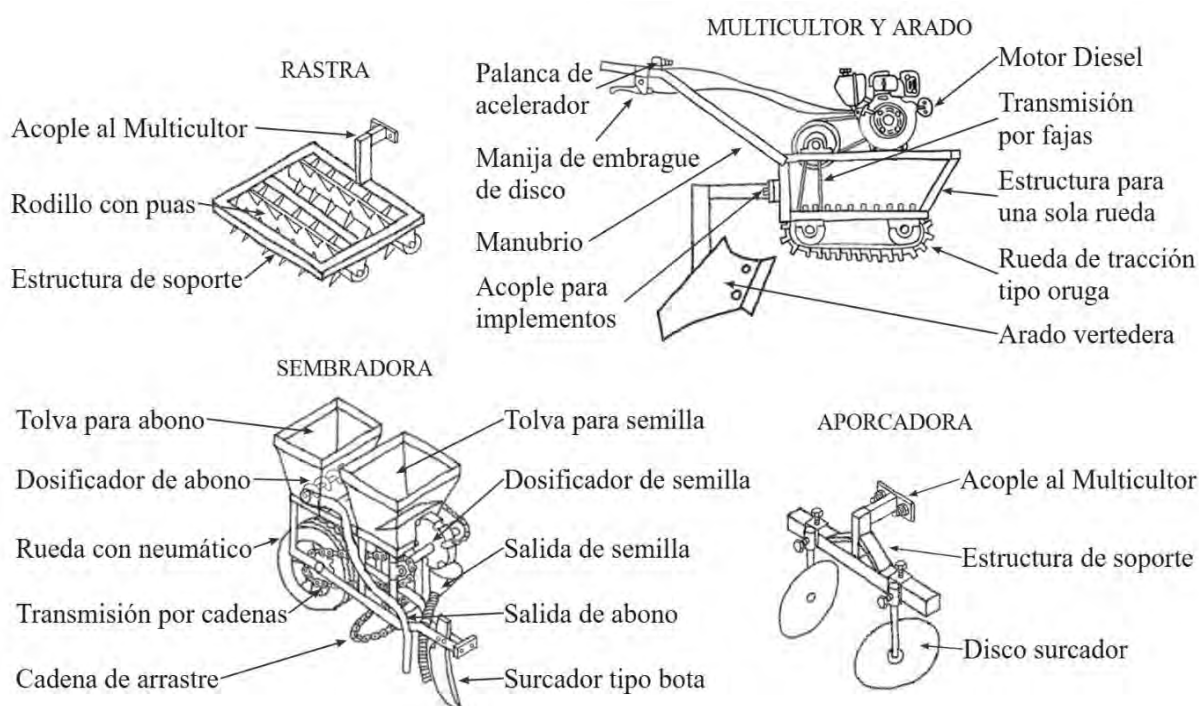
*Leyenda de las alternativas de solución*

| Alternativas de solución | Color de alternativas                                                                |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Alternativa 1            |  |
| Alternativa 2            |  |
| Alternativa 3            |  |
| Alternativa 4            |  |

*Nota:* la tabla representa la combinación de alternativas de solución.

### 3.2.5 Alternativas de solución

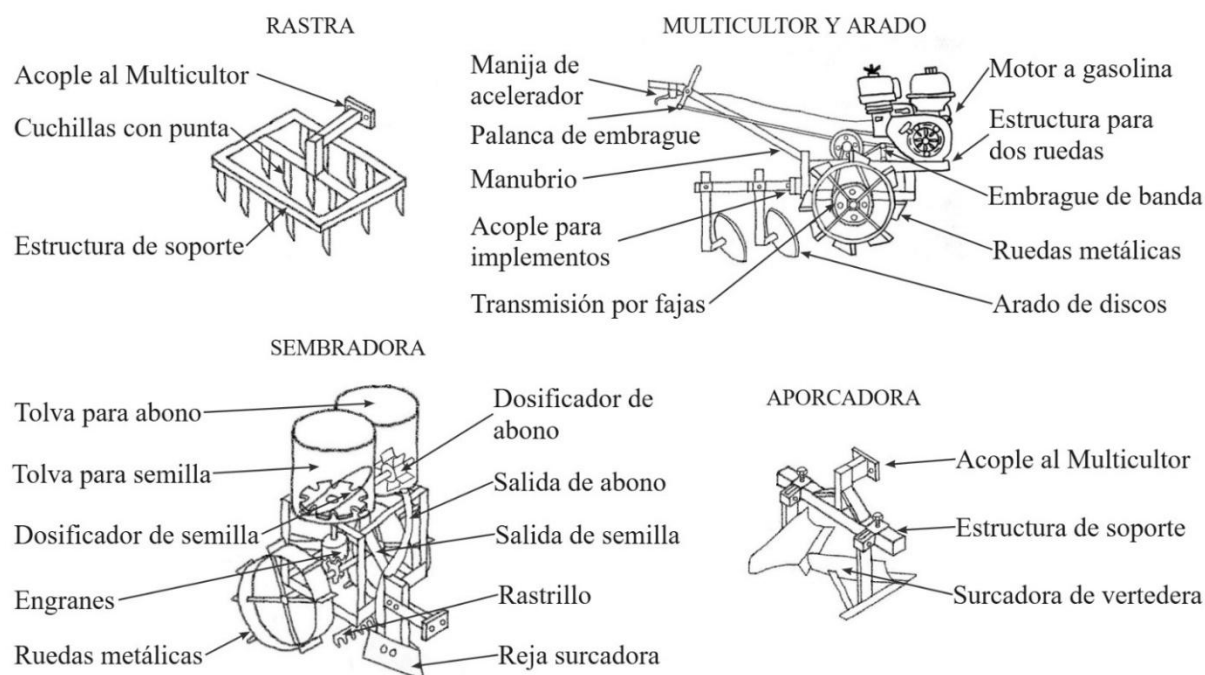
Para tomar una decisión adecuada, es necesario realizar los bocetos de cada una de las variantes de alternativas de solución en la **Figura 3.5**, **Figura 3.6**, **Figura 3.7** y **Figura 3.8** se muestran dichas combinaciones, considerando la matriz morfológica y al agrupar los portadores de funciones correspondientes a cada alternativa de solución.

**Figura 3.5***Boceto de alternativa de solución 1*

*Nota:* La imagen representa el boceto de alternativa de solución 1.

La máquina utiliza una estructura de soporte de una sola rueda de tracción con un acople de implementos mediante pernos, es accionada por un motor Diesel, un sistema de embrague de disco que se maneja a través de una manija situada en el manubrio, tiene un sistema de transmisión por fajas, una rueda de tracción tipo oruga, el control de velocidad del motor funciona mediante una manija y cable que va desde el manubrio hasta el acelerador del motor, cuenta con un arado vertedera, una rastra de rodillos con cuchillas incorporadas y una surcadora de discos.

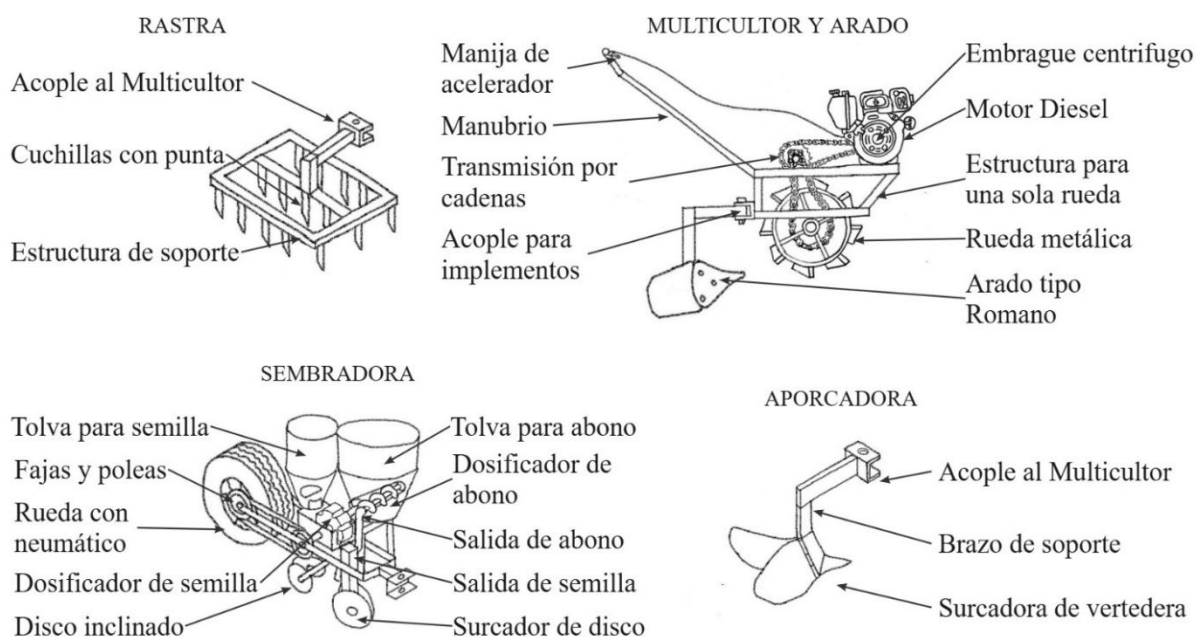
La sembradora Utiliza cadenas y piñones como mecanismo para transmitir la potencia al dosificador de semillas de disco y dosificador de abono de tornillo sin fin, cuenta con un surcador tipo bota que se encarga de abrir el surco, dispone de una cadena de arrastre que cubre el surco y una rueda neumática cumple la función de transferir el movimiento a los dosificadores.

**Figura 3.6***Boceto de alternativa de solución 2*

*Nota:* La imagen representa el boceto de alternativa de solución 2.

La máquina utiliza una estructura de soporte de dos ruedas de tracción con un acople para implementos mediante pernos, es accionada por un motor a gasolina, dos ruedas metálicas de tracción reciben la potencia del motor mediante una transmisión de fajas y poleas, un embrague de banda se encarga de conectar y desconectar el motor de la transmisión, que es controlada por una palanca situada en el manubrio y utiliza un acelerador accionado por una manija para controlar la velocidad del motor, cuenta con un arado de discos, una rastra de cuchillas y una surcadora de vertedera.

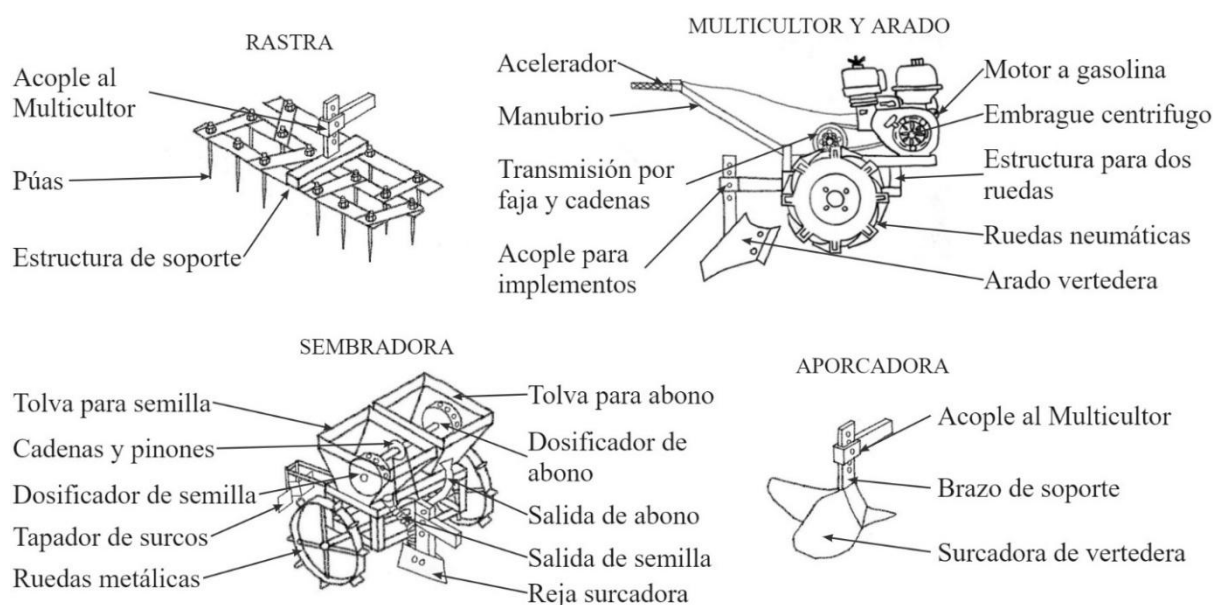
La sembradora utiliza un disco dosificador para semillas y una rueda de paletas que dosifica el abono, unas ruedas metálicas que por medio un sistema de accionamiento mecánico por engranajes en ángulo recto transfiere el movimiento a los dosificadores, utiliza una reja surcadora para abrir la tierra, además está equipada con un rastrillo que cumple la función de tapar las semillas.

**Figura 3.7***Boceto de alternativa de solución 3*

*Nota:* La imagen representa el boceto de alternativa de solución 3.

La máquina lleva una estructura de soporte para una sola rueda de tracción con un acople de implementos mediante un pin en posición horizontal, es accionada por un motor Diesel, para conectar y desconectar el motor de la transmisión, se utiliza un embrague centrífugo que es accionado al aumentar las revoluciones del motor por medio de una manija situada en el manubrio, el sistema de transmisión es mediante cadenas y piñones que transmiten la potencia a una rueda metálica, cuenta con un arado tipo romano, una rastra de cuchillas y una surcadora de reja.

La sembradora emplea una rueda con neumático que gira junto con el eje a través de una transmisión por fajas y polea que generan el movimiento de los dosificadores de tornillo sin fin para semilla y abono respectivamente, además cuenta con discos surcadores para abrir la tierra y una lámina de acero en forma de paleta para tapar el surco.

**Figura 3.8***Boceto de alternativa de solución 4*

*Nota:* La imagen representa el boceto de alternativa de solución 4.

La máquina lleva una estructura de soporte para dos ruedas de tracción con un acople de implementos mediante un pin en posición horizontal, utiliza un motor a gasolina, un sistema transmisión por fajas y cadenas, un embrague centrifugo que es accionado al aumentar las revoluciones del motor mediante un acelerador situada en el manubrio y dos ruedas neumáticas que proporciona tracción a la máquina, cuenta con un arado de vertedera, una rastra de púas y una reja surcadora.

La sembradora utiliza dosificadores de rodillo para la semilla y abono, está equipado con dos ruedas laterales de metal, utiliza cadenas como mecanismo para transmitir la potencia desde el eje de las ruedas hacia los dosificadores, cuenta una reja surcadora y una lámina de acero en forma de paleta para tapar el surco.

### **3.2.6 Valoración técnica y económica**

Con el propósito de seleccionar la alternativa de diseño más adecuada para el desarrollo del Multicultor, se realiza una evaluación comparativa de los cuatro conceptos de solución obtenidos previamente. Para ello, se efectúa una valoración técnica (ver **Tabla 3.4**) y la

valoración económica (ver **Tabla 3.5**), con la finalidad de comparar su desempeño, factibilidad y costos asociados. Este análisis permite identificar la alternativa que mejor satisface los requerimientos de diseño, seleccionando así la solución más conveniente, eficiente y viable para el desarrollo del proyecto.

**Tabla 3.4**

*Valoración técnica*

| DISEÑO MECANICO – EVALUACION DEL PROYECTO                                                                                                                    |                         |      |                     |      |                     |      |                     |      |                     |      |                |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------|---------------------|------|---------------------|------|---------------------|------|---------------------|------|----------------|------|
| Valor técnico ( $X_i$ )                                                                                                                                      |                         |      |                     |      |                     |      |                     |      |                     |      |                |      |
| Proyecto: Diseño de un Multicultor para actividades agrícolas del cultivo de maíz blanco gigante en terrenos de la comunidad de Urco distrito de Calca-Cusco |                         |      |                     |      |                     |      |                     |      |                     |      |                |      |
| p: Puntaje de 0 a 4 (valores según VDI 2225)<br>0 = No aceptable, 1 = Aceptable a las justas, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy Bien (Ideal)                 |                         |      |                     |      |                     |      |                     |      |                     |      |                |      |
| g: Es el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de Evaluación                                                                  |                         |      |                     |      |                     |      |                     |      |                     |      |                |      |
| Criterios de evaluación para diseños en fase de conceptos o proyectos                                                                                        |                         |      |                     |      |                     |      |                     |      |                     |      |                |      |
| Variantes de concepto / Proyectos                                                                                                                            |                         |      | Solución 1<br>$S_1$ |      | Solución 2<br>$S_2$ |      | Solución 3<br>$S_3$ |      | Solución 3<br>$S_4$ |      | Solución Ideal |      |
| Nº                                                                                                                                                           | Criterios de Valoración | g    | p                   | g×p  | p                   | g×p  | p                   | g×p  | p                   | g×p  | p              | g×p  |
| 1                                                                                                                                                            | Función principal       | 0.25 | 3                   | 0.75 | 2                   | 0.5  | 3                   | 0.75 | 3                   | 0.75 | 4              | 1    |
| 2                                                                                                                                                            | Geometría               | 0.15 | 3                   | 0.3  | 3                   | 0.3  | 3                   | 0.3  | 3                   | 0.3  | 4              | 0.4  |
| 3                                                                                                                                                            | Energía                 | 0.15 | 2                   | 0.3  | 2                   | 0.3  | 2                   | 0.3  | 2                   | 0.3  | 4              | 0.6  |
| 4                                                                                                                                                            | Seguridad               | 0.08 | 2                   | 0.16 | 2                   | 0.16 | 2                   | 0.16 | 2                   | 0.16 | 4              | 0.32 |
| 5                                                                                                                                                            | Estabilidad             | 0.10 | 1                   | 0.15 | 2                   | 0.3  | 3                   | 0.45 | 3                   | 0.45 | 4              | 0.6  |
| 6                                                                                                                                                            | Ergonomía               | 0.04 | 2                   | 0.08 | 2                   | 0.08 | 2                   | 0.08 | 2                   | 0.08 | 4              | 0.16 |
| 7                                                                                                                                                            | Montaje                 | 0.04 | 2                   | 0.08 | 2                   | 0.08 | 2                   | 0.08 | 3                   | 0.12 | 4              | 0.16 |
| 8                                                                                                                                                            | Facilidad de manejo     | 0.06 | 2                   | 0.12 | 2                   | 0.12 | 3                   | 0.18 | 3                   | 0.18 | 4              | 0.24 |
| 9                                                                                                                                                            | Transportabilidad       | 0.03 | 2                   | 0.06 | 3                   | 0.09 | 3                   | 0.09 | 3                   | 0.09 | 4              | 0.12 |
| 10                                                                                                                                                           | Fabricación             | 0.07 | 2                   | 0.14 | 2                   | 0.14 | 2                   | 0.14 | 3                   | 0.21 | 4              | 0.28 |
| 11                                                                                                                                                           | Mantenimiento           | 0.03 | 2                   | 0.06 | 3                   | 0.09 | 2                   | 0.06 | 3                   | 0.09 | 4              | 0.12 |
| Puntaje máximo $\sum g, \sum p, \sum p \times g$                                                                                                             |                         | 1    | 23                  | 2.2  | 25                  | 2.16 | 27                  | 2.59 | 30                  | 2.73 | 44             | 4    |
| Valor técnico $X_i$                                                                                                                                          |                         |      | 0.55                |      | 0.5                 |      | 0.65                |      | 0.68                |      | 1              |      |

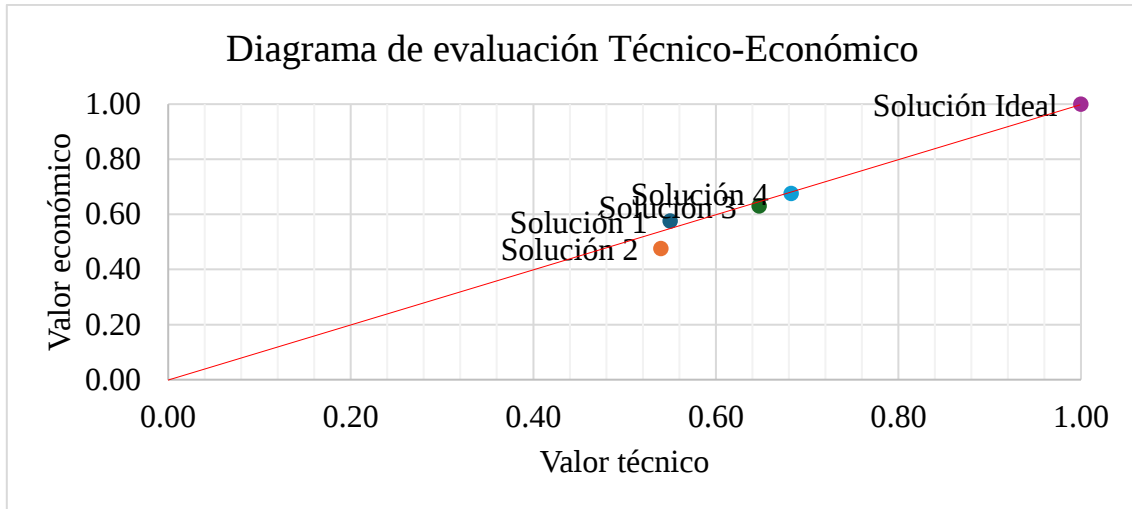
*Nota:* la tabla representa una valoración técnica de las cuatro soluciones optimas.

**Tabla 3.5***Valoración económica*

| DISEÑO MECANICO – EVALUACION DEL PROYECTO                                                                                                                    |                         |      |                     |      |                     |      |                     |      |                     |      |                |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------|---------------------|------|---------------------|------|---------------------|------|---------------------|------|----------------|------|
| Valor económico ( $Y_i$ )                                                                                                                                    |                         |      |                     |      |                     |      |                     |      |                     |      |                |      |
| Proyecto: Diseño de un Multicultor para actividades agrícolas del cultivo de maíz blanco gigante en terrenos de la comunidad de Urco distrito de Calca-Cusco |                         |      |                     |      |                     |      |                     |      |                     |      |                |      |
| p: Puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225)<br>0 = No aceptable, 1 = Aceptable a las justas, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy Bien (Ideal)       |                         |      |                     |      |                     |      |                     |      |                     |      |                |      |
| g: Es el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de Evaluación                                                                  |                         |      |                     |      |                     |      |                     |      |                     |      |                |      |
| Criterios de evaluación para diseño en fase de conceptos o proyectos                                                                                         |                         |      |                     |      |                     |      |                     |      |                     |      |                |      |
| Variantes de concepto/Proyectos                                                                                                                              |                         |      | Solución 1<br>$S_1$ |      | Solución 2<br>$S_2$ |      | Solución 3<br>$S_3$ |      | Solución 4<br>$S_4$ |      | Solución Ideal |      |
| Nº                                                                                                                                                           | Criterios de Evaluación | g    | p                   | g×p  | p                   | g×p  | p                   | g×p  | p                   | g×p  | p              | g×p  |
| 1                                                                                                                                                            | Costo de materiales     | 0.15 | 3                   | 0.45 | 2                   | 0.3  | 3                   | 0.45 | 3                   | 0.45 | 4              | 0.6  |
| 2                                                                                                                                                            | Costo de fabricación    | 0.18 | 2                   | 0.36 | 2                   | 0.36 | 3                   | 0.54 | 2                   | 0.36 | 4              | 0.72 |
| 3                                                                                                                                                            | Costo de ingeniería     | 0.15 | 2                   | 0.3  | 2                   | 0.3  | 2                   | 0.3  | 3                   | 0.45 | 4              | 0.6  |
| 4                                                                                                                                                            | Facilidad de montaje    | 0.25 | 2                   | 0.5  | 1                   | 0.25 | 2                   | 0.5  | 3                   | 0.75 | 4              | 1    |
| 5                                                                                                                                                            | Fácil mantenimiento     | 0.15 | 3                   | 0.45 | 3                   | 0.45 | 2                   | 0.3  | 3                   | 0.45 | 4              | 0.6  |
| 6                                                                                                                                                            | Costos de operación     | 0.12 | 2                   | 0.24 | 2                   | 0.24 | 3                   | 0.36 | 2                   | 0.24 | 4              | 0.48 |
| Puntaje máximo $\sum g, \sum p, \sum p \times g$                                                                                                             |                         | 1    | 14                  | 2.3  | 12                  | 1.9  | 15                  | 2.45 | 16                  | 2.7  | 24             | 4    |
| Valor económico $Y_i$                                                                                                                                        |                         |      | 0.58                |      | 0.5                 |      | 0.61                |      | 0.68                |      | 1              |      |

*Nota:* la representa una valoración económica de las cuatro soluciones optimas.

Una vez obtenidas ambas coordenadas, que corresponden al valor técnico ( $X_i$ ) y al valor económico ( $Y_i$ ), se procede a elaborar una gráfica que relacione el aspecto técnico con el económico. Esta representación visual facilita la toma de decisiones, permitiendo identificar la solución óptima. La mejor opción será aquella cuya posición en el gráfico esté más cercana a la pendiente de la solución ideal (ver **Figura 3.9**).

**Figura 3.9***Diagrama de evaluación técnico económico*

*Nota:* la imagen representa un diagrama de evaluación técnico económico de las cuatro soluciones optimas.

De acuerdo con el diagrama de evaluación técnico y evaluación económica mostrado en la **Figura 3.9**, la línea de referencia representa la solución ideal que debería alcanzar una máquina al combinar el mejor desempeño técnico con la mayor conveniencia económica. Por ello, la selección de la alternativa se basa en la proximidad de cada concepto de solución a dicha línea. Como resultado de esta evaluación, se determinó que el concepto de solución 4 es la alternativa más adecuada para el diseño del Multicultor, debido a que presenta el mejor equilibrio entre los criterios técnicos y económicos considerados.

## CAPÍTULO IV

### 4 Diseño y selección de elementos mecánicos

#### 4.1 Diseño mecánico del Multicultor

##### 4.1.1 Evaluación de estabilidad del Multicultor

Este análisis se lleva a cabo con el propósito de determinar la pendiente crítica en la que el Multicultor puede operar sin riesgo de volcarse; para ello, es fundamental localizar el centro de gravedad de la máquina.

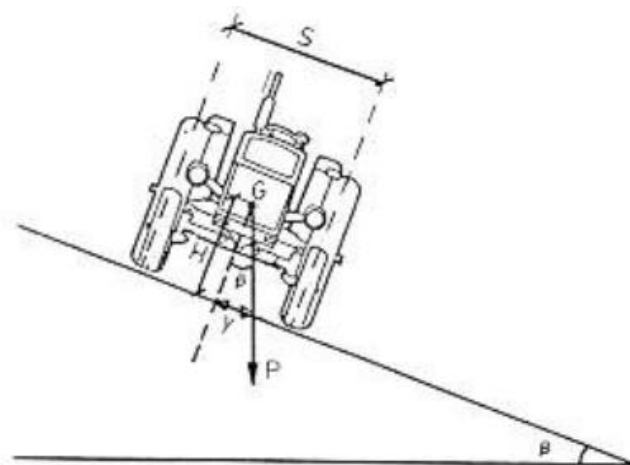
#### Riesgos de vuelco lateral

Los vuelcos laterales son los más comunes en agricultura y se deben principalmente a pendientes pronunciadas, giros bruscos, terreno irregular o carga mal distribuida.

La pendiente pronunciada según (NTP 259, 1987), a mayor ángulo de pendiente ( $\beta$ ), aumenta el riesgo de vuelco. La estabilidad de la máquina depende de la altura del centro de gravedad  $H$ , el ancho de vía  $S$  y el ángulo de la pendiente.

#### Figura 4.1

*Pendiente pronunciada*



*Nota:* la figura representa un esquema de una pendiente, tomado de (NTP 259, 1987).

Según (NTP 259, 1987) de la **Figura 4.1** se tiene  $\tan\beta = \frac{Y}{H}$ . Sabiendo que el vuelco se produce cuando  $Y \geq \frac{S}{2}$ ,  $\tan\beta \geq \frac{S}{2 \times H}$ . Por lo tanto, para mejorar la estabilidad aumentar anchura

de vía  $S$ , disminuir altura libre  $H$  y el ángulo debe ser  $\beta_{\max} = \frac{2}{3} \times \beta$  debido a efectos dinámicos e irregularidades, por lo tanto, se deduce a la siguiente ecuación.

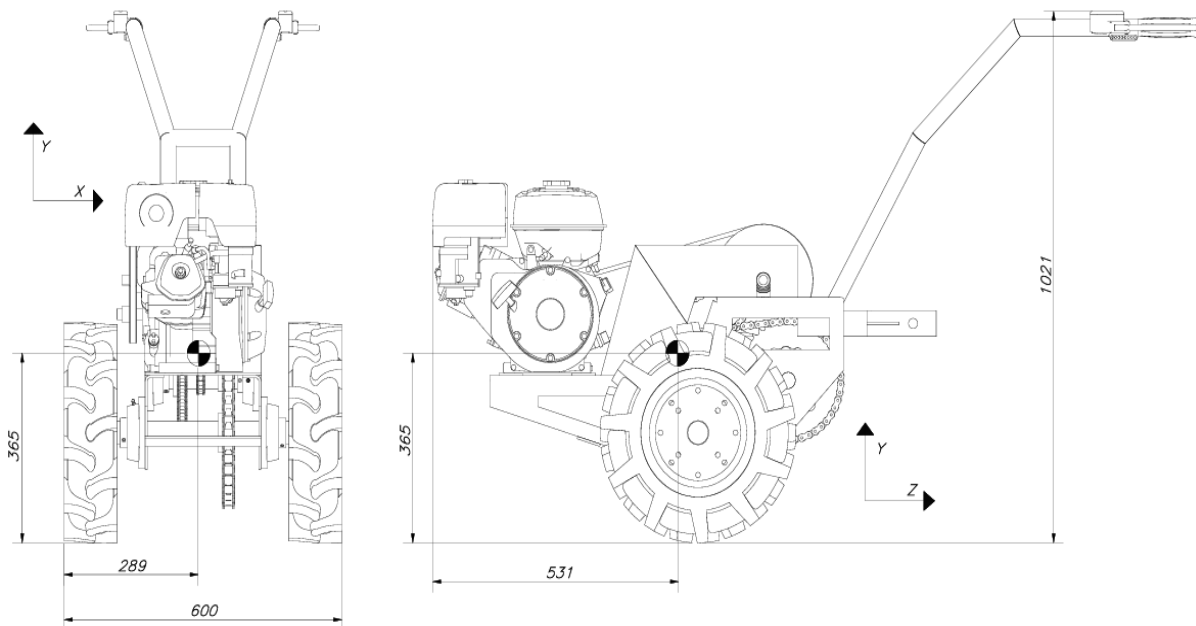
$$\beta = \tan^{-1} \left( \frac{S}{2 \times H} \right) \quad \text{Ec. (4.1)}$$

### Centro de gravedad del Multicultor

Se determina el centro de gravedad del Multicultor (ver **Figura 4.2**) para conocer el punto de aplicación de cargas permanentes o peso propio de la máquina, en los planos YZ y XY con la ayuda del software SolidWorks se puede observar las coordenadas  $H = 365 \text{ mm}$  y  $S = 486 \text{ mm}$ .

**Figura 4.2**

*Centro de gravedad del Multicultor*



*Nota:* la imagen representa centro de gravedad del Multicultor en plano XY y ZY.

### Ángulo máximo de inclinación lateral

El ángulo máximo de inclinación se determina sustituyendo los valores en la Ec. (4.1).

$$\beta = \tan^{-1} \left( \frac{486}{2 \times 365} \right) = 33.73^\circ$$

Entonces, el ángulo máximo resulta:

$$\beta_{m\acute{a}x} = \frac{2}{3} \times 33.73^{\circ} = 23^{\circ}$$

Por lo tanto, el ángulo máximo aproximado de la pendiente pronunciada que podrá trabajar sin vuelco el Multicultor es  $\beta_{m\acute{a}x} = 23^{\circ}$ .

#### **4.1.2 Selección de potencia requerida por el implemento**

Según (Ortiz Cañavate, 2003) la potencia requerida por un implemento agrícola es la energía por unidad de tiempo necesaria para vencer las resistencias del suelo y del implemento que depende de las condiciones de trabajo, las cuales dependen del tipo de suelo, la profundidad, el ancho de trabajo y la velocidad de operación.

$$P_r = F \times v \quad \text{Ec. (4.2)}$$

Donde;  $P_r$ : potencia requerida (W, hp),  $F$ : fuerza de tiro que demanda el implemento (N),  $v$ : velocidad de avance ( $\frac{km}{h}, \frac{m}{s}$ ).

#### **Fuerza de tiro**

Según (Ortiz Cañavate, 2003), es la cantidad de energía necesaria para remover, cortar y voltear el suelo durante las labores de labranza.

$$F = \mu \times S \quad \text{Ec. (4.3)}$$

Donde;  $\mu$ : resistencia específica del suelo ( $\frac{N}{cm^2}$ ),  $S$ : sección de laboreo ( $cm^2$ ).

Para los arados de tipo vertedera, se establece la sección de laboreo en:

$$S = n \times a \times p \quad \text{Ec. (4.4)}$$

Donde;  $n$ : número de cuerpos del arado,  $a$ : Ancho de corte del implemento (cm, m),  $p$ : Profundidad de labor (cm, m).

Entonces, la velocidad de avance del Multicultor se establece en  $4.5 \frac{km}{h}$  según la tabla (ver **Anexo A.2**), valor que permite que el arado trabaje eficientemente y logre un adecuado aflojamiento del suelo.

El implemento es un arado de vertedera de un cuerpo, un ancho de surco de 20 cm y una profundidad de 30 cm, el suelo de la comunidad de Urco es de textura mediana, correspondiente a un suelo franco  $\mu = 3 + 0.020 \times v^2$  (ver **Anexo A.1**). Sustituyendo los valores en las Ec. (4.2), Ec. (4.3) y Ec. (4.4), se determina la potencia requerida necesaria del Multicultor.

$$S = 1 \times 20 \times 30 = 600 \text{ cm}^2$$

$$\mu = 3 + 0.020 \times (4.5)^2 = 3.405 \frac{N}{\text{cm}^2}$$

$$F = 3.405 \times 600 = 2043 \text{ N}$$

$$P_r = 2043 \times 4.5 = 9193.5 \text{ N} \times \frac{\text{km}}{h}$$

$$P_r = 2553.75 \text{ W} \times \frac{1 \text{ hp}}{745.7 \text{ W}} = 3.43 \text{ hp}$$

#### 4.1.3 Selección del motor

De acuerdo a la potencia mínima requerida del motor se selecciona un motor que cumpla con las siguientes exigencias:

- Motor comercial en el mercado nacional.
- Mantenimiento simple.
- Relativamente de poco peso.
- Tamaño y volumen apropiado para el Multicultor.
- Tipo de combustible a gasolina.
- Menor costo.

Además, se considera que el motor disponga de la potencia suficiente para compensar las pérdidas de altitud y por transmisión y mantener un margen de potencia durante las condiciones de operación. Bajo las exigencias se selecciona un motor HONDA modelo GX270H2 de 9 hp, cuyas especificaciones técnicas se muestran en el catálogo (ver **Anexo B.1**).

#### 4.1.4 Diseño del sistema de transmisión

##### Selección de ruedas

Según al catálogo de datos técnicos de neumáticos (ver **Anexo B.2**), se selecciona el tipo de banda de rodadura TS – 01 con dimensiones 4.00 – 8 con diámetro total de 425 mm y con ancho de la rueda 114 mm.

##### Velocidad angular de la rueda ( $\omega_r$ )

La velocidad angular representa la rapidez con la que una rueda gira alrededor de su eje durante su movimiento. Este parámetro está relacionado con la velocidad de avance y el diámetro de la rueda, y es fundamental para analizar el movimiento y el desempeño del sistema de tracción (Polanco Puertas, 2007).

$$\omega_r = \frac{60 \times v}{\pi \times D_r} \quad \text{Ec. (4.5)}$$

Donde;  $\omega_r$ : velocidad angular de la rueda (rpm)  $D_r$ : diámetro de la rueda (m).

Entonces, considerando una velocidad de avance aproximada de  $4.5 \frac{km}{h}$  y el diámetro de las ruedas 0.425 m, sustituyendo los valores en la Ec. (4.5) la velocidad angular del eje de las ruedas resulta.

$$\omega_r = \frac{60 \times 4.5 \times (\frac{1000 m}{3600 s})}{\pi \times 0.425} = 56.17 \text{ rpm} \approx 56 \text{ rpm}$$

##### Relación de transmisión ( $i_n$ )

La relación de transmisión indica la relación entre la velocidad angular del motor ( $\omega_m$ ) y la velocidad angular del eje de las ruedas ( $\omega_r$ ), permitiendo reducir la velocidad y aumentar el torque para el desplazamiento de la máquina.

$$i_n = \frac{\omega_m}{\omega_r} \quad \text{Ec. (4.6)}$$

Por lo tanto, se consideran las revoluciones correspondientes al máximo torque del motor, según las especificaciones técnicas del fabricante  $\omega_m = 2500 \text{ rpm}$  (ver **Anexo B.1**) y la velocidad angular del eje de las ruedas  $\omega_r = 56 \text{ rpm}$ , sustituyendo en la Ec. (4.6) resulta.

$$i_n = \frac{2500}{56} = 44.64 \approx 45$$

Por lo tanto, para conseguir la velocidad de salida deseada, esta relación se descompone en cuatro etapas: una por banda – polea y los demás tres etapas por piñón – cadena.

- Relación de transmisión 1 banda – polea (  $i_1$  ): 2:1
- Relación de transmisión 2 piñón – cadena (  $i_2$  ): 2.5:1
- Relación de transmisión 3 piñón – cadena (  $i_3$  ): 3:1
- Relación de transmisión 4 piñón – cadena (  $i_4$  ): 3:1

#### **Relación de transmisión real ( $i_r$ )**

Se obtiene multiplicando las relaciones de transmisión de cada una de las etapas de reducción que han sido elegidas.

$$i_r = i_1 \times i_2 \times i_3 \times i_4 = 2 \times 2.5 \times 3 \times 3 = 45$$

Por lo tanto, la velocidad angular del eje de las ruedas se considera por  $\omega_r = 56 \text{ rpm}$  y la velocidad de avance en  $v = 4.5 \frac{\text{km}}{\text{h}} \approx 1.25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

#### **4.1.5 Pérdida de potencia**

Honda indica que, aun con el carburador adaptado para trabajar en altura, la potencia del motor disminuye aproximadamente 3,5 % por cada 300 m de incremento de altitud. Sin esta adaptación, la pérdida de potencia puede ser mayor (Honda manual, 2025).

Entonces, la pérdida a 3050 msnm es:

$$N = \frac{3050}{300} = 10.167$$

La potencia pérdida porcentual es:

$$P\% = 10.167 \times (3.5\%) = 35.58 \%$$

La potencia disponible a 3050 msnm es:

$$P_{disponible} = 100 \% - 35.58 \% = 64.42 \%$$

La ficha técnica nos indica un torque máximo de  $18.3 N \times m$  a 2500 rpm, entonces:

La potencia neta al nivel del mar es:

$$P = 5 kW = 6.8 hp$$

El torque real disponible es:

$$18.3 \times 0.6442 = 11.79 N \times m$$

La pérdida de torque es:

$$18.3 - 11.79 = 6.51 N \times m$$

La potencia disponible a 3050 msnm es:

$$6.8 \times 0.6442 = 4.5 hp \approx 3.36 kW$$

La potencia Pérdida es:

$$6.8 - 4.5 = 2.3 HP \approx 1.72 kW$$

Para determinar las pérdidas mecánicas en el sistema de transmisión, se considera una pérdida aproximada del 5 % en la transmisión por banda – polea y del 3 % en cada transmisión por cadena – piñón, valores de referencia utilizados para estimar la eficiencia de los elementos mecánicos (Budynas & Nisbett, 2008).

**Tabla 4.1**

*Potencia con pérdidas mecánicas*

| Relación de transmisión         | Potencia con pérdidas mecánicas ( $P_i$ ) | Velocidad angular de salida (rpm) |
|---------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------|
| banda – polea ( $i_1$ ): 2:1    | 4.28 hp                                   | 1250                              |
| piñón – cadena ( $i_2$ ): 2.5:1 | 4.15 hp                                   | 500                               |
| piñón – cadena ( $i_3$ ): 3:1   | 4.03 hp                                   | 166.67                            |
| piñón – cadena ( $i_4$ ): 3:1   | 4.01 hp                                   | 56                                |

*Nota:* la tabla representa un resumen de potencia con pérdidas mecánicas en cada etapa.

La potencia pérdida mecánica total:

$$\eta_{total} = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times \eta_4 = 0.95 \times 0.97 \times 0.97 \times 0.97 = 0.8671 \approx 86.71 \%$$

$$\text{Pérdida mecánica en el sistema total} = 64.42 \% \times 13.29 \% = 8.56 \%$$

$$\text{Pérdida Total Combinada} = 35.58 \% + 8.56 \% = 44.14 \%$$

$$\text{Potencia disponible} = 100 \% - 44.14 \% = 55.86 \%$$

Por lo tanto, la potencia disponible en el eje de las ruedas es mayor que la potencia requerida por el implemento agrícola, lo que garantiza que el Multicultor pueda realizar adecuadamente las actividades de trabajo previstas.

#### **4.1.6 Potencia de diseño**

Es la potencia aumentada que se utiliza para dimensionar y seleccionar componentes mecánicos, asegurando que puedan soportar las condiciones reales de trabajo, se calcula multiplicando la potencia requerida  $P_r$  por un factor de servicio  $f$  (Mott, 2004).

$$P_d = f \times P_r \quad \text{Ec. (4.7)}$$

Según a la tabla se selecciona un factor de servicio para un motor de combustión interna con transmisión mecánica, con choques moderados maquinas herramientas (ver **Anexo A.4**) entonces, sustituyendo los valores en la Ec. (4.7) se tiene.

$$P_d = 1.4 \times 3.43 = 4.8 \text{ hp} \approx 3579 \text{ W}$$

Por lo tanto, la potencia de diseño se determina en 4.8 hp para los posteriores cálculos.

#### **4.1.7 Selección de bandas y poleas (1 etapa de reducción)**

Para seleccionar bandas y poleas se considera una relación de transmisión de 2:1 en la primera etapa, considerando que el motor opera con su torque máximo a 2500 rpm, de tal forma la velocidad angular de salida de este nivel de reducción es de 1250 rpm. Para llevar a cabo los cálculos posteriores, se ha tenido en cuenta el proceso de cálculo y las tablas proporcionadas por los fabricantes, las cuales se encuentran en el catálogo de (INTERMEC S.A., 2013b).

### Selección del tipo de banda

De la tabla, se selecciona una banda SPZ para transmitir una potencia de diseño de 4.8 hp a 2500 rpm (ver **Anexo A.16**).

### Selección de la polea motriz ( $d_c$ )

El diámetro de la polea motriz se selecciona considerando el diámetro mínimo permitido y la velocidad máxima recomendada. Para una potencia de diseño de 4.8 hp a 2500 rpm se selecciona un diámetro  $d_c = 105 \text{ mm}$  correspondiente a la polea motriz, con una capacidad de transmisión  $CT = 5.05 \text{ hp}$  (ver **Anexo A.18**).

### Velocidad lineal de la polea motriz ( $v$ )

La velocidad lineal de la polea motriz es la rapidez de desplazamiento en el borde de la polea, determinada por su diámetro y velocidad de rotación. (Mott, 2004).

$$v = \frac{\pi \times d_c \times \omega_m}{60} \quad \text{Ec. (4.8)}$$

Donde:  $d_c$ ; diámetro de la polea motriz (m),  $\omega_m$ ; velocidad angular del motor (rpm).

Entonces, sustituyendo los valores en la Ec. (4.8), resulta:

$$v = \frac{\pi \times 105 \times (10^{-3}) \times 2500}{60} = 13.74 \frac{m}{s}$$

Por lo tanto, de acuerdo a la tabla en base a la velocidad calculada, se selecciona una polea de material de ALUMINIO (ver **Anexo A.17**).

### Selección del diámetro de la polea conducida (D)

El diámetro de la polea conducida D se obtiene multiplicando la relación de transmisión  $i_1$  por el diámetro de la polea conductora  $d_c$ .

$$D = i_1 \times d_c \quad \text{Ec. (4.9)}$$

Entonces, sustituyendo los valores en la Ec. (4.9), resulta.

$$D = 2 \times 105 = 210 \text{ mm} \approx 8.27 \text{ pulg}$$

### Distancia entre centros tentativa ( $C_1$ )

La distancia entre centros tentativa es el valor inicial estimado de separación entre las dos poleas de una transmisión por bandas.

$$0.7 \times (D + d_c) \leq C_1 \leq 2 \times (D + d_c) \quad \text{Ec. (4.10)}$$

Entonces, sustituyendo los valores anteriores en la Ec. (4.10), se tiene:

$$0.7 \times (210 + 105) \leq C_1 \leq 2 \times (210 + 105)$$

$$220.5 \text{ mm} \leq C_1 \leq 630 \text{ mm}$$

Por lo tanto, para preservar el espacio y adaptarse al diseño, se elige una distancia entre centros tentativa de  $C_1 = 400 \text{ mm}$ .

### Longitud de la correa (L)

Según (Mott, 2004) la longitud de la correa se determina en función a la distancia entre centros y los diámetros de ambas poleas mediante la siguiente ecuación.

$$L = 2 \times C_1 + 1.57 \times (D + d_c) + \frac{(D - d_c)^2}{4 \times C_1} \quad \text{Ec. (4.11)}$$

Entonces, sustituyendo los valores en la Ec. (4.11), resulta:

$$L = 2 \times (400) + 1.57 \times (210 + 105) + \frac{(210 - 105)^2}{4 \times (400)} = 1301.44 \text{ mm}$$

Por lo tanto, de la tabla se selecciona una longitud estándar para la faja tipo SPZ de  $L = 1420 \text{ mm}$  (ver **Anexo A.19**).

### Distancia entre centros corregida ( $C_c$ )

Con la nueva longitud se procede a calcular la distancia entre centros corregida con la ecuación siguiente.

$$C_c = \frac{B + \sqrt{B^2 - 32 \times (D - d_c)^2}}{16} \quad \text{Ec. (4.12)}$$

Donde; B: Distancia de corrección (mm).

$$B = 4 \times L - 6.28 \times (D + d_c)$$

$$B = 4 \times (1420) - 6.28 \times (210 + 105) = 3701.8 \text{ mm}$$

Entonces, sustituyendo los valores en las Ec. (4.12), se obtiene:

$$C_c = \frac{3701.8 + \sqrt{3701.8^2 - 32 \times (210 - 105)^2}}{16} = 459.72 \text{ mm} \approx 460 \text{ mm}$$

### Ángulo de contacto de las correas ( $\theta$ )

Según (INTERMEC S.A., 2013b) el ángulo de contacto  $\theta$  de la correa representa la superficie de contacto disponible para la fricción entre la correa y la polea, se determina con la siguiente ecuación.

$$\left(\frac{D - d_c}{C_c}\right) \quad \text{Ec. (4.13)}$$

Entonces, reemplazando los valores en la Ec. (4.13), resulta:

$$\left(\frac{210 - 105}{460}\right) = 0.23$$

De la tabla se selecciona interpolando para un valor de 0.23 el arco de contacto de  $165.4^\circ$ , con un factor de corrección  $f_{cb} = 0.964$ , este arco de contacto está comprendido entre los valores de  $120^\circ$  y  $180^\circ$  recomendados en el catálogo (ver **Anexo A.20**).

### Potencia nominal de faja ( $P_b$ )

Este valor permite seleccionar adecuadamente la faja del sistema de transmisión y se determina mediante la siguiente ecuación.

$$P_b = f_{cb} \times CT \quad \text{Ec. (4.14)}$$

Entonces, sustituyendo los valores en la Ec. (4.14), se obtiene:

$$P_b = 0.964 \times 5.05 = 4.87 \text{ hp}$$

### Numero de bandas necesarias ( $N_b$ )

Con los valores obtenidos previamente, se determina el número de bandas necesarias para transmitir la potencia de diseño mediante la siguiente ecuación.

$$N_b = \frac{P_d}{P_b} \quad \text{Ec. (4.15)}$$

Entonces, sustituyendo los valores en la Ec. (4.15), resulta:

$$N_b = \frac{4.8}{4.87} = 0.98 \text{ fajas}$$

Por lo tanto, se requiere una faja de transmisión, seleccionada según la potencia y especificaciones del fabricante.

#### **4.1.8 Selección de cadenas y piñones**

Para la selección de las cadenas y piñones, se considera la relación de transmisión  $i_i$  y la velocidad angular de entrada  $\omega_e$ . A partir de estos parámetros, se determina la velocidad de salida de cada eje mediante la siguiente ecuación.

$$\omega_s = \frac{\omega_e}{i_i} \quad \text{Ec. (4.16)}$$

La selección se realiza utilizando el procedimiento de cálculo y del uso de las tablas contenidas en el catálogo proporcionado según (INTERMEC S.A., 2013b).

#### **Selección del piñón conductor ( $Z_1$ )**

El número de dientes del piñón conducido se determina mediante la relación de transmisión usando la siguiente ecuación.

$$i_i = \frac{Z_2}{Z_1} \quad \text{Ec. (4.17)}$$

#### **Selección de cadenas y piñones (2 etapa de reducción)**

Para la selección de cadenas y piñones en la segunda etapa de reducción, se considera una relación de transmisión 2.5:1 y la velocidad angular de entrada 1250 rpm, obteniendo según la Ec. (4.16) una velocidad angular de salida de 500 rpm y una potencia de diseño de 4.8 hp.

De la tabla del catálogo se selecciona una cadena simple de rodillos ANSI número 40, de una hilera con un paso de 0.5 pulg (ver **Anexo A.21**). Esta cadena es adecuada para transmitir una  $P_d$  de 4.8 hp a 1250 rpm, con un piñón conductor de 13 dientes, con un sistema de

lubricación de tipo B, que corresponde baño de aceite o por salpique. El número de dientes del piñón conducido  $Z_2$  se determina sustituyendo los valores en la Ec. (4.17), considerando  $Z_1 = 13$  dientes e  $i_1 = 2.5$ .

$$Z_2 = 13 \times 2.5 = 33$$

$$Z_2 = 33 \text{ dientes (piñón donducido)}$$

### Selección de diámetro del piñón conductor o conducido ( $D_i$ )

Con la selección de la cadena ANSI número 40, de paso 0.5 pulg, se determinan los diámetros de los piñones  $D_i$  mediante la siguiente ecuación.

$$D_i = \frac{p}{\sin(\frac{180}{Z_i})} \quad \text{Ec. (4.18)}$$

Donde;  $p$ : paso (pulg),  $Z_i$ : numero de dientes para cada piñón.

Entonces, sustituyendo los valores en la Ec. (4.18), se determina los diámetros del piñón conductor  $D_1$  y piñón conducido  $D_2$ . Para  $Z_1 = 13$  dientes,  $Z_2 = 33$  dientes.

$$D_1 = \frac{0.5}{\sin(\frac{180}{13})} = 2.09 \text{ pulg} \approx 53.07 \text{ mm}$$

$$D_2 = \frac{0.5}{\sin(\frac{180}{33})} = 5.26 \text{ pulg} \approx 133.61 \text{ mm}$$

### Verificación del ángulo de contacto ( $\theta_i$ )

Según (Mott, 2004) el piñón conductor se considera adecuado cuando el ángulo de contacto es mayor a  $120^\circ$ , se determina con la siguiente ecuación.

$$\theta_i = 180^\circ - 2 \times \sin^{-1}\left(\frac{D_2 - D_1}{2 \times C}\right) \quad \text{Ec. (4.19)}$$

Con la finalidad de conservar y optimizar el espacio disponible en el diseño, se adopta diferentes distancias entre centros para cada etapa de reducción, en la segunda etapa de reducción se toma de  $C = 21$  pasos.

Entonces, sustituyendo los valores en la Ec. (4.19), se obtiene el ángulo de contacto en el piñón conductor 1.

$$\theta_1 = 180^\circ - 2 \times \sin^{-1} \left( \frac{5.26 - 2.09}{2 \times 21 \times 0.5} \right) = 162.64^\circ$$

Por lo tanto, al ser el ángulo de contacto  $\theta_1$  mayor a  $120^\circ$ , la selección del número de dientes del piñón conductor es adecuada.

### Verificación de la velocidad tangencial ( $v$ )

Es la velocidad permisible en función al tipo de lubricación empleada o disponible, la cual debe ser mayor que la velocidad tangencial calculada, se determina con la siguiente ecuación (Alva Davila, 2008).

$$v = \frac{\pi \times D_i \times \omega_i}{12} \quad \text{Ec. (4.20)}$$

Entonces, sustituyendo los valores en la Ec. (4.20), considerando el diámetro del piñón  $D_1$  y la capacidad de la cadena seleccionada de ANSI número 40, se obtiene:

$$v = \frac{\pi \times 2.09 \times 1250}{12} = 683.95 \frac{\text{pies}}{\text{min}}$$

Por lo tanto, de acuerdo a la tabla la velocidad permisible para lubricación a salpicadura es de  $2300 \frac{\text{pies}}{\text{min}}$ , (ver **Anexo A.5**), dado que la velocidad tangencial calculada es menor, el sistema se encuentra dentro del rango permitido.

### Longitud necesaria de la cadena (L)

Según (Mott, 2004) es la longitud que debe tener la cadena para conectar dos piñones, considerando la distancia entre sus ejes y el número de dientes de cada piñón, la longitud de la cadena necesaria se obtiene mediante la siguiente ecuación.

$$L = 2 \times C + \frac{Z_2 + Z_1}{2} + \frac{(Z_2 - Z_1)^2}{4 \times C \times \pi^2} \quad \text{Ec. (4.21)}$$

Entonces, sustituyendo los valores en la Ec. (4.21), procedemos a calcular la longitud de la cadena para segunda etapa de reducción.

$$L_1 = 2 \times 21 + \frac{13 + 33}{2} + \frac{(33 - 13)^2}{4 \times 21 \times \pi^2} = 65.48 \text{ pasos} \approx 66 \text{ pasos}$$

$$L_1 = 33 \text{ pulg} = 838.2 \text{ mm} \approx 838 \text{ mm}$$

### Distancia entre centros correcta (C)

Según (Mott, 2004) teniendo calculado la longitud de la cadena L la distancia entre centros correcta, se determina mediante la siguiente ecuación.

$$C = \frac{1}{4} \left[ L - \frac{Z_2 + Z_1}{2} + \sqrt{\left[ L - \frac{Z_2 + Z_1}{2} \right]^2 - \frac{8 \times (Z_2 - Z_1)^2}{4 \times \pi^2}} \right] \quad \text{Ec. (4.22)}$$

Entonces, sustituyendo los valores en la Ec. (4.22), se obtiene:

$$C_2 = \frac{1}{4} \left[ 66 - \frac{33 + 13}{2} + \sqrt{\left[ 66 - \frac{33 + 13}{2} \right]^2 - \frac{8 \times (33 - 13)^2}{4 \times \pi^2}} \right]$$

$$C_2 = 21.26 \text{ pasos}$$

$$C_2 = 10.63 \text{ pulg} = 270.023 \text{ mm} \approx 270 \text{ mm}$$

Para la tercera y cuarta etapa de reducción se sigue el mismo procedimiento de cálculo empleado en la segunda etapa, aplicando los mismos criterios de diseño, ecuaciones y metodología de selección de los elementos de transmisión. De esta manera, se determinan los parámetros correspondientes a cada etapa, garantizando que las relaciones de transmisión cumplan con los requerimientos de velocidad, torque y funcionamiento establecidos para el sistema.

#### 4.1.8.1 Resumen de la selección de piñones y cadenas

En la **Tabla 4.2**, **Tabla 4.3** y **Tabla 4.4** se presentan de manera resumida las principales especificaciones y parámetros técnicos correspondientes a cada etapa de reducción que conforma el sistema de transmisión del Multicultor. Estas tablas incluyen información relevante relacionada con las características de diseño y funcionamiento de cada etapa.

**Tabla 4.2***Especificaciones técnicas de segunda etapa de reducción*

| Especificaciones técnicas              |                                              | Representación gráfica |
|----------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------|
| Número de cadena                       | Nº 40                                        |                        |
| P: Pasos                               | 0.5 Pulg                                     |                        |
| Relación de transmisión                | 2.5 : 1                                      |                        |
| Lubricación                            | Tipo "B"                                     |                        |
| $P_d$ : Potencia                       | 4.8 hp                                       |                        |
| Velocidad angular, rpm                 | 1250 (entrada)<br>500 (salida)               |                        |
| Número de dientes                      | 13 dientes ( $Z_1$ )<br>33 dientes ( $Z_2$ ) |                        |
| C: Distancia entre centros             | 271 mm                                       |                        |
| L: Longitud de la cadena               | 66 Pasos                                     |                        |
| Ángulo del piñón conductor y conducido | 162.64°<br>197.36°                           |                        |

*Nota:* La tabla representa resumen de especificaciones técnicas de segunda etapa de reducción.

**Tabla 4.3***Especificaciones técnicas de tercera etapa de reducción*

| Especificaciones técnicas              |                                              | Representación gráfica |
|----------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------|
| Número de cadena                       | Nº 50                                        |                        |
| P: Pasos                               | 0.625 Pulg                                   |                        |
| Relación de transmisión                | 3 : 1                                        |                        |
| Lubricación                            | Tipo "B"                                     |                        |
| $P_d$ : Potencia                       | 4.8 hp                                       |                        |
| Velocidad angular, rpm                 | 500 (entrada)<br>166.6 (salida)              |                        |
| Número de dientes                      | 15 dientes ( $Z_1$ )<br>45 dientes ( $Z_2$ ) |                        |
| C: Distancia entre centros             | 285 mm                                       |                        |
| L: Longitud de la cadena               | 67 Pasos                                     |                        |
| Ángulo del piñón conductor y conducido | 149.33°<br>210.67°                           |                        |

*Nota:* La tabla representa resumen especificaciones técnicas de tercera etapa de reducción.

**Tabla 4.4***Especificaciones técnicas de cuarto etapa de reducción*

| Especificaciones técnicas              |                                              | Representación gráfica |
|----------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------|
| Número de cadena                       | Nº 80                                        |                        |
| P: Pasos                               | 1 Pulg                                       |                        |
| Relación de transmisión                | 3 : 1                                        |                        |
| Lubricación                            | Tipo "B"                                     |                        |
| $P_d$ : Potencia                       | 4.8 hp                                       |                        |
| Velocidad angular, rpm                 | 166.6 (entrada)<br>56 (salida)               |                        |
| Número de dientes                      | 11 dientes ( $Z_1$ )<br>33 dientes ( $Z_2$ ) |                        |
| C: Distancia entre centros             | 219 mm                                       |                        |
| L: Longitud de la cadena               | 41 Pasos                                     |                        |
| Ángulo del piñón conductor y conducido | 134.53°<br>225.67°                           |                        |

*Nota:* La tabla representa resumen especificaciones técnicas de cuarta etapa de reducción.

#### 4.1.9 Diseño de ejes

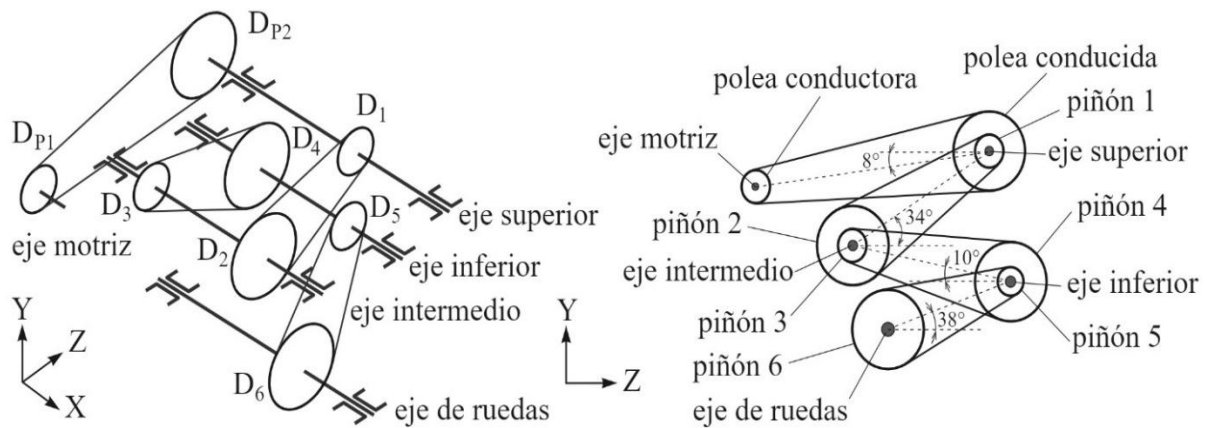
El diseño de ejes en una transmisión de cuatro etapas de reducción considera el aumento de torque a medida que disminuye la velocidad, por lo que los ejes de salida soportan mayores esfuerzos combinados de torsión y flexión.

#### Geometría de diseño de ejes

En la figura siguiente se muestra un esquema de localización de los ejes en las cuatro etapas de transmisión la disposición y conexión de los componentes encargados de transmitir la potencia desde el motor hasta las ruedas. Este sistema incluye bandas, poleas, cadenas, piñones y ejes, los cuales permiten reducir progresivamente la velocidad y aumentar el torque, adaptando la potencia del motor a las condiciones de trabajo de la máquina.

**Figura 4.3**

*Geometría de transmisión de las 4 etapas de transmisión*

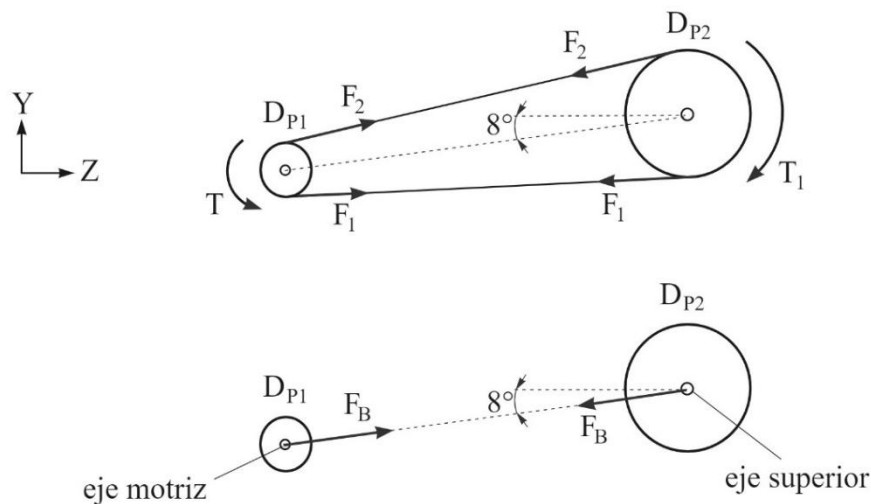


*Nota:* la figura representa la localización de los ejes. Donde;  $D_{P1}$ : diámetro de la polea conductora,  $D_{P2}$ : diámetro de la polea conducida,  $D_1$ ,  $D_3$  y  $D_5$ : diámetro del piñón conductor,  $D_2$ ,  $D_4$  y  $D_6$ : diámetro del piñón conducido, el sentido de giro de la polea es antihorario.

El par torsional máximo neto del motor es de  $T = 10.3 \text{ N} \times \text{m}$  (ver **Anexo B.1**).

**Figura 4.4**

*Fuerzas ejercidas por las poleas en la primera etapa de transmisión*



*Nota:* la figura representa las fuerzas de la polea. Donde;  $F_1$ : fuerza del lado tenso de la correa,  $F_2$ : fuerza del lado flojo de la correa,  $T$ : par torsional,  $T_1$ : par torsional transmitido por la polea conducida,  $F_B$ : fuerza ejercida por la polea sobre el eje superior.

En la primera etapa de transmisión como se muestra en la **Figura 4.4**, las poleas generan fuerzas sobre la correa por la diferencia de tensiones entre el lado tenso y flojo, lo que permite transmitir movimiento y potencia desde la polea motriz a la conducida.

La fuerza impulsora neta sobre la polea  $F_N$  en la primera etapa de transmisión es:

$$F_N = \frac{T}{\left(\frac{D_{P1}}{2}\right)} = \frac{10.3}{\left(\frac{105 \times 10^{-3}}{2}\right)} = 196.19 \text{ N}$$

También la fuerza impulsora neta es la diferencia entre la fuerza del lado tenso y flojo de la correa  $F_N = (F_1 - F_2)$ . La fuerza ejercida por la polea conducida del eje superior es:

$$F_B = \frac{F_1}{F_2} \times (F_1 - F_2) \quad \text{Ec. (4.23)}$$

Donde: para trasmisiones con bandas en (V) la relación de tensiones  $\frac{F_1}{F_2}$  es 1.5, al reemplazar este valor en la Ec. (4.23), se obtiene.

$$F_B = 1.5 \times (F_1 - F_2) = 1.5 \times (F_N) = 1.5 \times (196.19) = 294.28 \text{ N}$$

Los componentes de las fuerzas generadas de la polea conducida, en la dirección de los ejes (YZ) resulta:

$$F_{By} = F_B \times \sin(\theta) = 294.28 \times \sin(8^\circ) = 40.95 \text{ N}$$

$$F_{Bz} = F_B \times \cos(\theta) = 294.28 \times \cos(8^\circ) = 291.41 \text{ N}$$

Par torsional ejercido por la polea conducida sobre el eje superior en la primera etapa de transmisión se obtiene a partir de la ecuación siguiente.

$$T_1 = (F_1 - F_2) \times \left(\frac{D_{P2}}{2}\right) \quad \text{Ec. (4.24)}$$

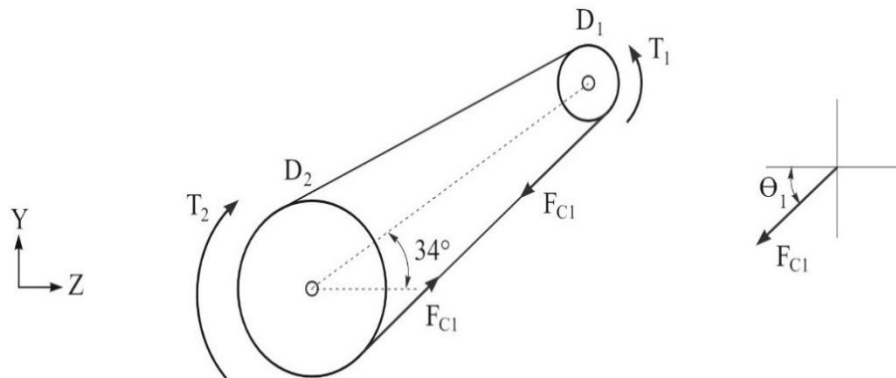
Entonces, sustituyendo los valores en la Ec. (4.24), se obtiene:

$$T_1 = 196.19 \times \left(\frac{105 \times 10^{-3}}{2}\right) = 20.6 \text{ N} \times m$$

En la segunda etapa de transmisión como se muestra en la **Figura 4.5**, la cadena ejerce fuerzas sobre los ejes superior e intermedia a través de los piñones acoplados.

**Figura 4.5**

*Fuerza ejercida por la cadena sobre los ejes superior e intermedia en segunda etapa*



*Nota:* la figura representa la fuerza ejercida por la cadena sobre los ejes superior e intermedia en la segunda etapa de transmisión. Donde;  $\theta_1$ : ángulo de inclinación del lado inferior de la cadena con respecto al eje horizontal,  $\varphi$ : ángulo de inclinación de la línea entre centros de los piñones,  $C_1$ : distancia entre centros,  $F_{C1}$ : fuerza ejercida por la cadena,  $F_{C1Y}$ : fuerza de la cadena en Y,  $F_{C1Z}$ : fuerza de la cadena en Z.

El ángulo de inclinación del lado tenso de la cadena del lado inferior es:

$$\theta_1 = \sin^{-1} \left( \frac{D_2 - D_1}{2 \times C_1} \right) + \varphi = \sin^{-1} \left( \frac{133.61 - 53.07}{2 \times 273} \right) + 34^\circ = 42.5^\circ$$

La fuerza ejercida por la cadena sobre los ejes superior e intermedia es:

$$F_{C1} = \frac{T_1}{\left( \frac{D_1}{2} \right)} = \frac{20.6}{\left( \frac{53.07 \times 10^{-3}}{2} \right)} = 776.33 \text{ N}$$

Los componentes de las fuerzas de la cadena en la dirección de los ejes (YZ) es:

$$F_{C1Y} = F_{C1} \sin(\theta_1) = 776.33 \sin(42.5^\circ) = 524.48 \text{ N}$$

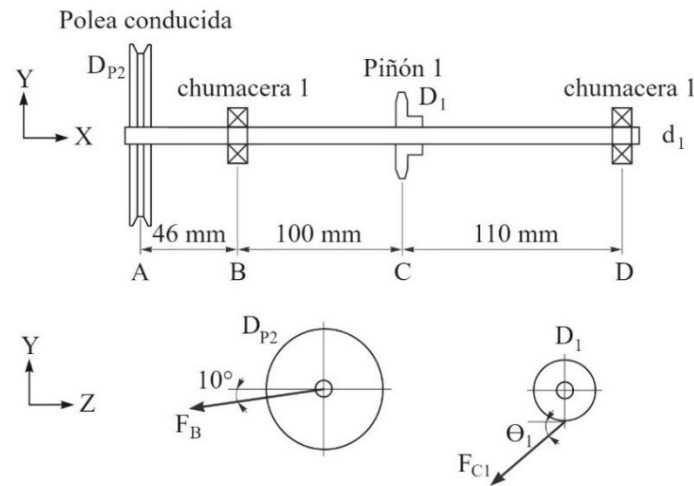
$$F_{C1Z} = F_{C1} \cos(\theta_1) = 776.33 \cos(42.5^\circ) = 572.37 \text{ N}$$

### **Disposición de los componentes de transmisión de potencia en el eje superior**

Según la **Figura 4.6**, en el eje superior se ubican los componentes encargados de iniciar la transmisión de potencia dentro del sistema.

**Figura 4.6**

*Distribución de los componentes de transmisión del eje superior*

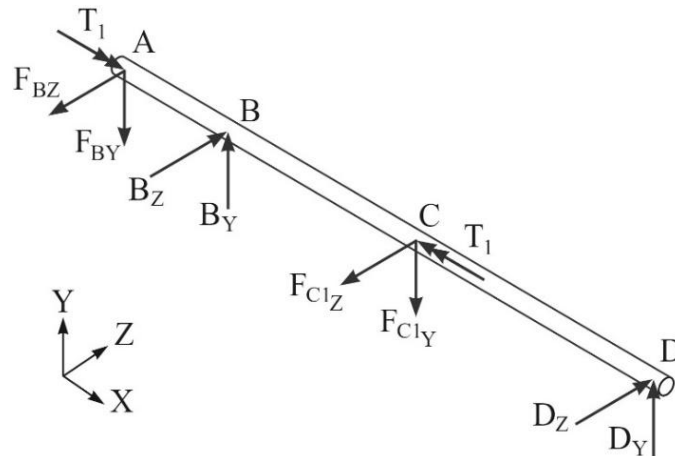


*Nota:* la figura representa la disposición de los componentes de transmisión en el eje superior.

En la **Figura 4.7** se muestra un esquema de las fuerzas y reacciones del eje superior.

**Figura 4.7**

*Esquema de las fuerzas y reacciones actuantes del eje superior*



*Nota:* la figura representa esquema de las fuerzas y reacciones actuantes del eje superior.

Donde;  $F_{B_Y}$ : componente de la fuerza de la polea en Y,  $F_{C1_Y}$ : fuerza de la cadena en Y,  $B_Y$ : fuerza de reacción en el punto B en Y,  $D_Y$ : fuerza de reacción en el punto D en Y,  $F_{B_Z}$ : componente de la fuerza de la polea en Z,  $F_{C1_Z}$ : fuerza de la cadena en Z,  $B_Z$ : fuerza de reacción en el punto B en Z,  $D_Z$ : fuerza de reacción en el punto D en Z.

las fuerzas de reacción en los puntos B y D, en la dirección del eje Y (Plano XY) es:

$$\sum M_B = 0; (+\curvearrowright)$$

$$-46 \times F_{BY} + 100 \times F_{C1Y} - 210 \times D_Y = 0$$

$$-46 \times (40.95) + 100 \times (524.48) - 210 \times D_Y = 0$$

$$D_Y = 240.78 \text{ N}$$

$$\sum F_Y = 0; (+\uparrow)$$

$$-F_{BY} + B_Y - F_{C1Y} + D_Y = 0$$

$$-40.95 + B_Y - 524.48 + 240.78 = 0$$

$$B_Y = 324.65 \text{ N}$$

Las fuerzas de reacción en los puntos B y D, en la dirección del eje Z (Plano XZ) es:

$$\sum M_B = 0; (+\curvearrowright)$$

$$46 \times F_{BZ} - 100 \times F_{C1Z} + 210 \times D_Z = 0$$

$$46 \times (291.41) - 100 \times (572.37) + 210 \times D_Z = 0$$

$$D_Z = 208.72 \text{ N}$$

$$\sum F_Z = 0; (+\rightarrow)$$

$$-F_{BZ} + B_Z - F_{C1Z} + D_Z = 0$$

$$-291.41 + B_Z - 572.37 + 208.72 = 0$$

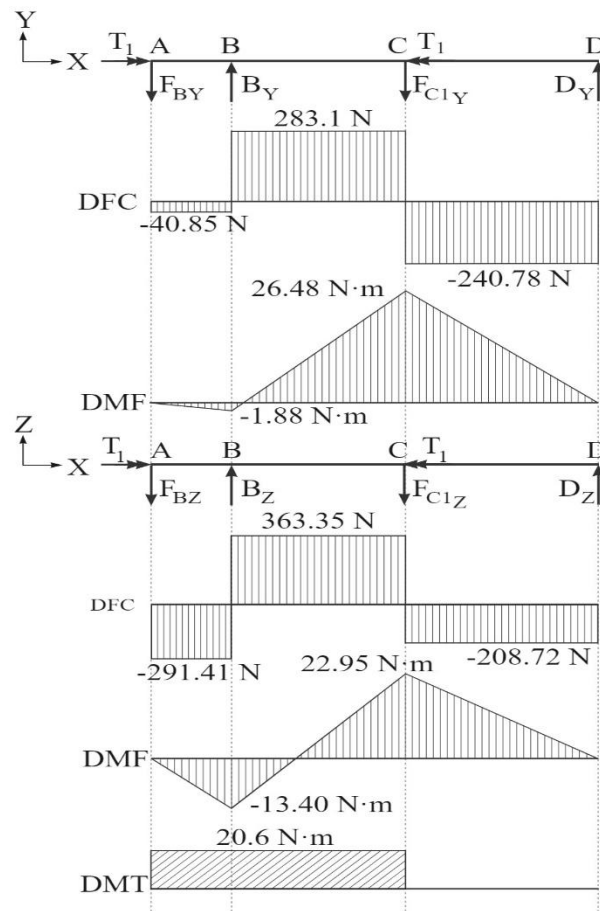
$$B_Z = 655.06 \text{ N}$$

### Esquema de fuerza cortante y momento flector del eje 1

En la **Figura 4.8**, se presenta el esquema de fuerza cortante y momento flector correspondiente al eje superior, donde se observa la variación de las fuerzas internas y de los momentos que actúan a lo largo del eje. Estos diagramas permiten identificar los puntos de mayor esfuerzo, lo cual es fundamental para el análisis estructural y para verificar que el eje tenga la resistencia adecuada durante la transmisión de potencia.

**Figura 4.8**

*Esquema de fuerza cortante y momento flector del eje superior*



*Nota:* la figura representa esquema de fuerza cortante y momento flector del eje superior.

### El momento resultante

Según (Budynas & Nisbett, 2008) el momento resultante es el momento máximo que aparece por la combinación de cargas, siendo fundamental para el análisis y diseño seguro y asegurar que el eje no falle por flexión, se determina con la siguiente ecuación.

$$M_R = \sqrt{M_Z^2 + M_Y^2} \quad \text{Ec. (4.25)}$$

Donde;  $M_R$ : momento flector resultante,  $M_Z$ : momento flector al rededor del eje Z,  $M_Y$ : momento flector al rededor del eje Y.

Entonces, el momento resultante se obtiene a partir de la **Figura 4.8** en el punto C, donde los momentos de flexión son altos, sustituyendo valores en la Ec. (4.25), se tiene:

$$M_{R1} = \sqrt{26.48^2 + 22.95^2} = 35.04 \text{ N} \times \text{m}$$

#### 4.1.9.1 Diseño del eje superior

El material elegido para el diseño de los ejes es un acero AISI 1045, el límite a la fluencia  $S_y = 340 \text{ MPa}$  y la resistencia ultima a la tensión  $S_{ut} = 650 \text{ MPa}$  (ver **Anexo B.3**).

Según (Budynas & Nisbett, 2008) para un esfuerzo ultimo de tensión de  $S_{ut} \leq 1400 \text{ MPa}$ , se determina el límite de resistencia a la fatiga  $S'_e$  en vigas rotatorias a partir de la siguiente ecuación.

$$S'_e = 0.5 \times S_{ut} \quad \text{Ec. (4.26)}$$

Donde;  $S_{ut}$ : resistencia ultima a la tensión.

Entonces, sustituyendo los valores en la Ec. (4.26), se obtiene:

$$S'_e = 0.5 \times 650 = 325 \text{ MPa}$$

#### Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga

Según (Budynas & Nisbett, 2008) el factor de modificación de superficie de resistencia a la fatiga se obtiene a partir de la ecuación siguiente.

$$K_a = a \times S_{ut}^b \quad \text{Ec. (4.27)}$$

Donde;  $K_a$ : factor de superficie, ( $a$  y  $b$ ): constantes empíricas que dependen del tipo de acabado superficial del material.

Según a la tabla los parámetros son  $a = 57.7$  y  $b = -0.718$  para un acabado superficial laminado en caliente (ver **Anexo A.9**), sustituyendo los valores en la Ec. (4.27) se obtiene:

$$K_a = 57.7 \times 550^{-0.718} = 0.551$$

Según (Budynas & Nisbett, 2008) se considera los siguientes valores:

El factor de tamaño para la primera estimación del diámetro se considera:  $K_b = 0.9$

Cuando tenemos flexión y torsión el factor de carga es:  $K_c = 1$

El eje funciona a temperatura ambiente por lo tanto el factor de temperatura es:  $K_d = 1$

Al no tener una confiabilidad especificada el factor de confiabilidad es:  $K_e = 1$

De la tabla para flexión y torsión son  $K_t = 2.2$  y  $K_{ts} = 3.0$ , considerando un cuñero fresado  $\frac{r}{d} = 0.02$  (ver **Anexo A.10**).

Para dar un primer pase rápido y conservador, los factores de concentración de esfuerzo por fatiga  $K_f$  y  $K_{fs}$  se consideran en  $K_f = K_t = 2.2$  y  $K_{fs} = K_{ts} = 3.0$

Según (Budynas & Nisbett, 2008) el esfuerzo limite a la fatiga para un primer cálculo del diámetro del eje se obtiene con la ecuación siguiente.

$$S_e = k_a \times k_b \times k_c \times k_d \times k_e \times k_f \times S'_e \quad \text{Ec. (4.28)}$$

Donde;  $S_e$ : límite de resistencia a la fatiga,  $k_a$ : factor de superficie,  $k_b$ : factor de tamaño,  $k_c$ : factor de carga,  $k_d$ : factor de temperatura,  $k_f$ : factor de concentración de esfuerzo por fatiga para flexión,  $S'_e$ : límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria.

Entonces, sustituyendo los valores en la Ec. (4.28), se obtiene:

$$S_e = 0.551 \times 0.9 \times 1 \times 1 \times 1 \times 2.2 \times 325 = 354.568 \text{ MPa}$$

Según (Budynas & Nisbett, 2008) para una primera estimación del diámetro del eje, utilizando el criterio de Goodman se obtiene a partir de la ecuación siguiente.

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left( \frac{2(k_f M_a)}{S_e} + \frac{[3(k_{fs} T_m)^2]^{\frac{1}{2}}}{S_{ut}} \right) \right\}^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ec. (4.29)}$$

Donde;  $d$ : diámetro del eje para el diseño inicial,  $M_a$ : momento flexionante alternante,  $T_m$ : par de torsión medio,  $k_{fs}$ : factor de concentración de esfuerzo por fatiga para torsión,  $k_f$ : factor de concentración de esfuerzo por fatiga para flexión,  $S_e$ : límite de resistencia a la fatiga,  $S_{ut}$ : resistencia ultima a la tensión,  $n$ : factor de seguridad a la fatiga.

Para un eje giratorio se tiene  $M_a = M_{R1} = 35.04 \text{ N} \times \text{m}$ ,  $T_m = T_1 = 20.6 \text{ N} \times \text{m}$ . Según (Budynas & Nisbett, 2008) se considera para la vida infinita del eje, con factor de seguridad mínima de  $n = 1.5$ , sustituyendo valores en la Ec. (4.29) se obtiene.

$$d = \left\{ \frac{16 \times (1.5)}{\pi} \left( \frac{2 \times (2.2 \times 35.04)}{354.568 \times (10^6)} + \frac{[3 \times (3 \times 20.6)^2]^{\frac{1}{2}}}{650 \times (10^6)} \right) \right\}^{\frac{1}{3}} = 0.01668 \text{ m}$$

$$d = 16.68 \text{ mm}$$

Según a (Budynas & Nisbett, 2008) las estimaciones han sido conservadoras por lo tanto se selecciona el siguiente diámetro por debajo de 16.68 mm,  $d = 16 \text{ mm}$ , con el diámetro se procede a calcular el valor real del factor de tamaño, utilizando la ecuación siguiente para  $2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm}$ .

$$K_b = 1.24 \times d^{-0.107} \quad \text{Ec. (4.30)}$$

Entonces, sustituyendo los valores en la Ec. (4.30), se obtiene:

$$K_b = 1.24 \times (16)^{-0.107} = 0.921$$

Según (Budynas & Nisbett, 2008) el radio de muesca en la ubicación crítica, correspondiente a un cuñero fresado se obtiene a partir de la ecuación siguiente.

$$\frac{r}{d} = 0.02 \quad \text{Ec. (4.31)}$$

Donde;  $r$ : radio de la muesca,  $d$ : diámetro obtenido en la primera estimación del eje.

Entonces, sustituyendo los valores en la Ec. (4.31), se obtiene:

$$r = 0.02 \times 16 = 0.32 \text{ mm}$$

Se determina la sensibilidad a la muesca  $q = 0.62$  y  $q_{cortante} = 0.68$ , para  $S_{ut} = 650 \text{ Mpa}$ ,  $r = 0.32 \text{ mm}$  y una dureza Brinell de 131 *Bhn* (ver **Anexo A.11**).

Para una segunda estimación del diámetro del eje, calculamos los factores de concentración de esfuerzos por fatiga para flexión y torsión  $K_f$  y  $K_{fs}$  con las ecuaciones siguientes (Budynas & Nisbett, 2008).

$$K_f = 1 + q \times (K_t - 1) \quad \text{Ec. (4.32)}$$

y

$$K_{fs} = 1 + q_{cortante} \times (K_{ts} - 1) \quad \text{Ec. (4.33)}$$

Donde;  $K_f$ : factor de concentración de esfuerzos por fatiga para flexión,  $K_{fs}$ : factor de concentración de esfuerzos por fatiga (para torsión),  $q$ : sensibilidad a la muesca para flexión,  $q_{cortante}$ : sensibilidad a la muesca para torsión,  $K_t$ : factor de concentración de esfuerzos para flexión,  $K_{ts}$ : factor de concentración de esfuerzos para torsión.

Entonces, sustituyendo los valores en las Ec. (4.32) y Ec. (4.33), se obtiene:

$$K_f = 1 + 0.62 \times (2.2 - 1) = 1.744$$

$$K_{fs} = 1 + 0.68 \times (3 - 1) = 2.36$$

El límite de resistencia a la fatiga con los factores modificados resulta, donde: el valor real de  $K_b$  se obtuvo a partir del diámetro calculado en la primera estimación,  $K_f$  y  $K_{fs}$  se calculó considerando la sensibilidad a la muesca  $q$  y  $q_{cortante}$ , los demás factores no presentan cambios, sustituyendo los valores en la Ec. (4.28) se obtiene.

$$S_e = 0.551 \times 0.921 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1.744 \times 325 = 287.634 \text{ MPa}$$

Según (Budynas & Nisbett, 2008) el diámetro del eje para una segunda estimación, según el criterio de Soderberg se obtiene a partir de la ecuación siguiente.

$$d_1 = \left( \frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[ 4(k_f M_a)^2 + 3(k_{fs} T_a)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_y} \left[ 4(k_f M_m)^2 + 3(k_{fs} T_m)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ec. (4.34)}$$

Donde;  $d_1$ : diámetro del eje,  $M_m$ : momento flexionante medio,  $T_a$ : par de torsión alternante,  $n$ : factor de seguridad a la fatiga,  $K_f$ : factor de concentración de esfuerzos por fatiga (para flexión),  $K_{fs}$ : factor de concentración de esfuerzos por fatiga (para torsión),  $S_e$ : límite de resistencia a la fatiga,  $S_y$ : límite a la fluencia,  $n$ : factor de seguridad a la fatiga.

Para un eje giratorio de  $M_m = T_a = 0$ , se tiene  $M_a = 35.04 \text{ N} \times \text{m}$ ,  $T_m = 20.6 \text{ N} \times \text{m}$ , y además se considera un factor de seguridad  $n = 1.5$  se deduce a:

$$d_1 = \left( \frac{16 \times n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[ 4(k_f M_a)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_y} \left[ 3(k_{fs} T_m)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Entonces, reemplazando los valores se obtiene:

$$d_1 = \left( \frac{16(1.5)}{\pi} \left\{ \frac{1}{287.634(10^6)} \left[ 4(1.744 \times 35.04)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{340(10^6)} \left[ 3(2.36 \times 20.6)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$d_1 = 0.01725 \text{ m} = 17.25 \text{ mm}$$

Por lo tanto, según al catálogo se selecciona un diámetro comercial de  $d_1 = \frac{3}{4} \text{ pulg} \approx 19.05 \text{ mm}$ .

### Factor de seguridad por fatiga

Según (Budynas & Nisbett, 2008) se determina el factor de seguridad contra la fluencia utilizando el criterio de Soderberg.

$$\frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_y} = \frac{1}{n}$$

Donde;  $\sigma'_a$ : esfuerzo equivalente alternante,  $\sigma'_m$ : esfuerzo equivalente medio.

De acuerdo con la teoría de falla por energía de distorsión, los esfuerzos equivalentes medio y alternante de Von Mises, para ejes giratorios, redondos y sólidos son:

$$\sigma'_a = \frac{32 \times k_f \times M_a}{\pi \times d^3} = \frac{32 \times 1.744 \times (35.04 \times 10^3)}{\pi \times 19.05^3} = 90.04 \text{ MPa}$$

$$\sigma'_m = \sqrt{3} \times \left( \frac{16 \times k_{fs} \times T_m}{\pi \times d^3} \right) = \sqrt{3} \times \left[ \frac{16 \times 2.36 \times (20.6 \times 10^3)}{\pi \times 19.05^3} \right] = 62.03 \text{ MPa}$$

Sustituyendo valores en la ecuación el factor de seguridad por fatiga es:

$$\frac{90.04}{287.634} + \frac{62.03}{340} = \frac{1}{n}$$

$$n = 2.02$$

El factor de seguridad por fatiga obtenido es mayor a 1.5, este valor supera el mínimo recomendado por (Budynas & Nisbett, 2008). Se concluye que el eje no falla por fatiga

### Factor de seguridad por resistencia

Según (Budynas & Nisbett, 2008) para comprobar la resistencia del material determinamos los esfuerzos en la ubicación más crítica y el esfuerzo equivalente de Von Mises

El esfuerzo normal por flexión es:

$$\sigma = \frac{32 \times M}{\pi \times d^3} \quad \text{Ec. (4.35)}$$

Donde;  $\sigma$ : esfuerzo normal por flexión,  $M$ : momento flexionante,  $d$ : diámetro del eje.

El esfuerzo cortante por torsión es:

$$\tau = \frac{16 \times T}{\pi \times d^3} \quad \text{Ec. (4.36)}$$

Donde;  $\tau$ : esfuerzo cortante por torsión,  $T$ : momento torsor,  $d$ : diámetro del eje.

Entonces, sustituyendo los valores en la Ec. (4.35) y Ec. (4.36), se obtiene:

El esfuerzo normal por flexión:

$$\sigma = \frac{32 \times (35.04 \times 10^3)}{\pi \times (19.05^3)} = 51.3 \text{ MPa}$$

El esfuerzo cortante por torsión:

$$\tau = \frac{16 \times (20.6 \times 10^3)}{\pi \times (19.05^3)} = 15.17 \text{ MPa}$$

Para verificar la fluencia calculamos el esfuerzo equivalente según el criterio de Von Mises con la ecuación siguiente (Budynas & Nisbett, 2008).

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \times \tau^2} \quad \text{Ec. (4.37)}$$

Donde;  $\sigma_{eq}$ : esfuerzo equivalente de Von Mises,  $\sigma$ : esfuerzo normal por flexión,  $\tau$ : esfuerzo cortante por torsión.

Entonces, sustituyendo los valores en la Ec. (4.37), se obtiene:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{51.3^2 + 3 \times 15.17^2} = 57.64 \text{ MPa}$$

Según (Budynas & Nisbett, 2008) el factor de seguridad se determina a partir de una ecuación que relaciona esfuerzo de fluencia con el esfuerzo equivalente de Von Mises. Este

factor permite verificar que el elemento trabaje dentro de condiciones seguras durante su funcionamiento como se muestra a continuación.

$$FS = \frac{S_y}{\sigma_{eq}} \quad \text{Ec. (4.38)}$$

Donde;  $FS$ : factor de seguridad a la fluencia  $S_y$ : esfuerzo de fluencia,  $\sigma_{eq}$ : esfuerzo equivalente de Von Mises.

Entonces, sustituyendo los valores en la Ec. (4.38), se obtiene:

$$FS = \frac{340}{57.64} = 5.8$$

Por lo tanto, se concluye que el eje superior posee la resistencia suficiente para soportar las cargas aplicadas, por lo que no presentara falla por resistencia durante su funcionamiento.

A continuación, en la **Tabla 4.5** se presenta un resumen general de los cálculos realizados, así como la selección del diámetro correspondiente al eje superior.

**Tabla 4.5**

*Resumen de selección del diámetro del eje superior*

| Comp.        | Punto de mayor carga            | Momento flector (N ×m)            | Par torsional (N ×m)                | Factores                                |          | Diámetro (mm)                     |       |
|--------------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|----------|-----------------------------------|-------|
|              |                                 |                                   |                                     | $K_f$                                   | $K_{fs}$ | Min.                              | Sel.  |
| Eje superior | C                               | 35.04                             | 20.6                                | 1.74                                    | 2.36     | 17.25                             | 19.05 |
| Comp.        | Factor de seguridad a la fatiga | Esfuerzo normal por flexión (MPa) | Esfuerzo cortante por torsión (MPa) | Esfuerzo Equivalente de Von Mises (MPa) |          | Factor de seguridad a la fluencia |       |
| Eje superior | 2.02                            | 51.13                             | 15.17                               | 57.64                                   |          | 5.8                               |       |

*Nota:* la tabla representa un resumen de selección del diámetro del eje superior.

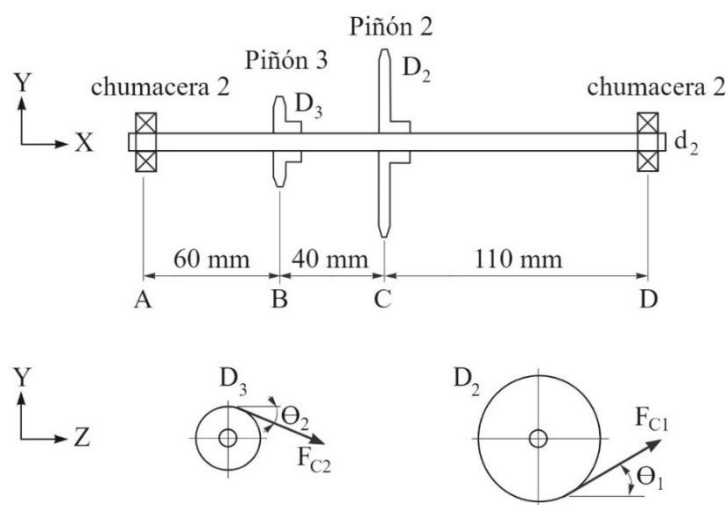
Para los cálculos de los ejes intermedio, inferior y de ruedas se realiza el procedimiento similar al empleado en el diseño del eje superior, considerando el análisis de fuerzas, determinación de esfuerzos y verificación de las condiciones de resistencia del material.

#### 4.1.9.1 Diseño del eje intermedio

En la **Figura 4.9**, se muestra la distribución de los componentes de transmisión del eje intermedio. La **Figura 4.10** presenta un esquema de las fuerzas y reacciones. En la **Figura 4.11** se presenta el esquema de fuerza cortante y momento flector. Asimismo, en la **Tabla 4.7** se presenta el resumen de los cálculos realizados.

**Figura 4.9**

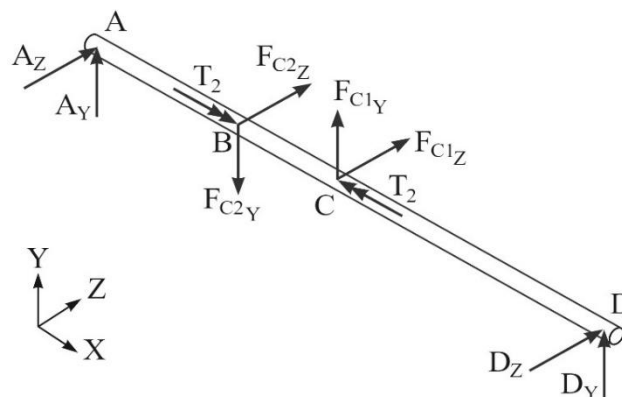
*Distribución de los componentes de transmisión del eje intermedio*



*Nota:* la figura representa la disposición de los componentes de transmisión del eje intermedio.

**Figura 4.10**

Esquema de las fuerzas y reacciones actuantes del eje intermedio

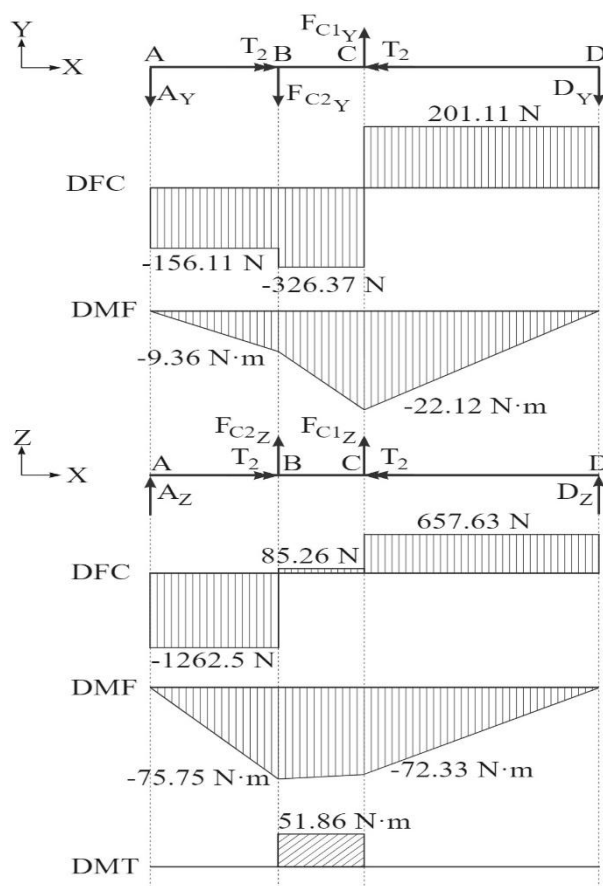


*Nota:* la figura representa el esquema de las fuerzas y reacciones actuantes del eje intermedio.

$A_Y = -153.11 \text{ N} (\downarrow)$ ,  $A_Z = -1262.50 \text{ N} (\swarrow)$ ,  $F_{C2Y} = 170.26 \text{ N}$ ,  $F_{C2Z} = 1347.76 \text{ N}$ ,  $F_{C1Y} = 524.48 \text{ N}$ ,  $F_{C1Z} = 572.37 \text{ N}$ ,  $D_Y = -201.11 \text{ N} (\downarrow)$ ,  $D_Z = -657.6 \text{ N} (\swarrow)$ ,  $T_2 = 51.86 \text{ N} \times m$

**Figura 4.11**

*Esquema de fuerza constante y momento flector del eje intermedia*



*Nota:* la figura representa esquema de fuerza constante y momento flector del eje intermedio.

**Tabla 4.6**

*Resumen de selección del diámetro del eje intermedio*

| Comp.          | Punto de mayor carga            | Momento flector (N × m)           | Par torsional (N × m)               | Factores                                |          | Diámetro (mm)                     |      |
|----------------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|----------|-----------------------------------|------|
|                |                                 |                                   |                                     | $K_f$                                   | $K_{fs}$ | Min.                              | Sel. |
| Eje intermedio | B                               | 76.32                             | 51.86                               | 1.78                                    | 2.46     | 23                                | 25.4 |
| Comp.          | Factor de seguridad a la fatiga | Esfuerzo normal por flexión (MPa) | Esfuerzo cortante por torsión (MPa) | Esfuerzo Equivalente de Von Mises (MPa) |          | Factor de seguridad a la fluencia |      |
| Eje intermedio | 2.01                            | 57.01                             | 16.12                               | 53.48                                   |          | 5.3                               |      |

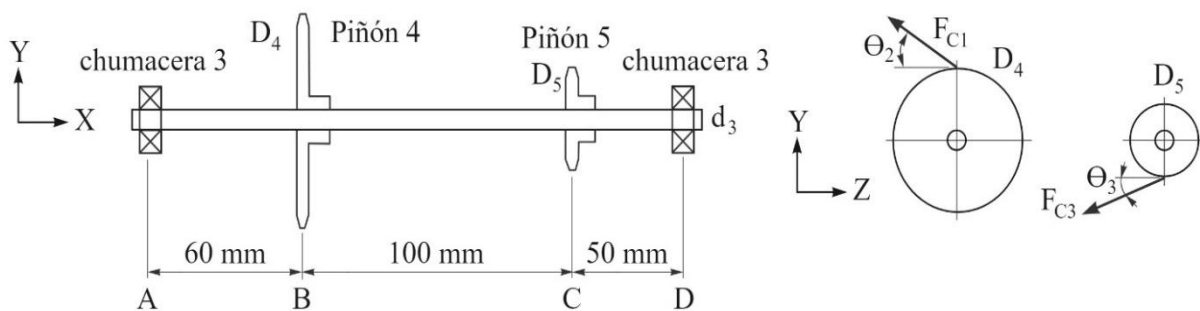
*Nota:* la tabla representa un resumen general de selección del diámetro del eje intermedio.

#### 4.1.9.1 Diseño del eje inferior

En la **Figura 4.12**, se muestra la distribución de los componentes de transmisión del eje inferior. La **Figura 4.13** presenta un esquema de las fuerzas y reacciones. En la **Figura 4.14** se presenta el esquema de fuerza cortante y momento flector. Asimismo, en la **Tabla 4.7** se presenta el resumen de los cálculos realizados.

**Figura 4.12**

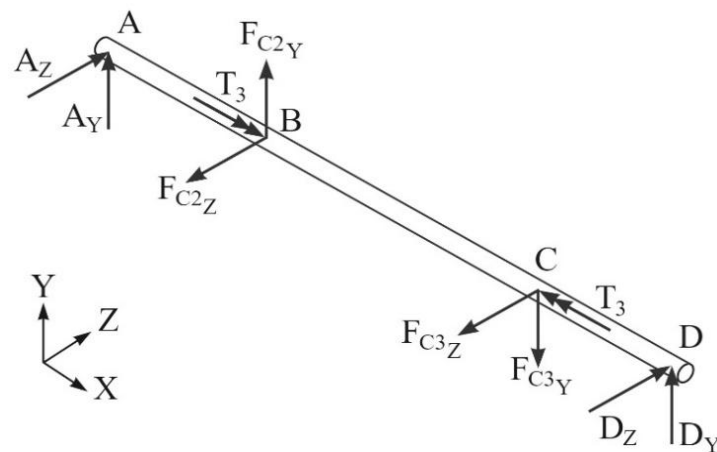
*Distribución de los componentes de transmisión el eje inferior*



*Nota:* la figura representa disposición de los componentes de transmisión en el eje inferior.

**Figura 4.13**

*Esquema de las fuerzas y reacciones actuantes del eje inferior*

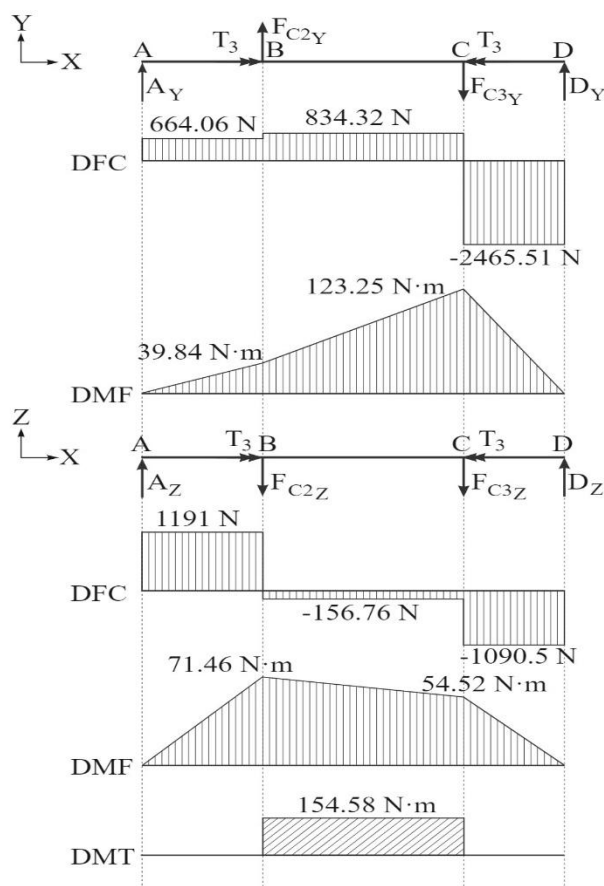


*Nota:* la figura representa el esquema de las fuerzas y reacciones actuantes sobre el eje inferior.

$A_Y = 664.06 \text{ N}$ ,  $A_Z = 1191 \text{ N}$ ,  $F_{C2Y} = 170.26 \text{ N}$ ,  $F_{C2Z} = 1347.7 \text{ N}$ ,  $F_{C3Y} = 3299.8 \text{ N}$ ,  $F_{C3Z} = 933.75 \text{ N}$ ,  $D_Y = 2465.5 \text{ N}$ ,  $D_Z = 1090.5 \text{ N}$ ,  $T_2 = 51.86 \text{ N} \times m$ ,  $T_3 = 154.58 \text{ N} \times m$

**Figura 4.14**

*Esquema de fuerza constante y momento flector del eje inferior*



*Nota:* la figura representa esquema de fuerza constante y momento flector del eje inferior.

**Tabla 4.7**

*Resumen de selección del diámetro del eje inferior*

| Comp.        | Punto de mayor carga            | Momento flector (N × m)           | Par torsional (N × m)               | Factores                                |          | Diámetro (mm)                     |       |
|--------------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|----------|-----------------------------------|-------|
|              |                                 |                                   |                                     | $K_f$                                   | $K_{fs}$ | Min.                              | Sel.  |
| Eje inferior | C                               | 134.77                            | 154.58                              | 1.86                                    | 2.58     | 30.63                             | 31.75 |
| Comp.        | Factor de seguridad a la fatiga | Esfuerzo normal por flexión (MPa) | Esfuerzo cortante por torsión (MPa) | Esfuerzo Equivalente de Von Mises (MPa) |          | Factor de seguridad a la fluencia |       |
| Eje inferior | 1.67                            | 42.89                             | 24.6                                | 60.45                                   |          | 5.6                               |       |

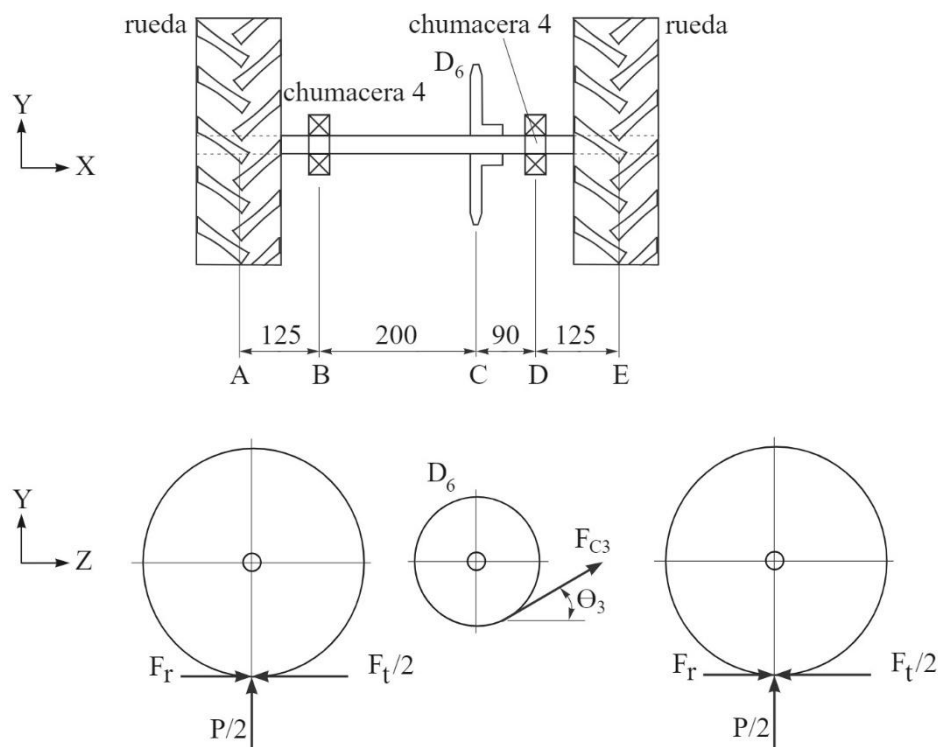
*Nota:* la tabla representa el resumen de selección del diámetro en el eje inferior.

#### 4.1.9.1 Diseño de eje de ruedas

Para determinar el diámetro mínimo del eje de ruedas, además de los criterios generales de diseño de ejes, se consideran las cargas generadas por el peso en las ruedas y la fuerza de tracción aplicada en sus extremos. En la **Figura 4.15** se observa la distribución de los componentes de transmisión. La **Figura 4.16** muestra un esquema de las fuerzas y reacciones. La **Figura 4.17** presenta un esquema de fuerza constante y momento flector. Asimismo, en la **Tabla 4.8** se presenta el resumen de los cálculos realizados.

**Figura 4.15**

*Distribución de los componentes de transmisión del eje de ruedas*



*Nota:* la figura representa la disposición de los componentes de transmisión en el eje de ruedas.

Considerando una masa máquina  $m = 80 \text{ kg}$ , el peso de la máquina es  $P = mg = 80 \times 9.81 = 784.8 \text{ N}$ , de la tabla se obtiene una resistencia a la rodadura  $RR = 130 \text{ kg/ton}$ , para neumáticos de caucho en una superficie de arena suelta y grava (ver **Anexo A.12**), la fuerza de resistencia a la rodadura es:

$$F_r = \frac{m}{2} \times RR \quad \text{Ec. (4.39)}$$

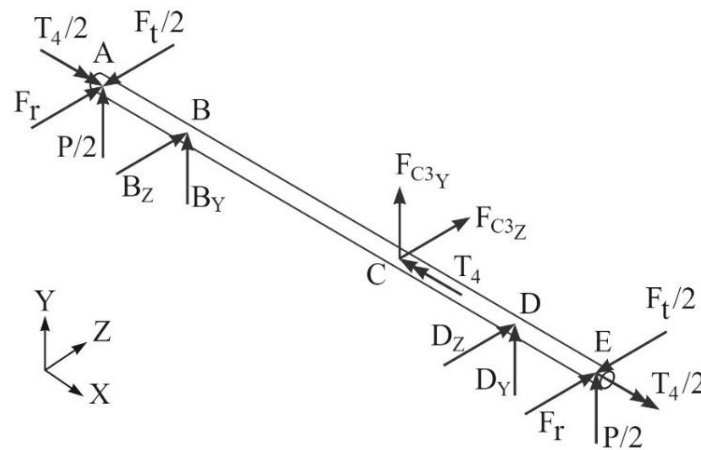
Donde;  $F_r$ : fuerza de resistencia a la rodadura,  $m$ : masa de la máquina,  $RR$ : resistencia a la rodadura.

Entonces, sustituyendo los valores en la Ec. (4.39), resulta.

$$F_r = \frac{80}{2} (10^{-3}) \times 130 = 5.2 \text{ kg} = 51 \text{ N}$$

**Figura 4.16**

*Esquema de las fuerzas y reacciones actuantes del eje de ruedas*



*Nota:* la figura representa el esquema de las fuerzas y reacciones sobre el eje de ruedas.

$F_r = 51 \text{ N}$ ,  $F_t = 2156.22 \text{ N}$ ,  $P = 784.8 \text{ N}$ ,  $B_Y = -1414.9 \text{ N}(\downarrow)$ ,  $B_Z = 737.47 \text{ N}$ ,  $F_{C3Y} = 3299.83 \text{ N}$ ,  $F_{C3Z} = 933.75 \text{ N}$ ,  $D_Y = -2667.72 \text{ N}(\downarrow)$ ,  $D_Z = 383.48 \text{ N}$ ,  $T_4 = 458.2 \text{ N} \times m$

Determinamos la fuerza de tracción generada por las ruedas del Multicultor

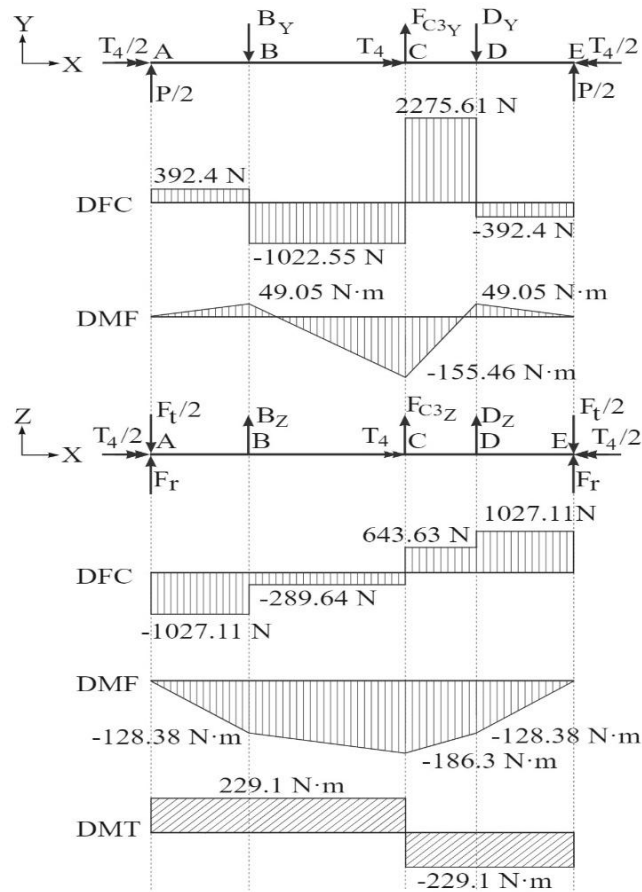
$$F_t = \frac{T_4}{\left(\frac{D_r}{2}\right)} = \frac{458.2}{\left(\frac{425 \times 10^{-3}}{2}\right)} = 2156.22 \text{ N}$$

La fuerza de tracción en cada rueda es:

$$\left(\frac{F_t}{2}\right) = 1078.11 \text{ N}$$

**Figura 4.17**

*Esquema de fuerza constante y momento flector del eje de ruedas*



*Nota:* la figura representa esquema de fuerza constante y momento flector del eje de ruedas.

**Tabla 4.8**

*Resumen de selección del diámetro del eje de ruedas*

| Componente    | Punto de mayor carga            | Momento flector (N × m)           | Par torsional (N × m)               | Factores                                |          | Diámetro (mm)                     |       |
|---------------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|----------|-----------------------------------|-------|
|               |                                 |                                   |                                     | $K_f$                                   | $K_{fs}$ | Min.                              | Sel.  |
| Eje de ruedas | C                               | 242.64                            | 463.74                              | 1.85                                    | 2.66     | 41.57                             | 44.45 |
| Componente    | Factor de seguridad a la fatiga | Esfuerzo normal por flexión (MPa) | Esfuerzo cortante por torsión (MPa) | Esfuerzo Equivalente de Von Mises (MPa) |          | Factor de seguridad a la fluencia |       |
| Eje de ruedas | 1.83                            | 29.77                             | 26.57                               | 54.81                                   |          | 6.3                               |       |

*Nota:* la tabla representa resumen de selección del diámetro del eje de ruedas.

#### 4.1.10 Selección de rodamientos

##### 4.1.10.1 Selección de rodamientos del eje superior

Los rodamientos en el eje superior se ubican en los puntos B y D, estos están sometidos únicamente a cargas radiales producidas por la polea y el piñón

Carga radial que actúa sobre el rodamiento en el punto B es:

$$F_r = \sqrt{(B_Y)^2 + (B_Z)^2} \quad \text{Ec. (4.40)}$$

Donde;  $F_r$ : carga radial,  $B_Y$  y  $B_Z$ : fuerza de reacción de eje Y y Z.

Entonces, reemplazando los valores en la Ec. (4.40) se obtiene:

$$F_r = \sqrt{(324.65)^2 + (655.06)^2} = 731.1 \text{ N}$$

La carga dinámica equivalente es:

$$P = X \times F_r + Y \times F_a \quad \text{Ec. (4.41)}$$

Donde;  $P$ : carga dinámica equivalente,  $F_r$ : carga radial,  $F_a$ : carga axial,  $X$ : factor radial del rodamiento,  $Y$ : factor axial del rodamiento.

Al no haber carga axial, la carga radial es igual a la carga dinámica equivalente, con  $F_a = 0$  y el factor radial  $X = 1$ , entonces reemplazando en la Ec. (4.41), se obtiene.

$$P = 1 \times 731.1 = 731.1 \text{ N}$$

De la tabla se obtiene la vida requerida para los rodamientos en horas  $L_h = 8000$  horas (ver **Anexo A.15**) correspondiente para máquinas agrícolas, la velocidad de rotación del eje superior es 1250 rpm, para rodamientos de bolas  $p = 3$ . La capacidad de carga dinámica básica equivalente es:

$$C = P \left( \frac{60 \times n \times L_h}{10^6} \right)^{\frac{1}{p}} \quad \text{Ec. (4.42)}$$

Donde;  $C$ : capacidad de carga dinámica básica equivalente,  $P$ : carga dinámica equivalente,  $L_h$ : vida nominal requerida,  $n$ : velocidad de rotación,  $p$ : exponente de vida según el tipo de rodamiento.

Entonces, sustituyendo los valores en la Ec. (4.42), se obtiene:

$$C = 731.1 \left( \frac{60 \times 1250 \times 8000}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}} = 6166.1 \text{ N}$$

Del catálogo SKF para rodamientos rígidos de bola, seleccionamos los rodamientos YAR 204-012-2LPW/ZM, con una capacidad de carga dinámica  $C = 12.7 \text{ kN}$  y un diámetro interno  $d = 19.05 \text{ mm}$  (ver **Anexo B.9**).

**Tabla 4.9**

*Resumen de selección de rodamientos del eje superior*

| Comp.        | Punto de ubicación | Carga radial (N) | Carga dinámica equivalente (N) | Velocidad de rotación (rpm) | Capacidad de carga dinámica básica equivalente (N) | Rodamiento seleccionado |
|--------------|--------------------|------------------|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------|
| Eje superior | B                  | 731.1            | 731.1                          | 1250                        | 6166.1                                             | YAR 204-012-2LPW/ZM     |
|              | D                  | 318.65           | 318.65                         | 1250                        | 2687.5                                             | YAR 204-012-2LPW/ZM     |

*Nota:* la tabla representa un resumen de selección de rodamientos del eje superior.

En la **Tabla 4.9** se presenta el resumen general de los cálculos realizados, así como la selección de rodamientos del eje superior.

De forma similar al cálculo de los rodamientos del eje superior, se realizan los procedimientos de diseño y verificación correspondientes para los rodamientos de los ejes siguientes, aplicando los mismos criterios de selección y condiciones de operación.

#### 4.1.10.2 Selección de rodamientos del eje intermedio

En la **Tabla 4.10** se presenta el resumen general de los cálculos realizados, así como la selección de rodamientos del eje intermedio.

**Tabla 4.10***Resumen de selección de rodamientos del eje intermedio*

| Comp.          | Punto de ubicación | Carga radial (N) | Carga dinámica equivalente (N) | Velocidad de rotación (rpm) | Capacidad de carga dinámica básica equivalente (N) | Rodamiento seleccionado |
|----------------|--------------------|------------------|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------|
| Eje intermedio | A                  | 1271.75          | 1271.75                        | 500                         | 7902.65                                            | YAR 205-100-2RFG/HV     |
|                | D                  | 687.7            | 687.7                          | 500                         | 4273.4                                             | YAR 205-100-2RFG/HV     |

*Nota:* la tabla representa un resumen de selección de rodamientos del eje intermedio.

#### 4.1.10.3 Selección de rodamientos del eje inferior

En la **Tabla 4.11** se presenta el resumen general de los cálculos realizados, así como la selección de rodamientos del eje inferior.

**Tabla 4.11***Resumen de selección de rodamientos del eje inferior*

| Comp.        | Punto de ubicación | Carga radial (N) | Carga dinámica equivalente (N) | Velocidad de rotación (rpm) | Capacidad de carga dinámica básica equivalente (N) | Rodamiento seleccionado |
|--------------|--------------------|------------------|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------|
| Eje inferior | A                  | 1274.7           | 1274.7                         | 166.6                       | 5492.5                                             | YAR 206-104-2LPW/SS     |
|              | D                  | 2695.91          | 2695.91                        | 166.6                       | 11616.14                                           | YAR 206-104-2LPW/SS     |

*Nota:* la tabla representa un resumen de selección de rodamientos del eje inferior.

#### 4.1.10.4 Selección de rodamientos del eje de ruedas

En la **Tabla 4.12** se presenta el resumen de selección de rodamientos para el eje de ruedas, los cálculos se determinan de la misma forma que el eje superior.

**Tabla 4.12***Resumen de selección de rodamientos del eje de ruedas*

| Comp.         | Punto de ubicación | Carga radial (N) | Carga dinámica equivalente (N) | Velocidad de rotación (rpm) | Capacidad de carga dinámica básica equivalente (N) | Rodamiento seleccionado |
|---------------|--------------------|------------------|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------|
| Eje de ruedas | B                  | 1595.5           | 1807.92                        | 56                          | 5418.72                                            | YAT 209-112             |
|               | D                  | 2695.14          | 2606.61                        | 56                          | 7808.25                                            | YAT 209-112             |

*Nota:* la tabla representa resumen de selección de rodamientos del eje de ruedas.

#### **4.1.11 Diseño de chavetas o cuñas**

Se tendrá un total de 7 chavetas en los ejes del Multicultor, el material empleado para el diseño de la chaveta es de acero AISI 1045, el esfuerzo de fluencia es de  $S_y = 340 \text{ MPa}$ .

Para el cálculo de chavetas se consideró un factor de seguridad de  $n = 1.5$  entonces:

El esfuerzo por cizallamiento es:

$$S_s = \frac{0.577 \times S_y}{n} \quad \text{Ec. (4.43)}$$

Entonces, reemplazando los valores Ec. (4.43), se obtiene:

$$S_s = \frac{0.577 \times 340}{1.5} = 130.8 \text{ MPa}$$

El esfuerzo por compresión es:

$$S_c = \frac{S_y}{n} \quad \text{Ec. (4.44)}$$

Entonces, reemplazando los valores Ec. (4.44), se obtiene:

$$S_c = \frac{340}{1.5} = 226.67 \text{ MPa}$$

##### **4.1.11.1 Selección de las chavetas del eje superior**

En el eje superior se calcula las chavetas, para fijar la polea conducida y el piñón 1.

De la tabla para el diámetro del eje superior  $d_1 = 19.05 \text{ mm}$ , se selecciona una chaveta de medidas  $b \times h = 6 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$  (ver **Anexo A.25**), entonces:

La longitud por cizalladura es:

$$L_S = \frac{2 \times T}{S_S \times b \times d} \quad \text{Ec. (4.45)}$$

El par de torsión transmitido por el eje 1 es de  $T_1 = 20.6 \text{ N} \times \text{m}$ , entonces reemplazando los valores en la Ec. (4.45), se obtiene:

$$L_S = \frac{2 \times 20.6 \times 10^3}{130.8 \times 6 \times 19.05} = 2.755 \text{ mm}$$

La longitud por compresión es:

$$L_C = \frac{4 \times T}{S_C \times h \times d} \quad \text{Ec. (4.46)}$$

Entonces, reemplazando los valores Ec. (4.46), se obtiene:

$$L_C = \frac{4 \times 20.6 \times 10^3}{226.67 \times 6 \times 19.05} = 3.18 \text{ mm}$$

Las longitudes calculadas son menores que los lados  $b$  (ancho) y  $h$  (alto) de la chaveta, la longitud de la chaveta siempre debe ser mayor que sus lados.

Por lo tanto, se considera la longitud máxima para la chaveta como 1.5 veces el diámetro del eje  $L = 29 \text{ mm}$ , tomando en cuenta que la longitud de la chaveta no debe exceder a la longitud del cubo o masa del piñón y la polea, entonces:

Las dimensiones de la chaveta para la polea conducida, con una longitud del cubo de  $32 \text{ mm}$  es:

$$L \times b \times h = 29 \text{ mm} \times 6 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$$

Las dimensiones de la chaveta para el piñón 1 con una longitud del cubo de  $22 \text{ mm}$  es:

$$L \times b \times h = 22 \text{ mm} \times 6 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$$

En la **Tabla 4.13** se presenta el resumen general de los cálculos realizados, así como la selección de chavetas del eje superior.

**Tabla 4.13***Resumen de selección de chavetas del eje superior*

| Comp.        | Punto de ubicación | Medidas b×h (mm) | Longitud por cizalladura (mm) | Longitud por compresión (mm) | Longitud seleccionada (mm) |
|--------------|--------------------|------------------|-------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| Eje superior | A                  | 6×6              | 2.75                          | 3.18                         | 29                         |
|              | C                  | 6×6              | 2.75                          | 3.18                         | 22                         |

*Nota:* la tabla representa un resumen de selección de chavetas del eje superior.

De forma similar al cálculo de chavetas del eje superior, se desarrollan los cálculos correspondientes para los ejes siguientes.

#### **4.1.11.2 Selección de las chavetas del eje intermedio**

En la **Tabla 4.14** se presenta el resumen general de los cálculos realizados, así como la selección de chavetas del eje intermedio.

**Tabla 4.14***Resumen de selección de chavetas para el eje intermedio*

| Comp.          | Punto de ubicación | Medidas b×h (mm) | Longitud por cizalladura (mm) | Longitud por compresión (mm) | Longitud seleccionada (mm) |
|----------------|--------------------|------------------|-------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| Eje intermedio | B                  | 8×7              | 3.9                           | 5.04                         | 25                         |
|                | C                  | 8×7              | 3.9                           | 5.04                         | 25                         |

*Nota:* la tabla representa resumen de selección de chavetas para el eje intermedio.

#### **4.1.11.3 Selección de las chavetas del eje inferior**

En la **Tabla 4.15** se presenta el resumen general de los cálculos realizados, así como la selección de chavetas del eje inferior.

**Tabla 4.15***Resumen de selección de chavetas del eje inferior*

| Comp.        | Punto de ubicación | Medidas b×h (mm) | Longitud por cizalladura (mm) | Longitud por compresión (mm) | Longitud seleccionada (mm) |
|--------------|--------------------|------------------|-------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| Eje inferior | B                  | 10×8             | 7.44                          | 10.74                        | 32                         |
|              | C                  | 10×8             | 7.44                          | 10.74                        | 41                         |

*Nota:* la tabla representa resumen de selección de chavetas del eje inferior.

#### 4.1.11.4 Selección de las chavetas del eje de ruedas

En la tabla siguiente se presenta el resumen general de la selección de chavetas para el eje de ruedas.

**Tabla 4.16***Resumen de selección de chavetas del eje de ruedas*

| Comp.         | Punto de ubicación | Medidas b×h (mm) | Longitud por cizalladura (mm) | Longitud por compresión (mm) | Longitud seleccionada (mm) |
|---------------|--------------------|------------------|-------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| Eje de ruedas | C                  | 14×9             | 11.25                         | 20.21                        | 51                         |

*Nota:* la tabla representa resumen de selección de chavetas del eje de ruedas.

#### 4.1.11.5 Cargas y esfuerzos en pernos

Según (Alva Davila, 2008) considerando que la fricción generada en la superficie de contacto absorbe la carga de corte aplicada, se determina que la fuerza de tracción que actúa sobre el perno debe ser:

$$F_e \geq F_t + \frac{F_s}{\mu} \text{ y que } F_e \leq 0.6 S_y A_s$$

Donde;  $F_t$ : carga de tracción actuante,  $F_s$ : carga de corte actuante,  $\mu$ : factor de fricción entre la superficie de contacto, se puede tomar 0.2 a 0.35,  $F_e$ : fuerza de tracción en el perno para que tome la carga de corte,  $S_y$ : esfuerzo de fluencia del material del perno,  $A_s$ : área de esfuerzo del perno.

Considerando que el perno tomara la carga de corte por ajuste inadecuado. Para esta situación, la carga equivalente de tracción de acuerdo al criterio de la máxima energía de distorsión será:

$$F_e = \sqrt{F_t^2 + 3F_s^2}$$

Para determinar el área de esfuerzo requerida, se emplean las ecuaciones propuestas por Seaton y Routhewaite.

$$A_s = \left( \frac{6 \times F_e}{S_y} \right)^{2/3}$$

### **Cálculo de pernos para el montaje de la chumacera del eje superior**

Se considera la chumacera sometida a mayor carga, que está ubicada en el punto B del eje superior, entonces:

La carga de tracción directa es:

$$F_t = \frac{B_Y}{n} = \frac{324.65}{2} = 162.325 \text{ N}$$

La carga de corte directa es:

$$F_s = \frac{B_Z}{n} = \frac{655.06}{2} = 327.53 \text{ N}$$

Donde;  $B_Y$  y  $B_Z$ : cargas actuantes de tracción y de corte,  $n$ : numero de pernos.

Carga equivalente:

$$F_e = \sqrt{162.325^2 + 3 \times 327.53^2} = 591 \text{ N}$$

Área de esfuerzo:

$$A_s = \left( \frac{6 \times F_e}{S_y} \right)^{\frac{2}{3}} = \left( \frac{6 \times 591}{240} \right)^{\frac{2}{3}} = 6 \text{ mm}^2$$

De la tabla  $S_y = 240 \text{ MPa}$  para un perno de tamaño M5 a M36 (ver **Anexo A.27**).

Se obtuvo un área mínima requerida de  $6.04 \text{ mm}^2$  que corresponde a un diámetro de perno menor a un M4. Sin embargo, el diámetro de los agujeros de montaje de chumaceras es

de 10 mm. Por lo que se optó por utilizar una rosca M10, además estos pernos facilitan un par de apriete más elevado, disminuyendo así la posibilidad de afloje durante el funcionamiento.

Ajuste inicial del perno:

$$F_i \leq 0.8 S_y A_s$$

De la tabla  $A_s = 57.26 \text{ mm}^2$  para un perno M10 (ver **Anexo A.27**).

$$F_i = 0.8 S_y A_s = 0.8 \times 240 \times 57.26 = 10994 \text{ N}$$

Torque de ajuste considerando pernos no lubricados:

$$T = 0.20 \times F_i \times d_b = 21.5 \text{ N} \times m$$

El diámetro del vástago es:  $d_b = 9.78 \text{ mm}$  para un perno M10

### Cálculo de los pernos para el montaje de chumaceras

**Tabla 4.17**

*Resumen de cálculo de los pernos para el montaje de chumaceras*

| Componente     | Punto de ubicación | Número de pernos | Carga de tracción directa (N) | Carga de corte directa (N) | Carga equivalente (N) | Área mínima de esfuerzo ( $\text{mm}^2$ ) | Perno seleccionado | Torque de ajuste (Nxm) |
|----------------|--------------------|------------------|-------------------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------------------------|--------------------|------------------------|
| Eje superior   | B                  | 2                | 162.32                        | 327.53                     | 591                   | 6.01                                      | M10                | 21.5                   |
| Eje intermedio | A                  | 2                | 76.55                         | 631.25                     | 1096                  | 9.08                                      | M10                | 21.5                   |
| Eje inferior   | D                  | 4                | 616.37                        | 272.62                     | 776.46                | 7.22                                      | M12                | 36.12                  |
| Eje de ruedas  | D                  | 4                | 666.93                        | 95.87                      | 687.3                 | 6.65                                      | M14                | 60.71                  |

*Nota:* la tabla representa el resumen de cálculo de los pernos para el montaje de chumaceras.

### Cálculo de pernos del Multicultor

De forma similar al procedimiento empleado para el cálculo de los pernos para el montaje de chumaceras, se desarrollan los cálculos de diseño y las verificaciones correspondientes para las uniones del Multicultor. Este proceso comprende la determinación

de las cargas actuantes, la selección de los elementos de fijación adecuados y la comprobación de su resistencia mecánica, con el propósito de garantizar uniones seguras, confiables y capaces de soportar las condiciones de operación a las que estará sometida la máquina durante las labores agrícolas, en la siguiente tabla se muestra el resumen de la selección de los pernos.

**Tabla 4.18**

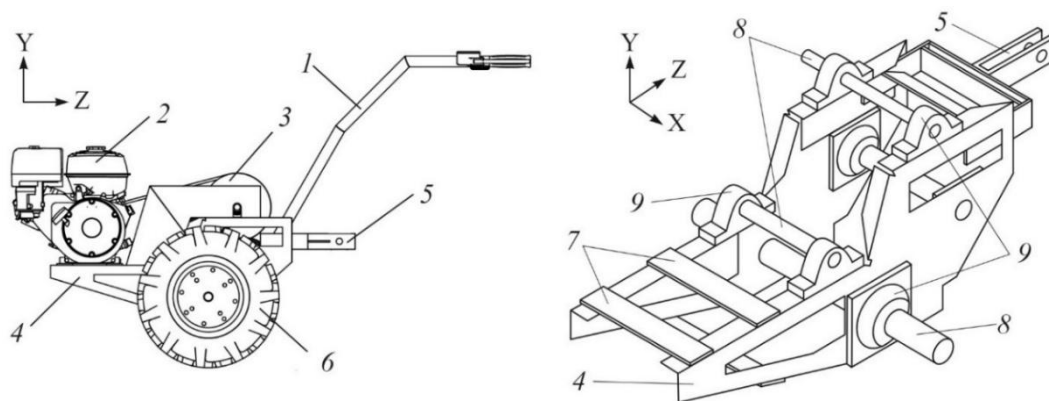
*Resumen de cálculo de pernos del Multicultor*

| Componente                  | Numero de pernos | Carga de tracción directa (N) | Carga de corte directo (N) | Carga equivalente (N) | Área mínima de esfuerzo ( $mm^2$ ) | Perno seleccionado | Torque de ajuste (Nxm) |
|-----------------------------|------------------|-------------------------------|----------------------------|-----------------------|------------------------------------|--------------------|------------------------|
| Perno del soporte del motor | 4                | 10.23                         | 126.6                      | 126.6                 | 2.15                               | M10                | 21.5                   |
| Perno del acople de ruedas  | 4                | 61.5                          | 929.32                     | 929.32                | 8.14                               | M12                | 43.8                   |
| Perno de soporte del brazo  | 1                | 19594.5                       | 0                          | 19594.5               | 62.14                              | M20                | 93.68                  |

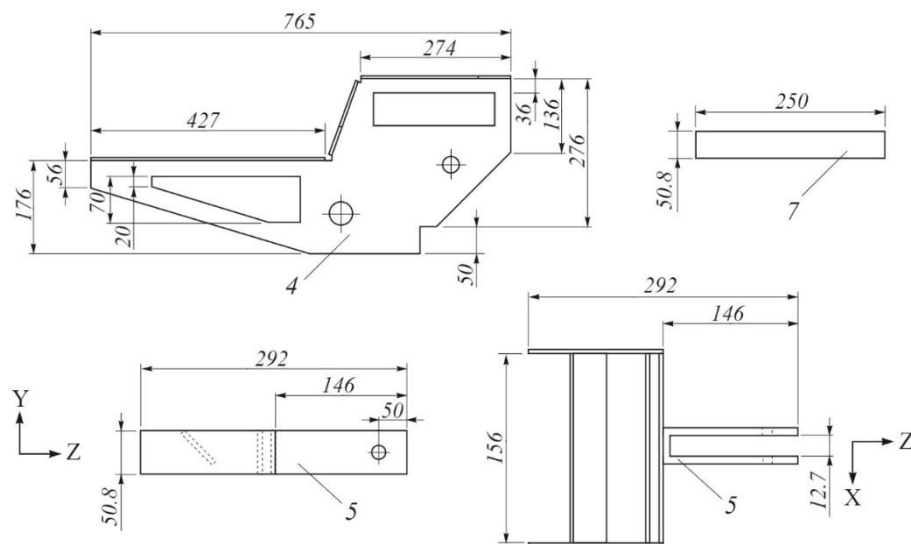
*Nota:* la tabla representa el resumen de cálculo de pernos del Multicultor.

#### **4.1.12 Diseño estructural del Multicultor**

La estructura del Multicultor se observa en la **Figura 4.18** que está formada por planchas de acero soldadas que constituyen el bastidor de la máquina, el cual soporta el motor, ruedas, sistema de transmisión, manubrio y el acople de las herramientas.

**Figura 4.18***Partes del Multicultor*

*Nota:* la figura representa las partes más importantes del Multicultor. Donde; 1: manubrio, 2: motor, 3: sistema de transmisión, 4: plancha lateral, 5: acople de implementos, 6: rueda de tracción, 7: travesaño de soporte del motor, 8: ejes de transmisión, 9: chumaceras.

**Figura 4.19***Dimensiones de los componentes del bastidor*

*Nota:* la figura representa la medida de los componentes del bastidor del Multicultor.

En la **Figura 4.19** se pueden apreciar detalladamente las dimensiones de cada uno de los elementos que conforman la estructura del bastidor del Multicultor.

#### 4.1.12.1 Espesor mínimo de la plancha lateral

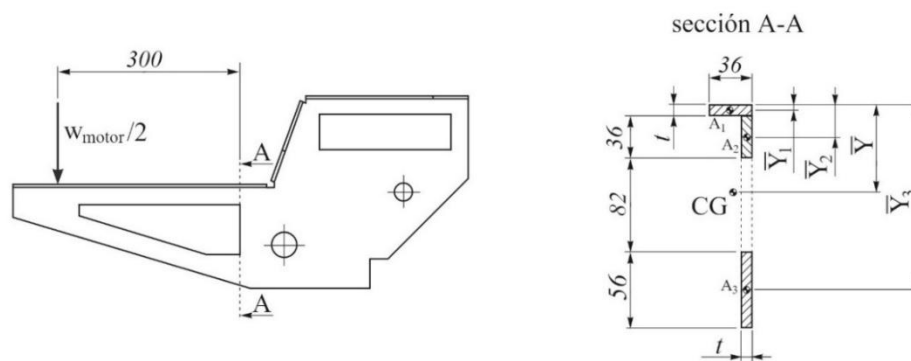
Se analiza la sección A-A de la plancha lateral, la cual soporta el peso del motor considerado como el punto de mayor carga, existen dos placas laterales, por lo tanto, la cargas en cada placa es aproximadamente la mitad del peso del motor.

#### Carga actuante sobre la sección A-A de la placa lateral

En la **Figura 4.20** se muestra un soporte estructural que soporta el peso del motor. Se realiza un corte transversal (A-A) para dividir la sección en áreas simples ( $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ ) y así calcular el centro de gravedad y las propiedades estructurales necesarias para el diseño.

**Figura 4.20**

*Sección de la plancha lateral sometida a las cargas del peso del motor*



*Nota:* la figura representa la sección de las planchas sometida a las cargas del peso del motor.

El peso del motor es  $w_{motor} = 19.9 \text{ kg}$ , la distancia del punto de aplicación de la fuerza a la sección es  $d = 300 \text{ mm}$  entonces, el momento flector producido sobre la sección A-A es:

$$M_F = d \times \left( \frac{w_{motor}}{2} \right) = 300 \times \left( \frac{19.9 \times 9.81}{2} \right) = 29282.85 \text{ N} \times \text{mm} = 29.3 \text{ N} \times \text{m}$$

El centro de gravedad de sección está compuesto por:

$$\bar{Y} = \frac{A_1 \times \bar{Y}_1 + A_2 \times \bar{Y}_2 + A_3 \times \bar{Y}_3}{A_1 + A_2 + A_3} \quad \text{Ec. (4.47)}$$

Donde:  $A_1$ ,  $A_2$  y  $A_3$  son áreas de las figuras que componen la sección:

$$A_1 = b_1 \times t = (36 \times t) = 36t \text{ mm}^2$$

$$A_2 = t \times h_2 = (t \times 36) = 36t \text{ mm}^2$$

$$A_3 = t \times h_3 = (t \times 56) = 56t \text{ mm}^2$$

El área total de la sección compuesta por la suma de las tres áreas:

$$A = A_1 + A_2 + A_3$$

$$A = 36t + 36t + 56t = 128t \text{ mm}^2$$

El centro de gravedad de cada figura, medida desde la parte superior de la sección está compuesta por:

$$\bar{Y}_1 = \frac{t}{2} = 0.5 \times t \text{ mm}$$

$$\bar{Y}_2 = t + \frac{36}{2} = (18 + t) \text{ mm}$$

$$\bar{Y}_3 = t + 36 + 82 + \frac{56}{2} = (146 + t) \text{ mm}$$

Entonces, sustituyendo los valores en la Ec. (4.47), se tiene:

$$\bar{Y} = \frac{36t \times 0.5 \times t + 36t \times (18 + t) + 56t \times (146 + t)}{36t + 36t + 56t} = (0.86t + 68.93) \text{ mm}$$

El momento de inercia de la sección está compuesta por:

$$I = I_1 + A_1 \times d_1^2 + I_2 + A_2 \times d_2^2 + I_3 + A_3 \times d_3^2 \quad \text{Ec. (4.48)}$$

El momento de inercia de las figuras que componen la sección es:

$$I_1 = \frac{1}{12} \times b_1 \times t^3 = \frac{1}{12} \times 36 \times t^3 = 3t^3 \text{ mm}^4$$

$$I_2 = \frac{1}{12} \times t \times h_2^3 = \frac{1}{12} \times t \times 36^3 = 3888t \text{ mm}^4$$

$$I_3 = \frac{1}{12} \times t \times h_3^3 = \frac{1}{12} \times t \times 56^3 = 14634.67t \text{ mm}^4$$

Las distancias del centro de gravedad de cada figura hasta el centro de gravedad de la sección están compuestas por.

$$d_1 = (0.86 \times t + 68.93) - \frac{t}{2} = (0.36 \times t + 68.93) \text{ mm}$$

$$d_2 = (0.86 \times t + 68.93) - t - \frac{36}{2} = (50.93 - 0.14 \times t) \text{ mm}$$

$$d_3 = (174 + t) - (0.86 \times t + 68.93) - \frac{56}{2} = (0.14 \times t + 77.07) \text{ mm}$$

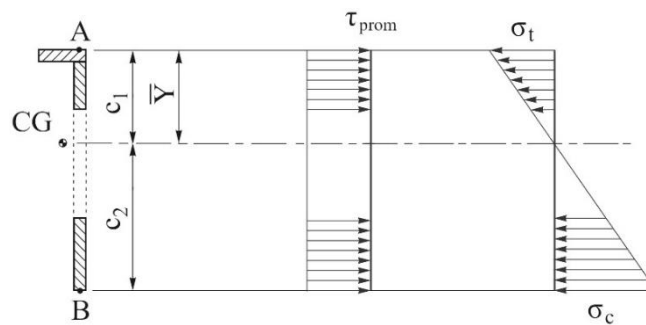
Entonces, reemplazando los valores en la Ec. (4.48), se tiene:

$$I = 9.47t^3 - 1091.58t^2 + 615568.18t \text{ mm}^4$$

En la **Figura 4.21** se muestra la distribución de cargas en la sección A-A de la plancha lateral, representa la forma en que las fuerzas y esfuerzos se reparten a lo largo de dicha sección.

**Figura 4.21**

*Distribución de cargas sobre la sección A-A de la plancha lateral*



*Nota:* la figura representa la distribución de cargas sobre la sección A-A de la plancha lateral

Según a la **Figura 4.21** las distancias desde el centro de gravedad a los puntos de análisis A y B son:

$$c_1 = (0.86 \times t + 68.93) \text{ mm}$$

$$c_2 = (174 + t) - (0.86 \times t + 68.93) = (0.14 \times t + 105.07) \text{ mm}$$

El esfuerzo cortante promedio es:

$$\tau_{prom} = \frac{\left(\frac{W_{motor}}{2}\right)}{A} = \frac{\left(\frac{19.9 \times 9.81}{2}\right)}{128t} = \frac{0.7626}{t} \text{ MPa}$$

El esfuerzo normal por tracción debido a la flexión es:

$$\sigma_t = \frac{M_f \times c_1}{I} = \frac{29.3 \times (10^3) \times (0.86 \times t + 68.93)}{9.47 \times t^3 - 1091.58 \times t^2 + 615568.18 \times t} = 0.716 \text{ Mpa}$$

El esfuerzo normal por compresión debido a la flexión es:

$$\sigma_c = \frac{M_f \times c_2}{I} = \frac{29.3 (10^3) \times (0.14 \times t + 105.07)}{9.47 \times t^3 - 1091.58 \times t^2 + 615568.18 \times t} = 0.716 \text{ Mpa}$$

El esfuerzo equivalente de Von Mises se determina con la Ec. (4.37).

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\left(\frac{29.3 \times (10^3) \times (0.14 \times t + 105.07)}{9.47 \times t^3 - 1091.58 \times t^2 + 615568.18 \times t}\right)^2 + 3 \times \left(\frac{0.7626}{t}\right)^2}$$

Para el diseño se considera un factor de seguridad de 2 para un acero ASTM A36, entonces reemplazando en la Ec. (4.38), se obtiene:

$$2 = \frac{250}{\sqrt{\left(\frac{29.3 \times (10^3) \times (0.14 \times t + 105.07)}{9.47 \times t^3 - 1091.58 \times t^2 + 615568.18 \times t}\right)^2 + 3 \times \left(\frac{0.7626}{t}\right)^2}}$$

$$t = 0.04 \text{ mm}$$

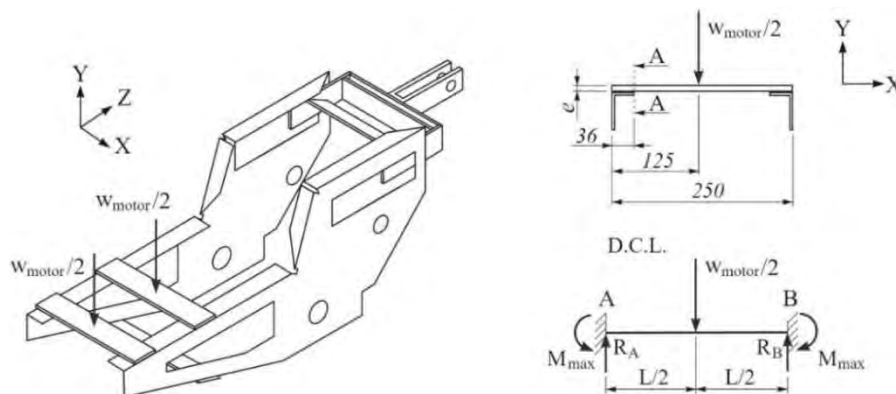
Entonces, se concluye que no existe un espesor realista de la plancha que, bajo la carga aplicada en la sección, permita alcanzar un factor de seguridad igual a 2.

La plancha consta de uniones soldadas y de acuerdo a la normativa AWS D1.1 existen valores mínimos para el espesor de la parte unida más delgada, por lo tanto, se optó por considerar una plancha de acero ASTM A36 de  $\frac{3}{16}$  pulg  $\approx 5 \text{ mm}$  (ver Anexo B.5).

#### 4.1.12.2 Espesor mínimo del travesaño del soporte del motor

**Figura 4.22**

*Diagrama de cuerpo libre del travesaño cargado por el motor*



*Nota:* la figura representa un diagrama de cuerpo libre. Donde;  $M_{max}$ : momentos flectores máximo,  $R_A$  y  $R_B$ : fuerzas de reacción,  $e$ : espesor del travesaño de soporte,  $L$ : distancia entre los dos empotrados del travesaño.

Se analizo la sección A-A del travesaño de soporte del motor y considerado como el punto de mayor carga, el motor es soportado por 2 travesaños paralelos que se encuentran unidos a las placas laterales mediante soldadura, por lo tanto, las cargas en cada travesaño es aproximadamente la mitad del peso del motor.

El travesaño es considerado como una viga doblemente empotrada con carga puntual en centro, los momentos flectores máximos se producen en los apoyos y en el centro y tienen la misma magnitud, pero de sentido contrario.

El momento flector máximo es:

$$M_{max} = \frac{\left(\frac{W_{motor}}{2}\right) \times L}{8} = \frac{\left(\frac{19.9 \times 9.81}{2}\right) \times (250 - 2 \times 36)}{8} = 2171.82 \text{ N} \times \text{mm}$$

Según la **Figura 4.22** las dimensiones de los componentes del bastidor o el ancho del perfil del travesaño es  $w = 50.8 \text{ mm}$ . El momento de inercia de la sección A-A es:

$$I = \frac{w \times e^3}{12} = \frac{50.8 \times e^3}{12} = 38.8 \times e^3 \text{ mm}^4$$

El esfuerzo normal por flexión es, donde la distancia desde el eje neutro a la fibra más alejada de la sección es  $c = \frac{e}{2}$ .

$$\sigma_F = \frac{M_{max} \times c}{I} = \frac{2.172 \times (10^3) \times \frac{e}{2}}{38.8 \times e^3} = \left(\frac{256.5}{e^2}\right) \text{ MPa}$$

Los esfuerzos máximos se producen en la parte inferior y superior de la sección A-A donde los esfuerzos cortantes son ceros. Para el diseño se consideró un factor de seguridad de 2 para un acero ASTM A36, entonces sustituyendo los valores en la Ec. (4.38), se obtiene.

$$2 = \frac{250}{\left(\frac{256.5}{e^2}\right)}$$

$$e = 1.43 \text{ mm}$$

Del catálogo seleccionamos una barra de perfil rectangular de acero ASTM A36, con un ancho  $w = 2 \text{ Pulg} \approx 50.8 \text{ mm}$ , y espesor  $e = \frac{1}{8} \text{ Pulg} \approx 3.17 \text{ mm}$  (ver **Anexo B.5**).

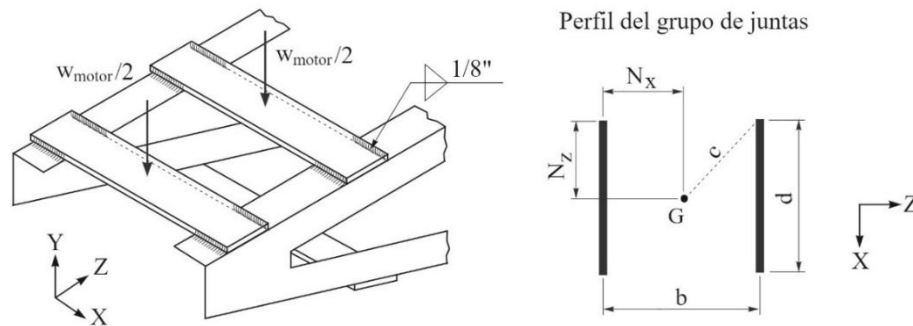
#### 4.1.12.3 Diseño de soldadura de los travesaños de soporte del motor

Según (Budynas & Nisbett, 2008) el tamaño del cordón de soldadura de filete " $h$ ", no debe exceder del espesor del material de la parte unida más delgada " $e$ ". El espesor de la parte unida más delgada corresponde al perfil rectangular del travesaño de soporte  $e = \frac{1}{8} \text{ pulg} \approx 3.17 \text{ mm}$ . De la tabla se selecciona el tamaño del cordón de soldadura de  $h = \frac{1}{8} \text{ pulg} \approx 3.17 \text{ mm}$  (ver **Anexo A.6**).

La **Figura 4.23** muestra la unión soldada entre el travesaño del motor y las planchas.

**Figura 4.23**

*Unión soldada entre el soporte del motor y las planchas laterales*



*Nota:* la figura representa las uniones soldadas. Donde;  $G$ : centro de gravedad del grupo de juntas,  $N_x$  y  $N_z$ : ubicación del centro de gravedad,  $b$  y  $d$ : longitudes de base y altura del grupo de juntas,  $c$ : distancia del centro de gravedad al punto más alejado del grupo de juntas.

Para calcular los esfuerzos en el cordón de soldadura se utilizó la tabla de propiedades del cordón de soldadura tratado como línea, según el perfil correspondiente al grupo de juntas (ver **Anexo A.13**). Las longitudes del perfil del grupo de juntas, para unir el travesaño y la plancha lateral son  $b = 50.8 \text{ mm}$  y  $d = 36 \text{ mm}$ , entonces.

La ubicación del centro de gravedad es:

$$N_x = \frac{b}{2} = \frac{50.8}{2} = 25.4 \text{ mm}$$

$$N_z = \frac{d}{2} = \frac{36}{2} = 18 \text{ mm}$$

La longitud del grupo de juntas es:

$$l = 2d = 2(36) = 72 \text{ mm}$$

Distancia del centroide al punto más alejado del grupo de juntas es:

$$c = \sqrt{N_x^2 + N_z^2} = \sqrt{25.4^2 + 18^2} = 31.13 \text{ mm}$$

El momento resistente unitario respecto al eje Z es:

$$Z_{wz} = \frac{d^2}{3} = \frac{36^2}{3} = 432 \text{ mm}^2$$

El momento por flexión producido por grupo de juntas es:

$$M_Z = \frac{\left(\frac{W_{motor}}{2}\right) \times L}{8} = \frac{\left(\frac{19.9 \times 9.81}{2}\right) \times (250 - 36)}{8} = 2611.054 \text{ N} \times \text{mm} = 2.611 \text{ N} \times \text{m}$$

El esfuerzo por compresión en la dirección de Y es:

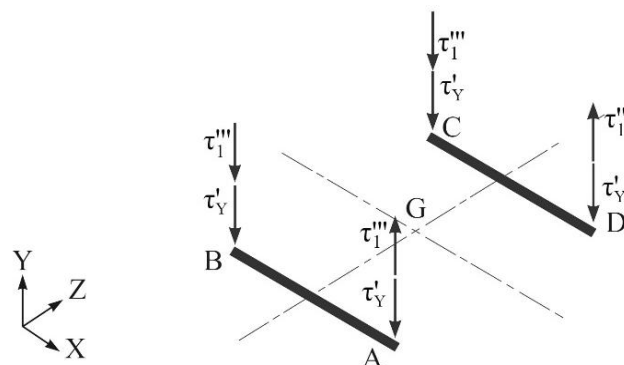
$$\tau'_Y = \frac{\frac{W_{motor}}{4}}{0.707 \times h \times l} = \frac{\frac{19.9 \times 9.81}{4}}{0.707 \times 3.17 \times 72} = 0.302 \text{ Mpa}$$

El esfuerzo por flexión respecto al eje Z es:

$$\tau'''_1 = \frac{M_Z}{0.707 \times h \times Z_{wz}} = \frac{2.611(10^3)}{0.707 \times 3.17 \times 432} = 2.697 \text{ Mpa}$$

**Figura 4.24**

*Distribución de esfuerzos sobre la junta de soldadura*



*Nota:* la figura representa la distribución de esfuerzos sobre la junta de soldadura del travesaño.

En la **Figura 4.24** se muestra la distribución de esfuerzos en las soldaduras entre el travesaño y la plancha lateral, permitiendo identificar las zonas de mayor sollicitación y verificar la resistencia y estabilidad de la unión estructural.

Según la **Figura 4.24** el punto de mayor carga es en “B”, el esfuerzo resultante es:

$$\tau_R = \tau'_Y + \tau'''_1 = 0.302 + 2.697 = 2.71 \text{ MPa}$$

De la tabla el esfuerzo permisible es  $0.3 S_{ut}$ , para carga cortante y soldadura de filete, el esfuerzo resultante no debe exceder al esfuerzo permisible (ver **Anexo A.7**), entonces:

$$\tau_R = 0.3 S_{ut}$$

Por lo tanto, la resistencia a la tensión del metal de aporte despejando es:

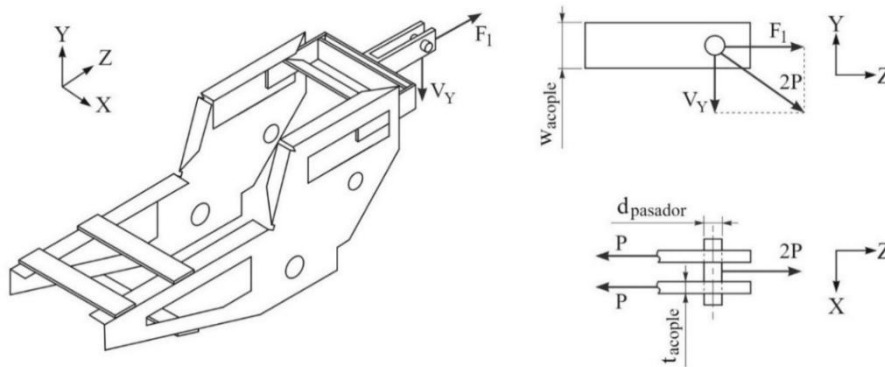
$$S_{ut} = \frac{\tau_R}{0.3} = \frac{2.71}{0.3} = 9.03 \text{ MPa}$$

Por lo tanto, de la tabla se selecciona un electrodo E6011, con una resistencia a la tensión  $S_{ut} = 427 \text{ MPa}$  (ver **Anexo A.8**).

#### 4.1.12.4 Espesor de las platinas del acople de los implementos

**Figura 4.25**

*Cargas producidas por el pasador de enganche sobre el acople del Multicurtor*



*Nota:* la figura representa las cargas sobre el acople. Donde;  $F_1$ : fuerza del pasador en la dirección de Z,  $V_Y$ : componente vertical de la fuerza del arado,  $P$ : carga resultante del pasador de enganche,  $w_{acople}$ : ancho del acople,  $t_{acople}$ : espesor del acople,  $d_{pasador}$ : diámetro del pasador de enganche.

Según a la **Figura 4.25** el acople de implementos es el elemento encargado de soportar directamente las cargas generadas durante la operación de los implementos. Este componente se conecta a la estructura principal mediante un pasador de enganche, permitiendo una unión segura y funcional durante el trabajo.

El esfuerzo por aplastamiento producido por el pasador sobre la superficie de contacto en el acople. para el diseño del arado se determino  $P = 8781.8 \text{ kN}$  y  $d_{pasador} = 12.7 \text{ mm}$ .

$$\sigma_b = \frac{P}{A} = \frac{P}{t_{acople} \times d_{pasador}} = \frac{8781.8}{t_{acople} \times 12.7} = \left( \frac{691.48}{t_{acople}} \right) MPa$$

Para el diseño se consideró un factor de seguridad de 2 para un acero ASTM A36, sustituyendo en la Ec. (4.38), se obtiene:

$$2 = \frac{250}{\left( \frac{691.48}{t_{acople}} \right)}$$

$$t_{acople} = 5.53 \text{ mm}$$

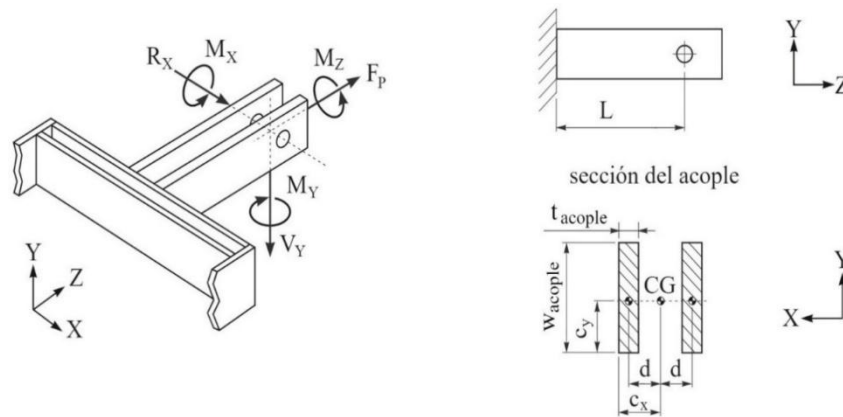
De la tabla del catálogo se selecciona una barra de perfil rectangular de acero ASTM A36 (ver **Anexo B.5**), con un ancho de  $w_{acople} = 2 \text{ Pulg} \approx 50.8 \text{ mm}$  y espesor de  $t_{acople} = \frac{3}{8} \text{ Pulg} \approx 9.52 \text{ mm}$ .

#### 4.1.12.5 Esfuerzos en la sección del acople de implementos

Para comprobar la resistencia del acople de implementos, se analiza la sección de unión entre el acople y el bastidor, ya que esta constituye la zona sometida como el punto de mayor carga durante la operación del Multicultor. En esta sección se verifican los esfuerzos generados por las cargas transmitidas por los implementos agrícolas, con el propósito de confirmar que el diseño posee la resistencia y rigidez necesarias para operar de manera segura, evitando deformaciones excesivas o fallas estructurales.

**Figura 4.26**

*Cargas actuantes sobre el acople producidas por el implemento de arado*



*Nota:* la figura representa las cargas en el acople. Donde;  $R_X, F_P, V_Y$ : fuerzas producidas por arado,  $M_X, M_Y$  y  $M_Z$ : momentos por flexión y por torsión producidas por el arado,  $L$ : distancia del punto de aplicación de las cargas al punto de análisis considerado como empotrado.

Los momentos producidos sobre la sección de unión del acople son:

$$M'_X = M_X - V_Y \times (L)$$

$$M'_Y = M_Y + R_X \times (L)$$

$$M'_Z = M_Z$$

En el cálculo de diseño del arado se obtuvieron los siguientes valores:  $M_X = 891615 \text{ N} \times \text{mm}$ ,  $M_Y = 141862.5 \text{ N} \times \text{mm}$ ,  $M_Z = 259973.75 \text{ N} \times \text{mm}$ ,  $R_X = 492 \text{ N}$ ,  $F_P = 2043 \text{ N}$ ,  $V_Y = 651.7 \text{ N}$

De la **Figura 4.26** las dimensiones de los componentes del bastidor se tienen  $L = (146 - 50) = 96 \text{ mm}$ . Entonces, sustituyendo los valores obtenemos:

$$M'_X = 891615 - 651.7 \times 96 = 829051.8 \text{ N} \times \text{mm}$$

$$M'_Y = 141862.5 + 492 \times 96 = 189094.5 \text{ N} \times \text{mm}$$

$$M'_Z = 259973.75 \text{ N} \times \text{mm}$$

El área de la sección de transversal de unión del acople es:

$$A = 2 \times (t_{acople} \times w_{acople}) = 2 \times (9.52 \times 50.8) = 967.232 \text{ mm}^2$$

El esfuerzo normal por carga axial es:

$$\sigma'_n = \frac{F_P}{A} = \frac{2043}{967.232} = 2.11 \text{ MPa}$$

El esfuerzo normal por flexión respecto a  $X$  es:

$$\sigma'_{F/X} = \frac{M'_X \times C_y}{I_X} \quad \text{Ec. (4.49)}$$

El momento de inercia de la sección compuesta con respecto a  $X$ . Donde la distancia vertical del centro de gravedad de las figuras que componen la sección, al centro de gravedad de la sección compuesta, cuando  $d_x = 0$ , entonces.

$$I_X = 2 \times \left( \frac{t_{acople} \times w_{acople}^3}{12} + \frac{A}{2} \times d_x^2 \right) = 2 \times \left( \frac{9.52 \times 50.8^3}{12} \right) = 208006.47 \text{ mm}^4$$

La distancia del eje neutro en  $X$ , a la fibra más alejada de la sección es:

$$c_y = \frac{w_{acople}}{2} = \frac{50.8}{2} = 25.4 \text{ mm}$$

Entonces, reemplazando los valores en la Ec. (4.49), se tiene:

$$\sigma'_{F/X} = \frac{829051.8 \times 25.4}{208006.47} = 101.24 \text{ MPa}$$

La distancia horizontal del centro de gravedad de las figuras que componen la sección, al centro de gravedad de la sección compuesta respecto a  $Y$ :

$$d = \left( \frac{t_{acople} + 12.7}{2} \right) = \left( \frac{9.52 + 12.7}{2} \right) = 11.11 \text{ mm}$$

El momento de inercia de la sección compuesta con respecto a  $Y$  es:

$$I_Y = 2 \times \left( \frac{t_{acople} \times w_{acople}^3}{12} + \frac{A}{2} \times d_y^2 \right)$$

$$I_Y = 2 \times \left( \frac{50.8 \times 9.52^3}{12} + \frac{967.232}{2} \times 11.11^2 \right) = 126692.523 \text{ mm}^4$$

La distancia del eje neutro en  $Y$ , a la fibra más alejada de la sección es:

$$c_x = \left( \frac{12.7}{2} \right) + t_{acople} = \left( \frac{12.7}{2} \right) + 9.52 = 15.87 \text{ mm}$$

Entonces, reemplazando los valores en la Ec. (4.49) respecto a Y, se tiene:

$$\sigma'_{F/Y} = \frac{189094.5 \times 15.87}{126692.523} = 23.68 \text{ MPa}$$

El esfuerzo cortante promedio debido a carga transversal en dirección de X es:

$$\tau'_{prom/X} = \frac{R_X}{A} = \frac{492}{967.232} = 0.51 \text{ Mpa}$$

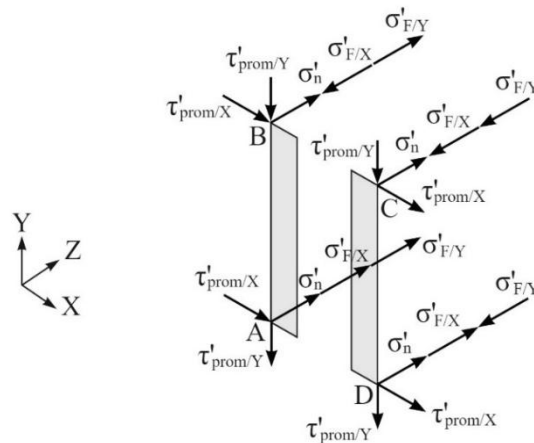
El esfuerzo cortante promedio debido a carga transversal en dirección de Y es:

$$\tau'_{prom/Y} = \frac{R_Y}{A} = \frac{651.7}{967.232} = 0.67 \text{ Mpa}$$

La **Figura 4.27** muestra la distribución de cargas en la unión del acople, evidenciando la transmisión de fuerzas y momentos entre los elementos conectados.

**Figura 4.27**

*Distribución de cargas sobre la sección de unión del acople*



*Nota:* la figura representa la distribución de cargas sobre la sección de unión del acople.

El punto de mayor carga es en “A”, el esfuerzo normal es:

$$\sigma = \sigma'_n + \sigma'_{F/X} + \sigma'_{F/Y} = 2.11 + 101.4 + 23.68 = 127.2 \text{ MPa}$$

El esfuerzo cortante en el punto “A” es:

$$\tau = \sqrt{(\tau'_{prom/X})^2 + (\tau'_{prom/Y})^2} = \sqrt{0.51^2 + 0.76^2} = 0.915 \text{ MPa}$$

El esfuerzo equivalente de Von Mises se determina con la Ec. (4.37).

$$\sigma_{eq} = \sqrt{127.2^2 + 3 \times (0.915)^2} = 127.21 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad se determina sustituyendo los valores en la Ec. (4.38).

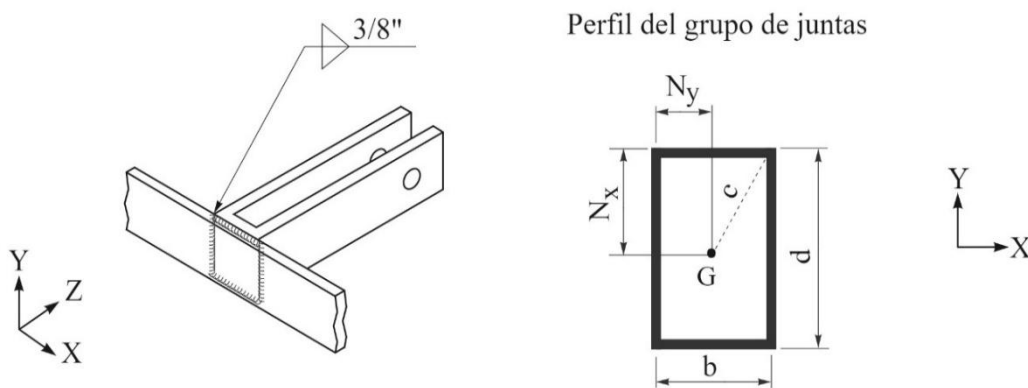
$$FS = \frac{250}{127.21} = 1.9$$

Por lo tanto, se concluye que el material del acople posee la resistencia suficiente para soportar las cargas aplicadas, por lo que el acople no presentara falla por resistencia durante su funcionamiento.

#### 4.1.12.6 Diseño de soldadura del acople de implementos

**Figura 4.28**

*Unión soldada entre el brazo de soporte y el travesaño*



*Nota:* la figura representa la unión soldada entre el brazo de soporte y el travesaño. Donde;  $G$ : centro de gravedad del grupo de juntas,  $N_x$  y  $N_y$ : ubicación del centro de gravedad,  $b$  y  $d$ : longitudes de base y altura del grupo de juntas,  $c$ : distancia del centro de gravedad al punto más alejado del grupo de juntas.

El espesor de la parte unida más delgada corresponde al espesor de la platina del acople  $t_{acople} = 9.52 \text{ mm}$ . De la tabla se selecciona el tamaño del cordón de soldadura  $h = \frac{3}{8} \text{ pulg}$  (9.52 mm) (ver **Anexo A.6**).

Para calcular los esfuerzos en el cordón de soldadura se utiliza la tabla de propiedades del cordón de soldadura tratado como línea (ver **Anexo A.13**), según el perfil correspondiente al grupo de juntas. Las longitudes del perfil del grupo de juntas, para la platina del acople de implementos son de  $d = 50.8 \text{ mm}$  y  $b = 31.74 \text{ mm}$ .

La ubicación del centro de gravedad:

$$N_x = \frac{d}{2} = \frac{50.8}{2} = 25.4 \text{ mm}$$

$$N_y = \frac{b}{2} = \frac{31.74}{2} = 15.87 \text{ mm}$$

La longitud del grupo de juntas:

$$l = 2 \times (b + d) = 2 \times (31.74 + 50.8) = 165.08 \text{ mm}$$

La distancia del centroide al punto más alejado del grupo de juntas es:

$$c = \sqrt{N_x^2 + N_y^2} = \sqrt{25.4^2 + 15.87^2} = 27.72 \text{ mm}$$

El momento resistente unitario respecto al eje X es:

$$Z_{wx} = b \times d + \frac{d^2}{3} = 31.74 \times 50.8 + \frac{50.8^2}{3} = 2472.6 \text{ mm}^2$$

El momento resistente unitario respecto al eje Y es:

$$Z_{wy} = b \times d + \frac{b^2}{3} = 31.74 \times 50.8 + \frac{31.74^2}{3} = 1948.2 \text{ mm}^2$$

El momento de inercia de área polar unitario es:

$$J_w = \frac{(b + d)^3}{6} = \frac{(31.74 + 50.8)^3}{6} = 93722.12 \text{ mm}^3$$

El esfuerzo cortante en la dirección de X:

$$\tau'_x = \frac{R_x}{0.707 \times h \times l} = \frac{492}{0.707 \times 9.52 \times 165.08} = 0.44 \text{ Mpa}$$

El esfuerzo cortante en la dirección de Y:

$$\tau'_y = \frac{V_y}{0.707 \times h \times l} = \frac{651.7}{0.707 \times 9.52 \times 165.08} = 0.586 \text{ Mpa}$$

El esfuerzo por tracción en la dirección de Z:

$$\tau'_z = \frac{F_p}{0.707 \times h \times l} = \frac{2043}{0.707 \times 9.52 \times 165.08} = 1.84 \text{ Mpa}$$

El esfuerzo por torsión es: cuando  $M'_z = 259973.75 \text{ N} \times \text{mm}$ .

$$\tau'' = \frac{M'_Z \times c}{0.707 \times h \times J_w} = \frac{259973.75 \times 29.95}{0.707 \times 9.52 \times 93722.12} = 12.34 \text{ Mpa}$$

El esfuerzo por flexión respecto al eje X es:

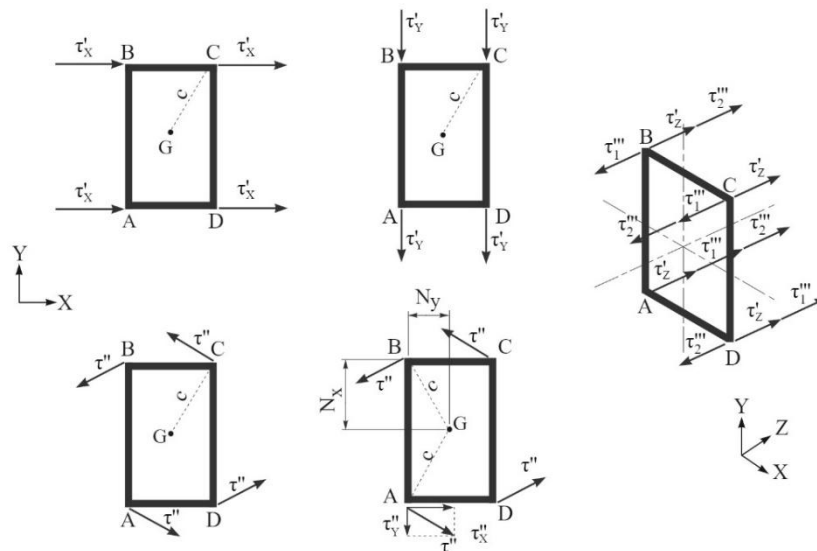
$$\tau'''_1 = \frac{M'_X}{0.707 \times h \times Z_{wx}} = \frac{829051.8}{0.707 \times 9.52 \times 2472.6} = 49.81 \text{ Mpa}$$

El esfuerzo por flexión respecto al eje Y es:

$$\tau'''_2 = \frac{M'_Y}{0.707 \times h \times Z_{wy}} = \frac{189094.5}{0.707 \times 9.52 \times 1948.2} = 14.42 \text{ Mpa}$$

**Figura 4.29**

*Distribución de esfuerzos sobre la junta de la platina del acople*



*Nota:* la figura representa la distribución de esfuerzos sobre la junta de la platina del acople.

En la **Figura 4.29** se muestra la distribución de esfuerzos en la junta del acople, muestra cómo las fuerzas y cargas se transmiten a través de la unión.

Los componentes del esfuerzo por torsión son:

$$\tau''_x = \frac{\tau'' \times N_x}{c} = \frac{12.34 \times 25.4}{29.95} = 10.46 \text{ Mpa}$$

$$\tau''_y = \frac{\tau'' \times N_y}{c_c} = \frac{12.34 \times 15.87}{29.95} = 6.54 \text{ Mpa}$$

El punto de mayor carga es en “A”, el esfuerzo resultante es:

$$\tau_R = \sqrt{\tau_X^2 + \tau_Y^2 + \tau_Z^2} = \sqrt{(\tau'_X + \tau''_X)^2 + (\tau'_Y + \tau''_Y)^2 + (\tau'_Z + \tau'''_1 + \tau'''_2)^2}$$

$$\tau_R = \sqrt{(0.443 + 10.46)^2 + (0.586 + 6.54)^2 + (1.84 + 49.81 + 14.2)^2} = 67.126 \text{ MPa}$$

De la tabla el esfuerzo permisible es  $0.3 S_{ut}$ , para carga cortante y soldadura de filete, el esfuerzo resultante no debe exceder al esfuerzo permisible (ver **Anexo A.7**), entonces:

$$\tau_R = 0.3 S_{ut}$$

Por lo tanto, la resistencia a la tensión del metal de aporte es:

$$S_{ut} = \frac{\tau_R}{0.3} = \frac{67.126}{0.3} = 223.75 \text{ MPa}$$

Por lo tanto, de la tabla se selecciona un electrodo E6011, con una resistencia a la tensión  $S_{ut} = 427 \text{ MPa}$  (ver **Anexo A.8**).

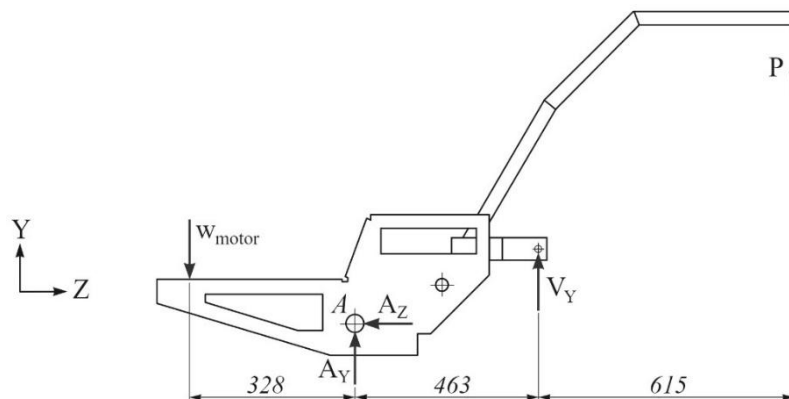
#### 4.1.13 Diseño del manubrio del Multicultor

El manubrio es un elemento de control que el operador utiliza para guiar y accionar la máquina. El diseño busca comodidad, seguridad y de garantizar que el manubrio resista las fuerzas aplicadas de manera eficiente.

##### 4.1.13.1 Esfuerzos en el manubrio del Multicultor

**Figura 4.30**

*Cargas externas que actúan sobre el bastidor y el manubrio*



*Nota:* la figura representa las cargas externas sobre el bastidor y el manubrio. Donde;  $d_1$ ,  $d_2$  y  $d_3$ : distancias del punto de aplicación de las cargas externas, al punto “A” del bastidor,  $V_Y$ : fuerza vertical del aporcador,  $P$ : fuerza aplicada al manubrio.

La **Figura 4.30** muestra las cargas externas que actúan sobre el bastidor y el manubrio corresponden a las fuerzas generadas durante la operación del equipo, como el peso de los componentes, peso del motor, la fuerza de tracción y las fuerzas aplicadas por el operador. Estas cargas influyen en el comportamiento estructural del sistema y deben considerarse para garantizar su resistencia y estabilidad.

Según la **Figura 4.30** determinamos la fuerza aplicada al manubrio.

$$\sum M_A = 0; (+\odot)$$

$$w_{motor} \times d_1 + V_Y \times d_2 - P \times d_3 = 0$$

$$195.22 \times 328 + 651.7 \times 463 - P \times (463 + 615) = 0$$

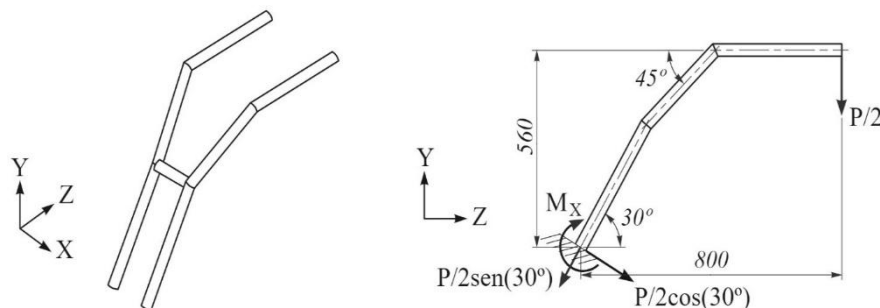
$$P = 339.31 \text{ N}$$

Según al catálogo para el manubrio se utiliza un tubo de acero ASTM A500, con un diámetro exterior de  $D_e = 33.7 \text{ mm}$ , espesor  $t = 3 \text{ mm}$  y de límite de fluencia de  $S_y = 230 \text{ MPa}$  (ver **Anexo B.6**).

Para comprobar la resistencia del manubrio se analizó la sección tubular de la base del manubrio, existen dos secciones tubulares unidas al batidor mediante soldadura, por lo tanto, la cargas en cada sección es aproximadamente la mitad de la carga aplicada.

### Figura 4.31

*Diagrama de cuerpo libre del manubrio*



*Nota:* la figura representa diagrama el cuerpo libre del manubrio.

El momento flector sobre la sección de la base del manubrio, cuando la distancia del punto de aplicación de la fuerza a la base del manubrio, es  $Z_1 = 800 \text{ mm}$ , entonces:

$$M_X = \left(\frac{P}{2}\right) \times Z_1 = \left(\frac{339.31}{2}\right) \times 800 = 135724 \text{ N} \times \text{mm}$$

El momento de inercia de la sección de la base del manubrio, cuando el diámetro interior, cuando  $d_i = (D - t) = 30.7 \text{ mm}$ , entonces:

$$I = \frac{\pi \times (D^4 - d_i^4)}{64} = \frac{\pi \times (33.7^4 - 30.7^4)}{64} = 19708.8 \text{ mm}^4$$

El esfuerzo normal por flexión es, cuando la distancia desde el eje neutro a la fibra más alejada de la sección, es  $c = \frac{D}{2} = 16.85 \text{ mm}$ , entonces:

$$\sigma_F = \frac{M_X \times c}{I} = \frac{135724 \times 16.85}{19708.8} = 116.04 \text{ MPa}$$

El esfuerzo normal por carga axial es:

$$\sigma_n = \frac{\left(\frac{P}{2}\right) \times \sin(30^\circ)}{A}$$

El área de la sección es:

$$A = \frac{\pi \times (D^2 - d_i^2)}{4} = 151.74 \text{ mm}^2$$

Entonces:

$$\sigma_n = \frac{\left(\frac{339.31}{2}\right) \times \sin(30^\circ)}{151.74} = 0.56 \text{ MPa}$$

El esfuerzo cortante promedio debido a carga transversal es:

$$\tau_{prom} = \frac{\left(\frac{P}{2}\right) \times \cos(30^\circ)}{A} = \frac{\left(\frac{339.31}{2}\right) \times \cos(30^\circ)}{151.74} = 0.97 \text{ MPa}$$

El esfuerzo normal en la sección es:

$$\sigma = \sigma_n + \sigma_F = 0.56 + 116.04 = 116.6 \text{ MPa}$$

El esfuerzo cortante en la sección es:

$$\tau = \tau_{prom} = 0.97 \text{ MPa}$$

Entonces, el esfuerzo equivalente de Von Mises se determina con la Ec. (4.37).

$$\sigma_{eq} = \sqrt{(116.6)^2 + 3(0.97)^2} = 116.61 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad se determina reemplazando los valores en la Ec. (4.38).

$$FS = \frac{230}{116.61} = 1.9$$

Por lo tanto, se concluye que el material del manubrio presenta la resistencia suficiente para soportar las cargas aplicadas, por lo que no se produce falla por resistencia durante su funcionamiento.

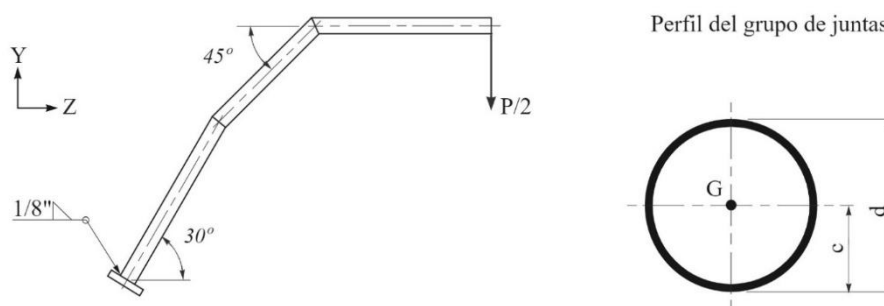
#### 4.1.13.2 Diseño de soldadura del manubrio

El espesor de la parte unida más delgada corresponde al espesor del tubo del manubrio  $t = 3 \text{ mm}$ . De la tabla se selecciona el tamaño del cordón de soldadura  $h = \frac{1}{8} \text{ pulg} \approx 3.17 \text{ mm}$  (ver **Anexo A.6**).

La **Figura 4.32** muestra unión soldada entre el manubrio y el bastidor que permite unir de forma permanente ambos elementos y transmitir esfuerzos, flexión y corte que se debe diseñarse para asegurar resistencia, rigidez y durabilidad del conjunto.

**Figura 4.32**

*Unión soldada entre el manubrio y el bastidor*



*Nota:* la figura representa uniones soldadas del manubrio. Donde;  $G$ : centro de gravedad de la junta,  $d$ : diámetro del perfil de la junta,  $c$ : distancia del centro de gravedad al punto más alejado.

Para calcular los esfuerzos en el cordón de soldadura se utiliza la tabla propiedades del cordón de soldadura tratado como línea (ver **Anexo A.13**), según el perfil correspondiente al grupo de juntas. El diámetro del perfil de la junta es  $d = 33.7 \text{ mm}$  y la longitud de la junta es:

$$l = \pi \times d = \pi \times 33.7 = 105.87 \text{ mm}$$

La distancia del centroide al punto más alejado del grupo de juntas es:

$$c = \frac{d}{2} = \frac{33.7}{2} = 16.85 \text{ mm}$$

El momento resistente unitario es:

$$Z_w = \frac{\pi \times d^2}{4} = \frac{\pi \times 33.7^2}{4} = 891.87 \text{ mm}^2$$

El esfuerzo cortante es:

$$\tau'_1 = \frac{\left(\frac{P}{2}\right) \times \cos(30^\circ)}{0.707 \times h \times l} = \frac{\left(\frac{339.31}{2}\right) \times \cos(30^\circ)}{0.707 \times 3.17 \times 105.87} = 0.62 \text{ Mpa}$$

El esfuerzo por tracción es:

$$\tau'_2 = \frac{\left(\frac{P}{2}\right) \times \sin(30^\circ)}{0.707 \times h \times l} = \frac{\left(\frac{339.31}{2}\right) \times \sin(30^\circ)}{0.707 \times 3.17 \times 105.87} = 0.36 \text{ Mpa}$$

El esfuerzo por flexión es:

$$\tau''' = \frac{M_X}{0.707 \times h \times Z_w} = \frac{135724}{0.707 \times 3.17 \times 891.87} = 67.9 \text{ Mpa}$$

El esfuerzo resultante es:

$$\tau_R = \sqrt{(\tau'_1)^2 + (\tau'_2 + \tau''')^2} = \sqrt{(0.62)^2 + (0.36 + 67.9)^2} = 68.26 \text{ MPa}$$

De la tabla el esfuerzo permisible es  $0.3 S_{ut}$ , para carga cortante y soldadura de filete, el esfuerzo resultante no debe exceder al esfuerzo permisible (ver **Anexo A.7**), entonces:

$$\tau_R = 0.3 S_{ut}$$

Por lo tanto, la resistencia a la tensión del metal de aporte es:

$$S_{ut} = \frac{\tau_R}{0.3} = \frac{68.26}{0.3} = 227.53 \text{ MPa}$$

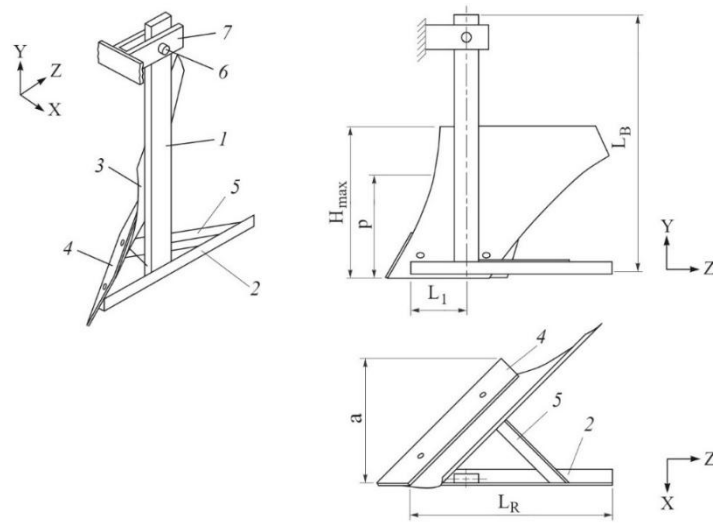
Por lo tanto, de la tabla se selecciona un electrodo E6011, con una resistencia a la tensión  $S_{ut} = 427 \text{ MPa}$  (ver **Anexo A.8**).

## 4.2 Diseño de los componentes del arado de vertedera

En el diseño de los elementos del arado de vertedera, la resistencia del suelo depende de factores como tipo de suelo, profundidad, ancho de trabajo, velocidad y geometría, los cuales determinan el esfuerzo requerido y el desempeño del implemento.

**Figura 4.33**

*Partes del arado vertedera*



*Nota:* la figura representa las partes más importantes del arado de vertedera. Donde; 1 brazo del arado, 2 resguardador, 3 vertedera, 4 cuchilla, 5 soporte del resguardador, 6 pasador de enganche, 7 acople de herramientas del Multicultor,  $p$ : profundidad de trabajo,  $a$ : ancho de trabajo,  $H_{max}$ : altura de la vertedera,  $L_B$ : longitud del brazo,  $L_1$ : distancia del brazo al extremo del resguardador,  $L_R$ : longitud del resguardador.

En la labranza, existe una relación entre el ancho y la profundidad de trabajo que debe cumplirse para asegurar el volteo adecuado del suelo, estableciéndose el ancho dentro de los siguientes límites:

$$a = 1.3 p - 1.77p \quad \text{Ec. (4.50)}$$

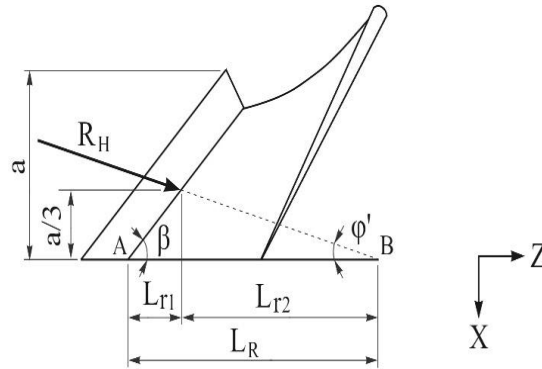
La profundidad de trabajo requerida para el arado es de  $p = 200 \text{ mm}$ . Tomando un valor medio de la Ec. (4.50), el ancho de trabajo queda definido de la siguiente manera:

$$a = 1.5 p = 1.5(200) = 300 \text{ mm}$$

Según la **Figura 4.34** la longitud del resguardador corresponde a  $AB = L_R$ , donde el punto “A” representa la unión entre la reja y la vertedera, mientras que el punto “B” se ubica sobre la prolongación de la resultante horizontal de las fuerzas que actúan sobre el arado.

**Figura 4.34**

*Longitud del resguardador*



*Nota:* la figura representa la longitud del resguardador. Donde;  $R_H$ : Fuerza resultante horizontal,  $\varphi'$ : ángulo entre la línea directriz de la fuerza y el resguardador,  $\beta$ : ángulo de ataque del arado.

La acción de la fuerza resultante horizontal, actúa a una distancia de  $\frac{1}{3}$  del ancho de trabajo y a  $\frac{1}{3}$  de la profundidad, entonces:

La longitud del resguardador se determina con la ecuación siguiente:

$$L_R = L_{r1} + L_{r2}$$

Según (Gonzalez Jaramillo, 1986) para suelos francos se tiene  $\varphi' = 15^\circ$  y  $\beta = 45^\circ$ .

$$L_{r1} = \frac{a}{3} \times \left( \frac{1}{\tan \beta} \right) = \frac{300}{3} \times \left( \frac{1}{\tan 45^\circ} \right) = 100 \text{ mm}$$

$$L_{r2} = \frac{a}{3} \times \left( \frac{1}{\tan \varphi'} \right) = \frac{300}{3} \times \left( \frac{1}{\tan 15^\circ} \right) = 373 \text{ mm}$$

La longitud del resguardador resulta reemplazando los valores en la ecuación anterior.

$$L_R = 100 + 373 = 473 \text{ mm}$$

Según (Gonzalez Jaramillo, 1986) la altura máxima de la vertedera necesaria para el volteo de tierra es:

$$H_{max} = \sqrt{a^2 + p^2} = \sqrt{300^2 + 200^2} = 361 \text{ mm}$$

### Materiales para el diseño del arado

Los materiales del arado se seleccionan por su resistencia y durabilidad. Se utilizan aceros estructurales para el bastidor y soportes, y aceros de mayor dureza para la reja y la vertedera. A continuación, se presentan los materiales seleccionados:

Para el brazo del arado se utiliza una barra de perfil rectangular de acero ASTM A36, con un ancho  $w = 3 \text{ Pulg} \approx 76.2 \text{ mm}$ , y espesor  $t = \frac{1}{2} \text{ Pulg} \approx 12.7 \text{ mm}$  (ver **Anexo B.5**).

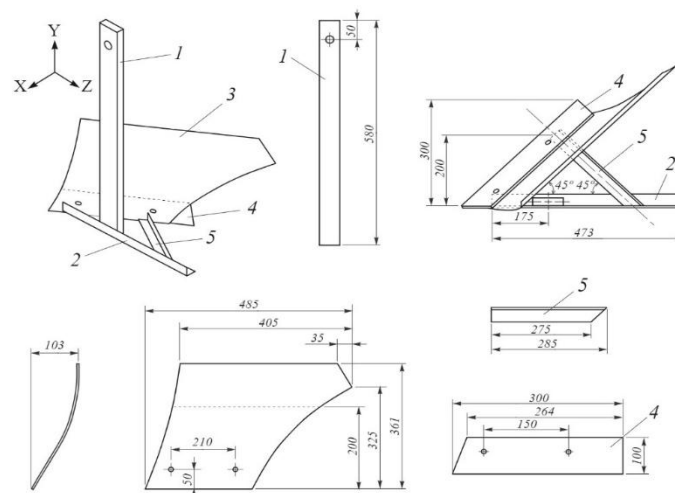
Para el resguardador y su soporte se utiliza un perfil angular de acero ASTM A36 con una longitud de ala de  $L = 25 \text{ mm}$ , y espesor de  $e = 3 \text{ mm}$ , (ver **Anexo B.7**).

Para la vertedera se utiliza una lámina de acero ASTM A36 de  $e = 3 \text{ mm}$  de espesor (ver **Anexo B.4**).

Para la cuchilla se utiliza una plancha anti desgaste de acero ASTM A653 de  $e = \frac{1}{4} \text{ pulg} \approx 6.35 \text{ mm}$  de espesor (ver **Anexo B.8**).

**Figura 4.35**

*Dimensiones de los componentes del arado de vertedera*



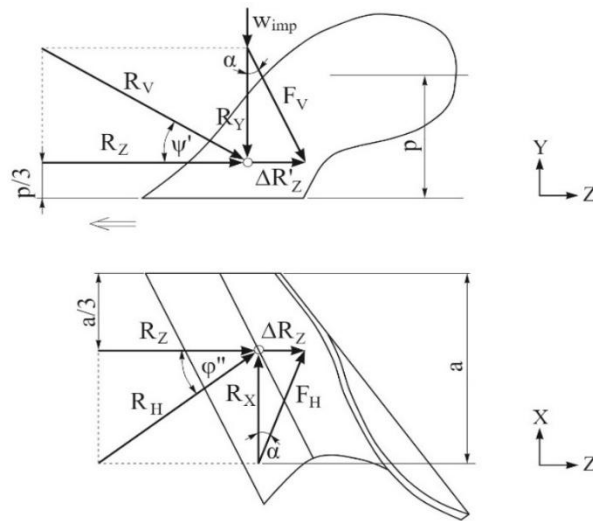
*Nota:* la figura representa las dimensiones del arado de vertedera.

En la **Figura 4.35** se muestra las dimensiones de los componentes del arado de vertedera corresponden a las medidas establecidas para cada una de sus partes principales, como la vertedera, la reja y el bastidor. Estas dimensiones se determinan según los requerimientos de trabajo del suelo, con el fin de asegurar un adecuado volteo de la tierra y un funcionamiento eficiente del implemento.

#### 4.2.1 Fuerzas que compone el arado de vertedera

**Figura 4.36**

*Fuerzas del arado vertedera*



*Nota:* la figura representa las fuerzas del arado vertedera.

Según a la **Figura 4.36** se determinan las fuerzas como lateral y vertical, entonces:

La fuerza lateral es:

$$R_X = R_H \times \text{sen}\varphi'' = R_Z \times \tan\varphi''$$

La fuerza vertical es:

$$R_Y = R_V \times \text{sen}\psi' = R_Z \times \tan\psi'$$

La componente longitudinal debido al rozamiento provocado por  $R_X$  es:

$$\Delta R_Z = f \times R_X = f \times R_Z \tan\varphi''$$

La componente longitudinal debido al rozamiento provocado por  $R_Y$  es:

$$\Delta R'_Z = f \times R_Y = f \times R_Z \tan\psi'$$

Donde:  $\varphi''$  es el ángulo de ubicación de la resultante  $R_H$  en el plano horizontal, cuyo valor generalmente varía entre  $11^\circ$  y  $22^\circ$ . Asimismo,  $\psi'$  representa el ángulo de ubicación de la resultante  $R_V$  en el plano vertical, con valores comprendidos entre  $15^\circ$  y  $22^\circ$ .

El coeficiente de fricción esta dado por  $f = \tan \phi_1$  y  $\phi_1$  es el ángulo de fricción interna suelo-metal. Para superficies oxidadas, este ángulo suele variar entre  $15^\circ$  y  $25^\circ$ . mientras que en implementos pulidos o lustrados puede reducirse a valores entre  $5^\circ$  y  $10^\circ$ .

Tomando los valores medios se tiene de  $\phi_1 = 20^\circ$ ,  $f = 0.36$ ,  $\varphi'' = 16.5^\circ$  y  $\psi' = 18.5^\circ$  y la fuerza longitudinal o la fuerza de tiro es:

$$F_p = R_Z + \Delta R_Z + \Delta R'_Z$$

$$F_p = R_Z + f \times R_Z \tan \varphi'' + f \times R_Z \tan \psi'$$

$$F_p = R_Z + 0.36 \times \tan(16.5^\circ) R_Z + 0.36 \times \tan(18.5^\circ) \times R_Z$$

$$F_p = 1.23 \times R_Z$$

La fuerza de tiro del Multicultor es  $F_p = 2043 \text{ N}$ , reemplazando en la ecuación anterior se obtiene la componente de la fuerza en la dirección de  $Z$ .

$$R_Z = 1661 \text{ N}$$

La fuerza vertical total es:

$$V_Y = R_Y + W_{imp}$$

$$V_Y = R_Z \times \tan \psi' + W_{imp}$$

En la **Tabla 4.19** el peso teórico de los componentes del arado se determina a partir del volumen de cada elemento y la densidad del material. Este cálculo permite estimar la masa total del implemento y evaluar su impacto en la estabilidad y esfuerzo del Multicultor.

**Tabla 4.19***Peso teórico de los componentes del arado*

| Cantidad        | Descripción                              | Dimensión             | Peso Unitario            | Peso Total (kg) |
|-----------------|------------------------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------|
| 1               | Barra rectangular (brazo del arado)      | 0.58 m                | 7.60 kg/m                | 4.408           |
| 1               | Barra angular (resguardador)             | 0.473 m               | 1.11 kg/m                | 0.525           |
| 1               | Barra angular (soporte del resguardador) | 0.283 m               | 1.11 kg/m                | 0.314           |
| 1               | Lamina de Acero (Vertedera)              | 0.1083 m <sup>2</sup> | 22.55 kg/ m <sup>2</sup> | 2.442           |
| 1               | Plancha anti desgaste (cuchillas)        | 0.042 m <sup>2</sup>  | 49.78 kg/ m <sup>2</sup> | 2.09            |
| PESO TOTAL (Σ): |                                          |                       |                          | 9.78 kg         |

*Nota:* la tabla representa el peso teórico de los componentes del arado en kg.

Entonces, reemplazando los valores, la fuerza vertical total es:

$$V_Y = 1661 \times \tan(18.5^\circ) + (9.78 \times 9.81) = 651.7 \text{ N}$$

La fuerza de reacción lateral es:

$$R_X = R_Z \times \tan\varphi'' = 1661 \times \tan(16.5^\circ) = 492 \text{ N}$$

### **Tiempo de vida útil en vertedera**

Según (Gonzalez Jaramillo, 1986) en vertedera, el contacto y deslizamiento entre el suelo y la superficie generan desgaste por desprendimiento de partículas. Para estimar el desgaste producido, se emplea la siguiente ecuación:

$$V_d = \frac{K \times F \times v}{P_f'} \quad \text{Ec. (4.51)}$$

Donde;  $V_d$ : volumen desgastado por segundo,  $K$ : coeficiente de desgaste adimensional que depende del tipo de suelo y el contenido de partículas abrasivas,  $v$ : velocidad relativa entre el suelo y la herramienta,  $P_f'$ : presión de flujo o dureza del material bajo condiciones de deslizamiento abrasivo ( $Pa$ ).

El coeficiente de fricción según la tabla es  $K = 5 \times 10^{-6} Pa$ , para un terreno que presenta un nivel abrasivo promedio (ver **Anexo A.3**).

Considerando que el flujo de presión  $P_f'$  es de  $3S_y$ , el límite de fluencia  $S_y$  para el acero ASTM A36 es  $250 MPa$ , entonces:

La velocidad relativa entre el suelo y la herramienta es  $1.25 \frac{m}{s}$ . Teniendo la fuerza de tiro  $F = F_p = 2043 N$  al reemplazar en la Ec. (4.51), se obtiene:

$$V_d = \frac{5 \times 10^{-6} \times 2043 \times 1.25 \times 10^3}{3 \times 250} = 0.017025 \frac{mm^3}{s}$$

El área de la vertedera es  $a$ : ancho de trabajo por  $H_{max}$  altura de la vertedera:

$$A_{vertedera} = a \times H_{max} = (0.3 \times 10^3)(0.361 \times 10^3) = 108300 mm^2$$

Considerando el espesor de la vertedera de  $3 mm$ , el volumen de la vertedera es:

$$V = A_{vertedera} \times espesor = 108300 \times 3 = 324900 mm^3$$

El tiempo de vida útil de la vertedera es:

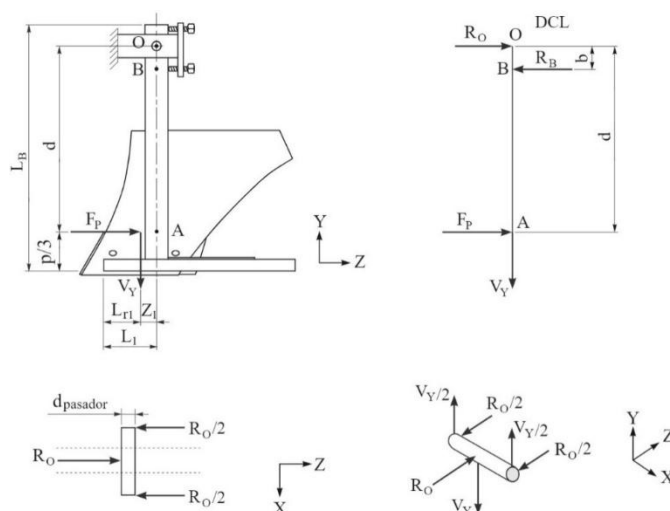
$$t_{vida} = \frac{V}{V_d} = \frac{324900}{0.017025} = 1.9083 \times 10^7 s = 5301 horas$$

#### 4.2.2 Diseño Estructural del arado

La **Figura 4.37** muestra que el pasador de enganche genera esfuerzos de corte, los cuales deben analizarse para garantizar su resistencia.

**Figura 4.37**

*Cargas que actúan sobre el pasador de enganche*



*Nota:* la figura muestra cargas sobre el pasador. Donde;  $R_O$  y  $R_B$ : fuerzas de reacción en el brazo del arado,  $d$  y  $Z_1$ : distancias del punto "O" (ubicación del pasador) al punto de aplicación de la fuerza,  $d_{pasador}$ : diámetro del pasador de enganche.

Según **Figura 4.37** calculamos las distancias del punto "O" al punto de aplicación de la fuerza, entonces:

$$d = L_B - 50 - \frac{p}{3} = 580 - 50 - \frac{200}{3} = 463.3 \text{ mm}$$

Según la **Figura 4.35** se tiene  $L_1 = 175 \text{ mm}$  y calculando anteriormente  $L_{r1} = 100 \text{ mm}$ , se tiene:

$$Z_1 = L_1 - L_{r1} = 175 - 100 = 75 \text{ mm}$$

Determinamos las reacciones sobre el brazo del arado, considerando  $b = 50.8 \text{ mm}$ .

Utilizando las ecuaciones de equilibrio se tiene:

$$\sum M_O = 0; (+\curvearrowright)$$

$$d \times (F_P) + Z_1 \times (V_Y) - b \times (R_B) = 0$$

$$463.3 \times (2043) + 75 \times (651.7) - (50.8) \times R_B = 0$$

$$R_B = 19594.5 \text{ N}$$

$$\sum F_Z = 0; (+\rightarrow)$$

$$F_P - R_B + R_O = 0$$

$$2043 - 19594.5 + R_O = 0$$

$$R_O = 17551.5 \text{ N}$$

La fuerza de corte resultante sobre la sección del pasador es:

$$P = \sqrt{\left(\frac{R_O}{2}\right)^2 + \left(\frac{V_Y}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{17551.5}{2}\right)^2 + \left(\frac{651.7}{2}\right)^2} = 8781.8 \text{ N}$$

Para el pasador de enganche se utiliza una barra de sección circular de acero AISI 1045  $S_y = 340 \text{ MPa}$ . Según (Ortiz Berrocal, 1998) el límite de fluencia al cortante según el criterio de Von Mises resulta:

$$S_{sy} = 0.577 \times S_y \quad \text{Ec. (4.52)}$$

Donde;  $S_{sy}$ : límite de fluencia al cortante,  $S_y$ : límite de fluencia.

Entonces, reemplazando los valores en la Ec. (4.52), se obtiene:

$$S_{sy} = 0.577 \times 340 = 196.2 \text{ MPa}$$

Esfuerzo cortante máximo sobre la sección del pasador:

$$\tau_{max} = \frac{4}{3} \times \frac{P}{\left(\frac{\pi}{4}\right) d_{pasador}^2}$$

Calculamos el diámetro mínimo del pasador considerando  $FS = 1.5$

$$FS = \frac{S_{sy}}{\tau_{max}}$$

Sustituyendo los valores en la ecuación resulta:

$$d_{pasador} = 10.68 \text{ mm}$$

De la tabla del catálogo se selecciona  $d_{pasador} = \frac{1}{2}'' \approx 12.7 \text{ mm}$  (ver **Anexo B.3**).

El esfuerzo por aplastamiento producido por el pasador sobre la superficie de contacto en el brazo del arado es:

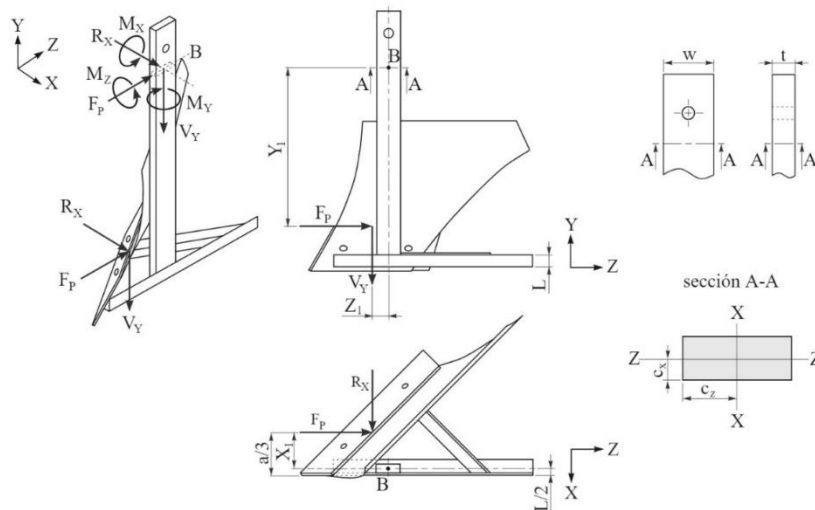
$$\sigma_b = \frac{P}{A} = \frac{P}{t \times d_{pasador}} = \frac{8781.8}{12.7 \times 12.7} = 54.45 \text{ MPa}$$

Por lo tanto, el esfuerzo por aplastamiento es menor que el límite de fluencia del material  $54.45 \text{ MPa} < 340 \text{ MPa}$ , por lo que el material del brazo del arado no presentara falla por aplastamiento.

### Esfuerzos sobre el brazo del arado

**Figura 4.38**

*Cargas que actúan sobre la sección A-A*



*Nota:* la figura representa las cargas sobre la sección A-A. Donde;  $R_x, F_p, V_y$ : componentes de la fuerza que actúa sobre el arado,  $M_x, M_y$  y  $M_z$ : momentos por flexión y por torsión sobre la sección A-A,  $X_1, Y_1, Z_1$ : distancias desde la sección de análisis al punto de aplicación de la fuerza,  $L$ : longitud de ala del perfil angular del resguardador,  $w$ : ancho del perfil del brazo,  $t$ : espesor del perfil del brazo,  $c_x$  y  $c_z$ : distancias desde los ejes neutros en  $Z$  y en  $X$  a la fibra mas alejada de la seccion.

Para comprobar la resistencia del brazo del arado, se analizó el punto “B” correspondiente a la sección A-A, considerado como la sección de mayor carga.

La distancia al punto de aplicación de la fuerza  $X_1$  es:

$$X_1 = \left(\frac{a}{3}\right) - \left(\frac{L}{2}\right) = \left(\frac{300}{3}\right) - \left(\frac{25}{2}\right) = 87.5 \text{ mm}$$

De la **Figura 4.37** se tiene:

$$Y_1 = (d - b) = 463.3 - 50.8 = 412.5 \text{ mm}$$

Calculado anteriormente  $Z_1 = 75 \text{ mm}$ . Determinamos los momentos por flexión y por torsión sobre la sección de análisis.

$$M_X = (F_P \times Y_1) + (V_Y \times Z_1) = (2043 \times 412.5) + (651.7 \times 75) = 891615 \text{ N} \times \text{mm}$$

$$M_Y = (R_X \times Z_1) - (F_P \times X_1) = (492 \times 75) - (2043 \times 87.5) = -141862.5 \text{ N} \times \text{mm}$$

$$M_Z = (R_X \times Y_1) + (V_Y \times X_1) = -(492 \times 412.5) - (651.7 \times 87.5) = -259973.7 \text{ N} \times \text{mm}$$

El esfuerzo normal por carga axial es:

$$\sigma_n = \frac{V_Y}{A} = \frac{V_Y}{w \times t} = \frac{651.7}{76.2 \times 12.7} = 0.67 \text{ MPa}$$

Donde; w: ancho del perfil del brazo, t: espesor del perfil.

El esfuerzo normal por flexión respecto a X es:

$$\sigma_{F/X} = \frac{M_X \times C_Z}{I_X}$$

Momento de inercia de la sección A-A con respecto a X es:

$$I_X = \frac{t \times w^3}{12} = \frac{12.7 \times 76.2^3}{12} = 468260.35 \text{ mm}^4$$

Distancia del eje neutro en X, a la fibra más alejada de la sección es:

$$C_Z = \frac{w}{2} = \frac{76.2}{2} = 38.1 \text{ mm}$$

Reemplazando los valores en la ecuación se tiene:

$$\sigma_{F/X} = \frac{891615 \times 38.1}{468260.35} = 73 \text{ MPa}$$

Esfuerzo normal por flexión respecto a Z:

$$\sigma_{F/Z} = \frac{M_Z \times C_X}{I_Z}$$

Momento de inercia de la sección A-A con respecto a Z

$$I_Z = \frac{w \times t^3}{12} = \frac{76.2 \times 12.7^3}{12} = 13007.23 \text{ mm}^4$$

Distancia del eje neutro en  $Z$ , a la fibra más alejada de la sección es:

$$c_x = \frac{t}{2} = \frac{12.7}{2} = 6.35 \text{ mm}$$

Reemplazando los valores en la ecuación se tiene:

$$\sigma_{F/Z} = \frac{259973.75 \times 6.35}{13007.23} = 126.92 \text{ MPa}$$

Esfuerzo por torsión máximo (lado mayor de la sección transversal)

$$\tau_{max} = \frac{T}{\alpha \times w \times t^2}$$

Donde;  $\tau_{max}$ : esfuerzo por torsión máximo en el lado mayor de una sección transversal rectangular  $T$ : momento por torsión en la sección,  $\alpha$ : parámetro adimensional que depende de la relación  $\frac{w}{t}$ .

El par de torsión en la sección es de  $T = M_Y = 141862.5 \text{ N} \times \text{mm}$ , el valor del coeficiente  $\alpha = 0.299$ , se obtuvo de la tabla para  $\frac{a}{b} = \frac{w}{t} = 6$  (ver **Anexo A.26**).

$$\tau_{max} = \frac{141862.5}{0.299 \times 76.2 \times (12.7)^2} = 38.6 \text{ MPa}$$

Esfuerzo por torsión máximo de lado menor de la sección transversal es:

$$\tau'_{max} = \gamma \times (\tau_{max})$$

Donde;  $\tau'_{max}$ : esfuerzo por torsión máximo en el lado corto de la sección rectangular,  $\gamma$ : parámetro adimensional que depende de la relación  $\frac{w}{t}$ .

El valor del coeficiente  $\gamma = 0.743$ , se obtiene de la tabla para  $\frac{a}{b} = \frac{w}{t} = 6$  (ver **Anexo A.26**). entonces:

$$\tau'_{max} = 0.743 \times 38.6 = 29.68 \text{ MPa}$$

El esfuerzo cortante debido a carga transversal en dirección de  $X$  es:

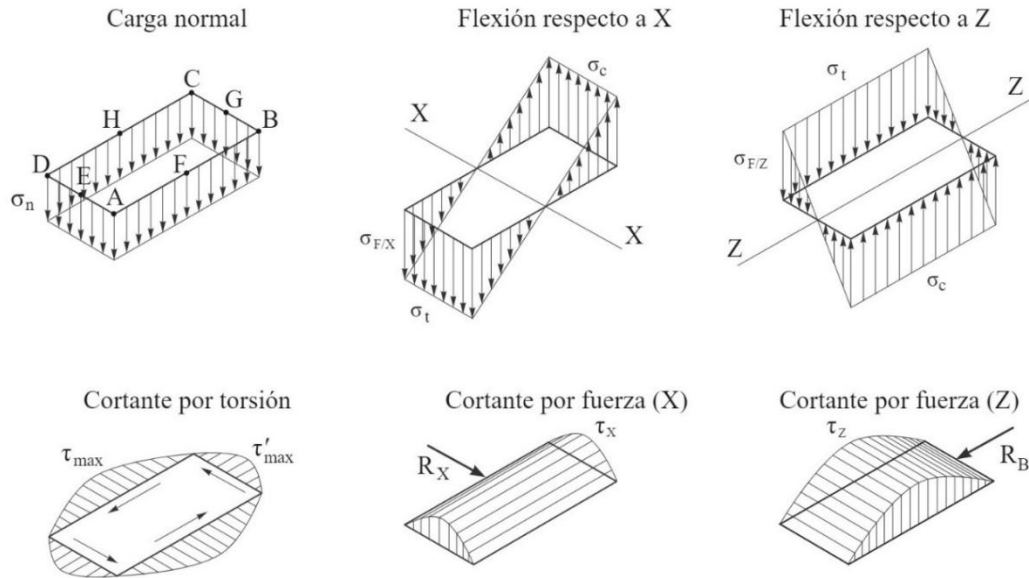
$$\tau_x = \frac{3 \times R_x}{2 \times A} = \frac{3 \times R_x}{2 \times (w \times t)} = \frac{3 \times 492}{2 \times (76.2 \times 12.7)} = 0.76 \text{ MPa}$$

El esfuerzo cortante debido a carga transversal en dirección de  $Z$  es:

$$\tau_z = \frac{3 \times R_B}{2 \times A} = \frac{3 \times R_B}{2 \times (w \times t)} = \frac{3 \times (19594.5)}{2 \times (76.2 \times 12.7)} = 30.37 \text{ Mpa}$$

**Figura 4.39**

*Distribución de cargas sobre la sección A-A del brazo del arado vertedera*



*Nota:* la figura representa la distribución de cargas sobre el brazo del arado vertedera.

En la **Figura 4.39** muestra la distribución de cargas en la sección A–A del brazo del arado de vertedera, las fuerzas de tracción y reacción del suelo se reparten a lo largo de la sección.

El punto de mayor carga es en “D”, donde los esfuerzos cortantes son cero. El esfuerzo normal en el punto “D” es:

$$\sigma = \sigma_n + \sigma_{F/X} + \sigma_{F/Z} = 0.67 + 73 + 126.92 = 200.6 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad se determina sustituyendo los valores en la Ec. (4.38), entonces:

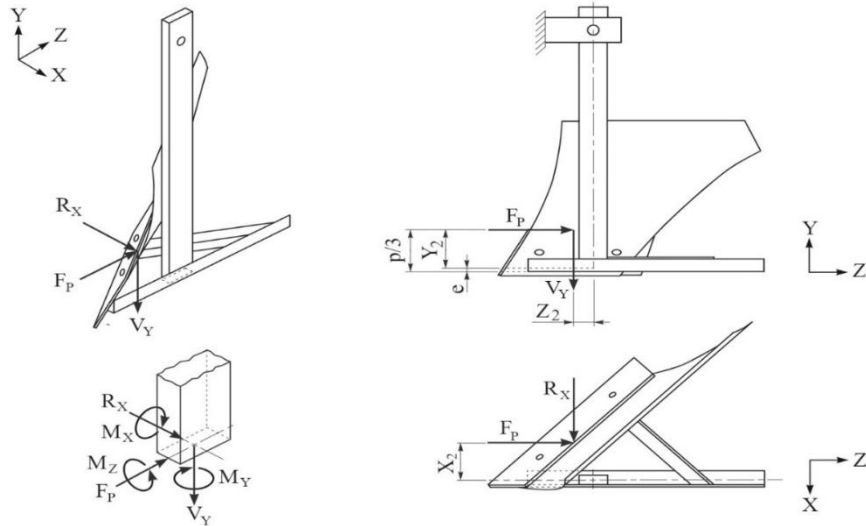
$$FS = \frac{250}{200.6} = 1.54$$

Por lo tanto, se concluye que el material del brazo del arado posee la resistencia suficiente para soportar las cargas aplicadas, por lo que no fallará por resistencia durante su operación.

### 4.2.3 Diseño de soldadura del brazo del arado

**Figura 4.40**

*Cargas que actúan sobre la base del brazo del arado vertedera*



*Nota:* la figura representa las cargas sobre la base. Donde;  $M_X$ ,  $M_Y$  y  $M_Z$ : momentos por flexión y por torsión sobre la sección de la base del brazo,  $X_2$ ,  $Y_2$ ,  $Z_2$ : distancias desde el centroide de la base del brazo, al punto de aplicación de la fuerza,  $e$ : espesor del perfil angular del resguardador.

La soldadura en la base del brazo consiste en verificar que el cordón soporte esfuerzos de corte, tracción y momentos, asegurando una unión resistente y segura durante la operación.

Las distancias al punto de aplicación de la fuerza son:

$$Y_2 = \frac{p}{3} - e = \frac{200}{3} - 3 = 63.67 \text{ mm}$$

$$X_2 = X_1 = 87.5 \text{ mm}$$

$$Z_2 = Z_1 = 75 \text{ mm}$$

Los momentos por flexión y por torsión sobre la sección de análisis son:

$$M_X = (V_Y \times Z_2) - (F_P \times Y_2) = (651.7 \times 75) - (2243 \times 63.67) = -93934.31 \text{ N} \times \text{mm}$$

$$M_Y = (R_X \times Z_2) - (F_P \times X_2) = (492 \times 75) - (2043 \times 87.5) = -141862.5 \text{ N} \times \text{mm}$$

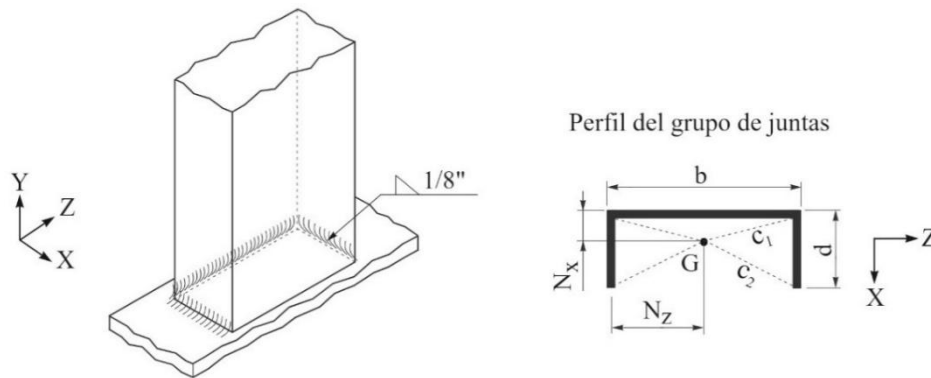
$$M_Z = (R_X \times Y_2) - (V_Y \times X_2) = (492 \times 63.67) - (651.7 \times 87.5) = -25698.11 \text{ N} \times \text{mm}$$

### Tamaño del cordón de la soldadura

El espesor de la parte unida más delgada corresponde al perfil angular del resguardador  $e = 3 \text{ mm}$ . De la tabla se selecciona el tamaño del cordón de soldadura como  $h = \frac{1}{8} \text{ pulg} \approx 3.17 \text{ mm}$  (ver **Anexo A.6**).

**Figura 4.41**

*Unión soldada entre el brazo del arado y el resguardador*



*Nota:* la figura representa la soldadura del brazo. Donde;  $G$ : centro de gravedad del grupo de juntas,  $N_x$  y  $N_z$ : ubicación del centro de gravedad,  $b$  y  $d$ : longitudes de base y altura del grupo de juntas,  $c_1$  y  $c_2$ : distancia del centro de gravedad al punto más alejado del grupo de juntas.

Para calcular los esfuerzos en el cordón de soldadura se utiliza la tabla propiedades del cordón de soldadura tratado como línea (ver **Anexo A.13**), según el perfil correspondiente al grupo de soldadura. Las longitudes del perfil del grupo de soldadura, para la base del brazo del arado son  $b = 76.2 \text{ mm}$  y  $d = 12.7 \text{ mm}$ .

La ubicación del centro de gravedad es:

$$N_x = \frac{d^2}{2d + b} = \frac{12.7^2}{2(12.7) + 76.2} = 1.58 \text{ mm}$$

$$N_z = \frac{b}{2} = \frac{76.2}{2} = 38.1 \text{ mm}$$

Longitud del grupo de juntas:

$$l = b + 2d = 76.2 + 2(12.7) = 101.6 \text{ mm}$$

Las distancias del centroide a los puntos más alejados del grupo de soldadura son:

$$c_1 = \sqrt{N_x^2 + N_z^2} = \sqrt{1.58^2 + 38.1^2} = 38.13 \text{ mm}$$

$$c_2 = \sqrt{(d - N_x)^2 + N_z^2} = \sqrt{(12.7 - 1.58)^2 + 38.1^2} = 39.7 \text{ mm}$$

El momento resistente unitario respecto al eje Z es:

$$Z_{wz} = \frac{d^2 \times (2b + d)}{3 \times (b + d)} = \frac{12.7^2 \times (2 \times 76.2 + 12.7)}{3 \times (76.2 + 12.7)} = 99.85 \text{ mm}^2$$

El momento resistente unitario respecto al eje X es:

$$Z_{wx} = b \times d + \frac{b^2}{6} = 76.2 \times 12.7 + \frac{76.2^2}{6} = 1935.48 \text{ mm}^2$$

El momento de inercia de área polar unitario es:

$$J_w = \frac{(b + 2 \times d)^3}{12} - \frac{d^2 \times (b + d)^2}{b + 2 \times d}$$

$$J_w = \frac{(76.2 + 2 \times 12.7)^3}{12} - \frac{12.7^2 \times (76.2 + 12.7)^2}{76.2 + 2 \times 12.7} = 74851.33 \text{ mm}^3$$

El esfuerzo cortante en la dirección de X es:

$$\tau'_x = \frac{R_x}{0.707 \times h \times l} = \frac{492}{0.707 \times 3.17 \times 101.6} = 2.16 \text{ Mpa}$$

El esfuerzo cortante en la dirección de Z es:

$$\tau'_z = \frac{F_p}{0.707 \times h \times l} = \frac{2043}{0.707 \times 3.17 \times 101.6} = 8.97 \text{ Mpa}$$

El esfuerzo por tracción en la dirección de Y es:

$$\tau'_y = \frac{V_y}{0.707 \times h \times l} = \frac{651.7}{0.707 \times 3.17 \times 101.6} = 2.86 \text{ Mpa}$$

El esfuerzo por torsión es:

$$\tau'' = \frac{T \times c_2}{0.707 \times h \times J_w}$$

El momento de torsión en la sección es  $T = M_y = 143.64 \text{ N} \times \text{m}$  entonces:

$$\tau'' = \frac{141862.5 \times 39.7}{0.707 \times 3.17 \times 74851.33} = 33.57 \text{ Mpa}$$

El esfuerzo por flexión respecto al eje  $X$  es:

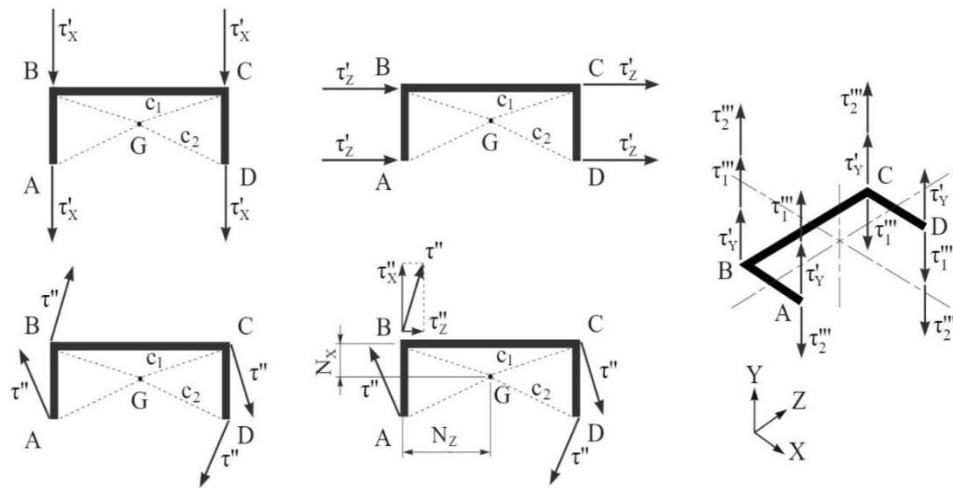
$$\tau'''_1 = \frac{M_X}{0.707 \times h \times Z_{w-x}} = \frac{93934.31}{0.707 \times 3.17 \times 1935.48} = 21.65 \text{ Mpa}$$

El esfuerzo por flexión respecto al eje  $Z$  es:

$$\tau'''_2 = \frac{M_Z}{0.707 \times h \times Z_{w-y}} = \frac{25698.11}{0.707 \times 3.17 \times 99.85} = 114.84 \text{ Mpa}$$

**Figura 4.42**

*Distribución de esfuerzos sobre la sección de soldadura de la base del brazo del arado*



*Nota:* la figura representa la distribución de esfuerzos en el brazo del arado.

La **Figura 4.42** muestra la distribución de esfuerzos en la soldadura, identificando zonas críticas de corte, tracción y flexión, lo que permite verificar la resistencia y seguridad de la unión en el diseño.

El punto de mayor carga es en “B”, las componentes del esfuerzo por torsión son:

$$\tau''_X = \frac{\tau'' \times N_X}{c_1} = \frac{33.57 \times 1.58}{38.13} = 1.39 \text{ MPa}$$

$$\tau''_Z = \frac{\tau'' \times N_Z}{c_1} = \frac{33.57 \times 38.1}{38.13} = 33.54 \text{ MPa}$$

El esfuerzo resultante en el punto “B” es:

$$\tau_R = \sqrt{\tau_X^2 + \tau_Y^2 + \tau_Z^2} = \sqrt{(\tau'_X - \tau''_X)^2 + (\tau'_Y + \tau'''_1 + \tau'''_2)^2 + (\tau'_Z + \tau''_Z)^2}$$

$$\tau_R = \sqrt{(2.16 - 1.39)^2 + (2.86 + 21.65 + 114.84)^2 + (8.97 + 33.54)^2} = 145.7 \text{ MPa}$$

De la tabla el esfuerzo permisible es  $0.3 S_{ut}$ , para carga cortante y soldadura de filete, el esfuerzo resultante no debe exceder al esfuerzo permisible (ver **Anexo A.7**), entonces:

$$\tau_R = 0.3 S_{ut}$$

Por lo tanto, la resistencia a la tensión del metal de aporte es:

$$S_{ut} = \frac{\tau_R}{0.3} = \frac{145.7}{0.3} = 485.67 \text{ MPa}$$

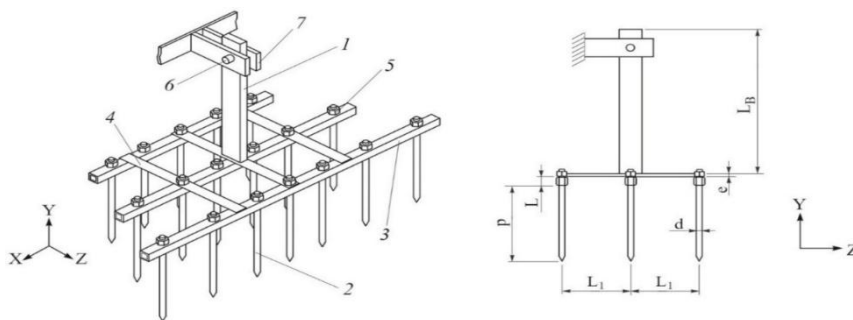
De la tabla se selecciona un electrodo E7018, con una resistencia a la tensión  $S_{ut} = 482 \text{ MPa}$  (ver **Anexo A.8**).

### 4.3 Diseño de los componentes de la rastra

El diseño de la rastra de púas está formado por un armazón de púas fijadas mediante pernos, diseñada para soportar las condiciones del suelo, garantizando resistencia, durabilidad y una adecuada preparación del terreno del suelo.

**Figura 4.43**

*Partes de la rastra de púas*



*Nota:* la figura representa las partes importantes de la rastra. Donde; 1 brazo de soporte, 2 púas de la rastra, 3 barras del bastidor, 4 travesaño de unión del bastidor, 5 unión empernada, 6 pasador de enganche, 7 acople de herramientas,  $L_B$ : longitud del brazo de soporte,  $p$ : profundidad de trabajo,  $L$ : lado del perfil del bastidor,  $d$ : diámetro de las púas,  $e$ : espesor de los travesaños.

## Materiales para el diseño de la rastra

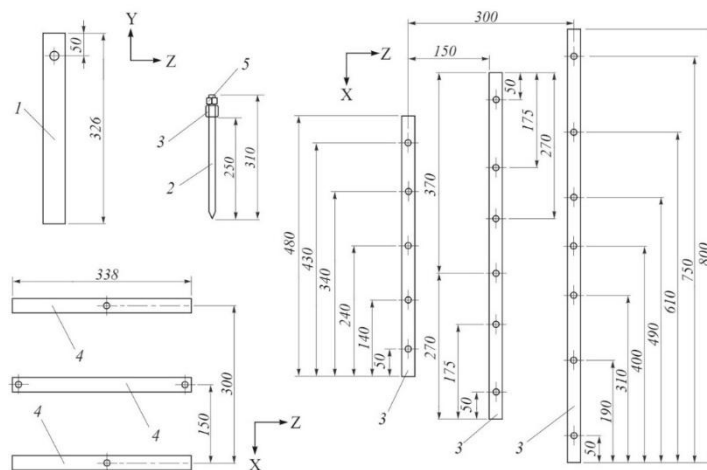
Para el brazo del soporte se emplea el mismo perfil utilizado para el brazo del arado, el cual es una barra de perfil rectangular de acero ASTM A36, con un ancho de  $w = 3 \text{ Pulg} \approx 76.2 \text{ mm}$  y espesor  $t = \frac{1}{2} \text{ Pulg} \approx 12.7 \text{ mm}$  (ver **Anexo B.5**).

Para las púas de la rastra se utiliza varillas de sección circular de acero ASTM A36, con un diámetro de  $d = \frac{1}{2} \text{ pulg} \approx 12.7 \text{ mm}$  seleccionado del catalogo (ver **Anexo B.3**). Para las barras del bastidor se utiliza un perfil de tubo cuadrado de acero ASTM A500, con lado exterior de  $L = 38 \text{ mm}$  y espesor  $t_{bast.} = 3 \text{ mm}$  (ver **Anexo B.6**).

Para el travesaño de unión se utiliza una barra de perfil rectangular de acero ASTM A36, con un ancho de  $w_{trav.} = 1 \frac{1}{2} \text{ Pulg} \approx 38.1 \text{ mm}$  y espesor de  $e = \frac{1}{4} \text{ Pulg} \approx 6.35$ , se selecciona del catálogo (ver **Anexo B.5**).

**Figura 4.44**

*Dimensiones de los componentes de la rastra*



*Nota:* la figura representa las dimensiones de los componentes de la rastra de púas comprenden las medidas de sus elementos principales, como púas, bastidor, ejes y soportes.

### 4.3.1 Fuerzas que componen la rastra

Las fuerzas de la rastra dependen de la velocidad de operación, la sección de laboreo y el tipo de suelo. La velocidad de operación de la rastra se establece en  $4.5 \frac{km}{h}$  según a la tabla

(ver **Anexo A.2**) y la resistencia específica del suelo  $\mu = 3.405 \frac{N}{cm^2}$  (ver **Anexo A.1**) y el número total de púas de la rastra es de  $n = 18$  púas, la profundidad requerida es de  $p = 25$  cm y el ancho de trabajo de cada púa es  $a = 25$  cm, sustituyendo en la Ec. (4.4) se determina la sección de laboreo de la rastra y fuerza requerida para mover la rastra con la Ec. (4.3), entonces:

$$S = 18 \times 1.27 \times 25 = 571.5 \text{ cm}^2$$

$$F = 3.405 \times 571.5 = 1946 \text{ N}$$

La fuerza aplicada a cada púa de la rastra se determina al dividir la fuerza necesaria para mover la rastra entre el número de púas.

$$F_p = \frac{F}{n} = \frac{1946}{18} = 108.11 \text{ N}$$

La potencia necesaria para la rastra de púas se determina con la Ec. (4.2), entonces:

$$P_r = 1946 \times 4.5 \times \left( \frac{1000}{3600} \right) = 2432.5 \text{ W} = 3.31 \text{ hp}$$

Para suelos arcillosos, la componente vertical de la fuerza de resistencia del suelo es igual al 25% de la fuerza de tiro. Por lo tanto, la componente vertical será:

$$R_Y = \frac{25}{100} \times F = \frac{25}{100} \times 1946 = 486.5 \text{ N}$$

**Tabla 4.20**

*Pesos de los componentes de la rastra*

| Cantidad | Descripción                                  | Longitud | Peso Unitario | Peso Total (kg) |
|----------|----------------------------------------------|----------|---------------|-----------------|
| 18       | Varilla Ø 1/2" (púas)                        | 0.31     | 0.99 kg/m     | 5.7             |
| 1        | Barra rectangular 1" × 4" (brazo de soporte) | 0.326    | 7.6 kg/m      | 2.48            |
| 1        | Tubo cuadrado 1 1/2" (bastidor)              | 0.8      | 3.29 kg/m     | 2.64            |
| 1        | Tubo cuadrado 1 1/2" (bastidor)              | 0.64     | 3.29 kg/m     | 2.11            |
| 1        | Tubo cuadrado 1 1/2" (bastidor)              | 0.48     | 3.29 kg/m     | 1.58            |
| 3        | Platina 3/16" x 1 1/2" (travesaño)           | 0.338    | 1.90 kg/m     | 1.93            |

|                          |                                            |   |            |          |
|--------------------------|--------------------------------------------|---|------------|----------|
| 18                       | Tuerca 1/2" hexagonal<br>(unión empernada) | - | 0.054 kg/u | 0.97     |
| PESO TOTAL ( $\Sigma$ ): |                                            |   |            | 17.41 kg |

*Nota:* la tabla representa el peso de los componentes de la rastra.

En la **Tabla 4.20** se muestra el peso de los componentes de la rastra que se determina en función de la densidad del material y el volumen de cada elemento. Este cálculo permite estimar la masa de cada parte entre el brazo de soporte, bastidor, púas, ejes y soportes y del conjunto total  $W_{imp.} = 17.41 \text{ kg}$ .

La fuerza vertical total que actúa sobre la rastra es:

$$V_Y = R_Y - W_{imp} = 486.5 - (17.41 \times 9.81) = 315.71 \text{ N}$$

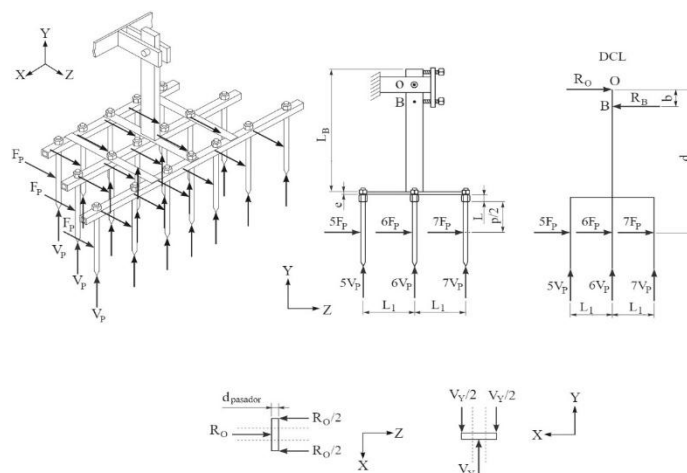
La fuerza vertical aplicada a cada púa de la rastra se determinó al dividir la fuerza vertical total entre el número de púas es:

$$V_P = \frac{V_Y}{n} = \frac{315.71}{18} = 18.54 \text{ N}$$

#### 4.3.2 Diseño Estructural de la rastra

**Figura 4.45**

*Fuerzas que actúan sobre el cuerpo de la rastra y el pasador de enganche*



*Nota:* la figura representa las fuerzas sobre la rastra. Donde;  $R_O$  y  $R_B$ : fuerzas de reacción en el brazo de soporte,  $d$  y  $L_1$ : distancias del punto "O" (ubicación del pasador) al punto de aplicación de la fuerza,  $d_{pasador}$ : diámetro del pasador de enganche.

La distancia del punto "O" al punto de aplicación de la fuerza es:

$$d = (L_B - 50) + e + L + \frac{p}{2} = (326 - 50) + 6.35 + 38 + \frac{250}{2} = 445.35 \text{ mm}$$

De la **Figura 4.44** se tiene  $L_1 = 150 \text{ mm}$ . Para comprobar la resistencia del pasador de enganche de la rastra, determinamos las fuerzas que actúan sobre el pasador, considerando  $b = 50.8 \text{ mm}$ . Utilizando las ecuaciones de equilibrio se tiene:

$$\sum M_o = 0; (+\curvearrowright)$$

$$(18 \times F_p) \times d - (5 \times V_p) \times L_1 + (7 \times V_p) \times L_1 - R_B \times (b) = 0$$

$$(18 \times 108.11) \times 445.35 - (5 \times 17.54) \times 150 + (7 \times 17.54) \times 150 - R_B \times 50.8 = 0$$

$$R_B = 17103.6 \text{ N}$$

$$\sum F_Z = 0; (+\rightarrow)$$

$$F - R_B + R_o = 0$$

$$1946 - 17103.6 + R_o = 0$$

$$R_o = 15217.47 \text{ N}$$

La fuerza de corte resultante sobre la sección del pasador es:

$$P = \sqrt{\left(\frac{R_o}{2}\right)^2 + \left(\frac{V_Y}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{15217.47}{2}\right)^2 + \left(\frac{315.71}{2}\right)^2} = 7610.37 \text{ N}$$

El esfuerzo cortante máximo sobre la sección del pasador es, cuando el diámetro del pasador calculado anteriormente es de  $d_{pasador} = 12.7 \text{ mm}$ , entonces:

$$\tau_{max} = \frac{4}{3} \times \frac{P}{\left(\frac{\pi}{4}\right) d^2} = \frac{4}{3} \times \frac{7610.37}{\left(\frac{\pi}{4}\right) \times 12.7^2} = 80.11 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad se determina sustituyendo los valores en la Ec. (4.38). El límite de fluencia al cortante calculado anteriormente es de  $S_{sy} = 196.2 \text{ MPa}$ , entonces:

$$FS = \frac{196.2}{80.11} = 2.4$$

Por lo tanto, se concluye que el pasador de enganche tiene la resistencia suficiente para soportar las cargas aplicadas, por lo que no presentara falla por resistencia durante su funcionamiento.

El esfuerzo de aplastamiento producido por el pasador sobre la superficie de contacto en el brazo de soporte es:

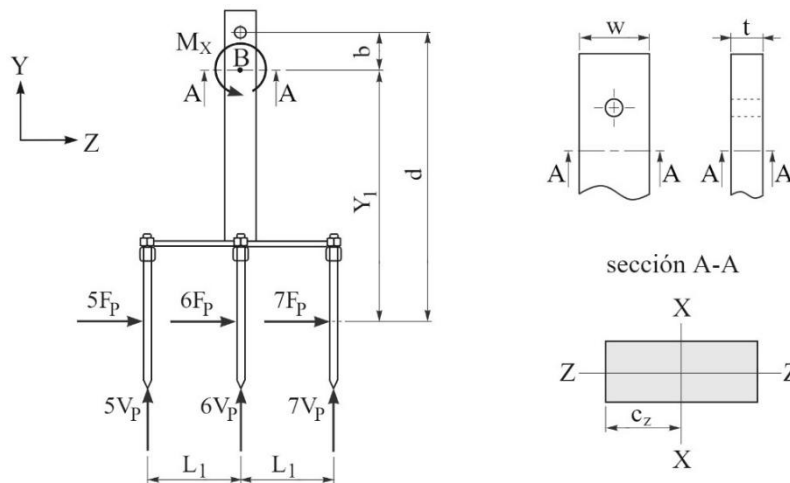
$$\sigma_b = \frac{P}{A} = \frac{P}{t \times d_{pasador}} = \frac{7610.37}{12.7 \times 12.7} = 47.2 \text{ MPa}$$

Por lo tanto, el esfuerzo por aplastamiento es menor que el límite de fluencia del material  $47.2 \text{ MPa} < 250 \text{ MPa}$ , por lo que el material del brazo de la rastra no fallara por aplastamiento.

Para comprobar la resistencia del brazo de soporte, se analizó el punto “B” correspondiente a la sección A-A, considerado como la sección de mayor carga como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 4.46**

*Cargas que actúan sobre la sección A-A del brazo de la rastra*



*Nota:* la figura representa cargas en el acople. Donde;  $M_x$ : momento por flexión sobre la sección A-A,  $c_z$ : distancia desde el eje neutro en X a la fibra mas alejada de la seccion.

De la **Figura 4.44** se tiene  $L_1 = 150 \text{ mm}$  y  $Y_1 = (d - b) = 445.35 - 50.8 = 394.55 \text{ mm}$ . El momento por flexión sobre la sección A-A es:

$$M_X = 18 \times F_p \times (Y_1) - 5 \times V_p \times (L_1) + 7 \times V_p \times (L_1)$$

$$M_X = 18 \times 108.11 \times (394.55) - 5 \times 17.54 \times (150) + 7 \times 17.54 \times (150)$$

$$M_X = 773048.41 \text{ N} \times \text{mm}$$

El esfuerzo normal por carga axial:

$$\sigma_n = \frac{V_Y}{A} = \frac{V_Y}{w \times t} = \frac{315.71}{76.2 \times 12.7} = 0.326 \text{ MPa}$$

El esfuerzo normal por flexión respecto a X. El momento de inercia con respecto a "X"  $I_X = 468260.35 \text{ mm}^4$  y la distancia del eje neutro a la fibra más alejada es de  $C_Z = 38.1 \text{ mm}$ , se determinaron anteriormente para la sección A-A.

$$\sigma_{F/X} = \frac{M_X \times C_Z}{I_X} = \frac{773048.41 \times 38.1}{468260.35} = 62.9 \text{ MPa}$$

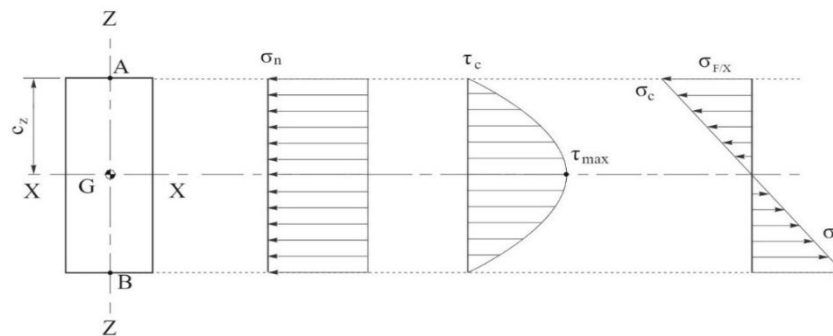
El esfuerzo cortante máximo debido a carga transversal en dirección de Z es:

$$\tau_{max} = \frac{3 \times R_B}{2 \times A} = \frac{3 \times R_B}{2 \times (w \times t)} = \frac{3 \times 17163.47}{2(76.2 \times 12.7)} = 26.6 \text{ Mpa}$$

La **Figura 4.47** muestra la distribución de cargas en la sección A-A del brazo de soporte las fuerzas provenientes del trabajo con el suelo y la tracción se reparten a lo largo de la sección.

**Figura 4.47**

*Distribución de cargas sobre la sección A-A del brazo de soporte de la rastra*



*Nota:* la figura representa la distribución de cargas de la rastra.

El punto de mayor carga es en "A", el esfuerzo normal en ese punto es:

$$\sigma = \sigma_n + \sigma_{F/X} = 0.326 + 62.6 = 63 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad se determina sustituyendo los valores en la Ec. (4.38):

$$FS = \frac{250}{63} = 3.96$$

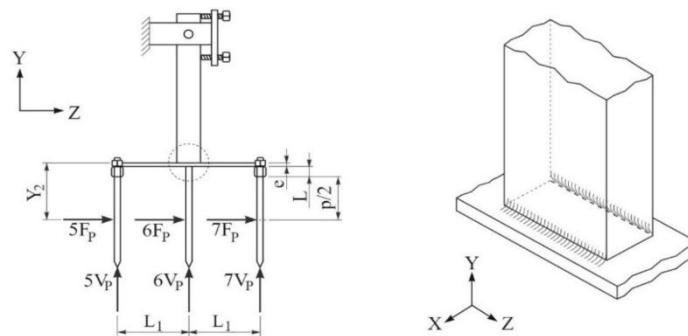
Por lo tanto, se concluye que el material del brazo de soporte posee la resistencia suficiente para soportar las cargas aplicadas, por lo que no fallará por resistencia durante su operación.

#### 4.3.3 Diseño de soldadura del brazo de la rastra

La soldadura en la base del brazo de soporte de la rastra consiste en determinar la capacidad del cordón de soldadura para soportar las cargas aplicadas, considerando principalmente esfuerzos de corte, tracción y efectos de flexión.

**Figura 4.48**

*Cargas que actúan sobre la base del brazo de soporte de la rastra*



*Nota:* la figura representa las cargas sobre el brazo de soporte de la rastra.

La distancia desde la base del brazo hasta el punto de aplicación de la fuerza es:

$$Y_2 = \frac{p}{2} + L + e = \frac{250}{2} + 38 + 6.35 = 169.23 \text{ mm}$$

El momento por flexión sobre la sección de la base del brazo de soporte es:

$$M_X = 18 \times F_p \times (Y_2) - 5 \times V_p \times (L_1) + 7 \times V_p \times (L_1)$$

$$M_X = (18 \times 108.11) \times 169.36 - (5 \times 17.54) \times 150 + (7 \times 17.54) \times 150$$

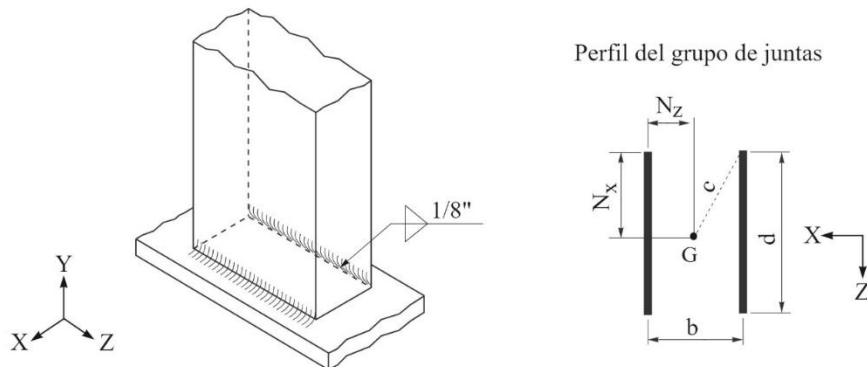
$$M_X = 334833.17 \text{ N} \times \text{mm}$$

**Tamaño del cordón de la soldadura:**

De la tabla se selecciona el tamaño del cordón  $h = \frac{1}{8} \text{ pulg} \approx 3.17 \text{ mm}$  (ver **Anexo A.6**).

**Figura 4.49**

*Unión soldada entre el brazo de soporte y el travesaño*



*Nota:* la figura representa la unión soldada entre el brazo y el travesaño. Donde;  $G$ : centro de gravedad del grupo de juntas,  $N_x$  y  $N_z$ : ubicación del centro de gravedad,  $b$  y  $d$ : longitudes de base y altura del grupo de juntas,  $c$ : distancia del centro de gravedad al punto más alejado del grupo de juntas.

Para calcular los esfuerzos en el cordón de soldadura se utilizó la tabla de propiedades del cordón de soldadura tratado como línea (ver **Anexo A.13**), según el perfil correspondiente al grupo de juntas. Las longitudes del perfil del grupo de juntas, para la base del brazo del soporte son de  $d = 76.2 \text{ mm}$  y  $b = 12.7 \text{ mm}$ , entonces:

La ubicación del centro de gravedad es:

$$N_x = \frac{d}{2} = \frac{76.2}{2} = 38.1 \text{ mm}$$

$$N_z = \frac{b}{2} = \frac{12.7}{2} = 6.35 \text{ mm}$$

La longitud del grupo de juntas es:

$$l = 2 \times d = 2 \times (76.2) = 152.4 \text{ mm}$$

La distancia del centroide al punto más alejado del grupo de juntas es:

$$c = \sqrt{N_x^2 + N_z^2} = \sqrt{38.1^2 + 6.35^2} = 38.63 \text{ mm}$$

El momento resistente unitario respecto al eje  $X$  es:

$$Z_{wx} = \frac{d^2}{3} = \frac{76.2^2}{3} = 1935.48 \text{ mm}^2$$

El esfuerzo cortante en la dirección de  $Z$  es:

$$\tau'_Z = \frac{F}{0.707 \times h \times l} = \frac{1946}{0.707 \times 3.17 \times 152.4} = 5.7 \text{ Mpa}$$

El esfuerzo por tracción en la dirección de  $Y$  es:

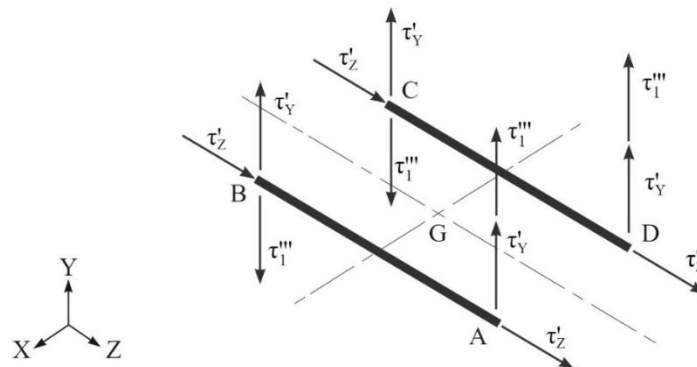
$$\tau'_Y = \frac{V_Y}{0.707 \times h \times l} = \frac{315.71}{0.707 \times 3.17 \times 152.4} = 0.924 \text{ Mpa}$$

El esfuerzo por flexión respecto al eje  $X$  es:

$$\tau'''_1 = \frac{M_X}{0.707 \times h \times Z_{wx}} = \frac{334833.17}{0.707 \times 3.17 \times 1935.48} = 77.19 \text{ Mpa}$$

**Figura 4.50**

*Distribución de esfuerzos sobre la junta de soldadura del brazo de la rastra*



*Nota:* la figura representa la distribución de esfuerzos sobre el brazo de la rastra.

El punto de mayor carga es en “B”, el esfuerzo resultante es:

$$\tau_R = \sqrt{\tau_Y^2 + \tau_Z^2} = \sqrt{(\tau'_Y + \tau'''_1)^2 + (\tau'_Z)^2} = \sqrt{(0.924 + 77.19)^2 + (5.7)^2} = 78.32 \text{ MPa}$$

De la tabla el esfuerzo permisible es  $0.3 S_{ut}$ , para carga cortante y soldadura de filete, el esfuerzo resultante no debe exceder al esfuerzo permisible (ver **Anexo A.7**), entonces:

$$\tau_R = 0.3 S_{ut}$$

Por lo tanto, la resistencia a la tensión del metal de aporte es:

$$S_{ut} = \frac{\tau_R}{0.3} = \frac{78.32}{0.3} = 261 \text{ MPa}$$

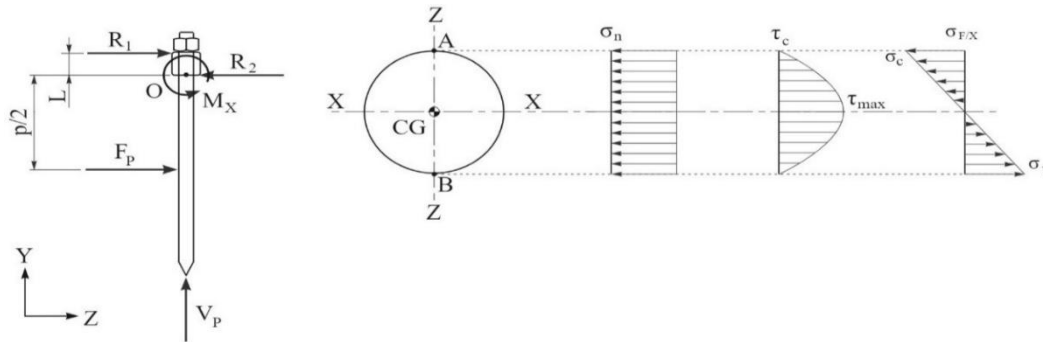
De la tabla se selecciona un electrodo E6011, con una resistencia a la tensión  $S_{ut} = 427 \text{ MPa}$  (ver **Anexo A.8**).

### Esfuerzos en la sección de las púas

En la sección de las púas de la rastra se presentan principalmente en el punto “O”, cuya sección corresponde a la varilla de la púa debido al contacto directo con el suelo. Estas fuerzas se generan por la resistencia del terreno durante el trabajo, provocando concentraciones de esfuerzo en la base y a lo largo de la púa.

**Figura 4.51**

*Cargas sobre la sección de las púas*



*Nota:* la figura representa las cargas sobre las púas. Donde;  $R_1$  y  $R_2$ : reacciones sobre la barra del bastidor,  $M_X$ : momento por flexión sobre la sección de las púas,  $\tau_{max}$ : esfuerzo cortante máximo,  $\sigma_n$ : esfuerzo normal por carga axial,  $\sigma_{F/X}$ : esfuerzo por flexión respecto a  $X$ .

Utilizando las ecuaciones de equilibrio se tiene:

$$\sum M_O = 0; (+\curvearrowright)$$

$$\frac{p}{2} \times (F_p) - L \times (R_1) = 0$$

$$\frac{250}{2} \times (108.11) - 38 \times (R_1) = 0$$

$$R_1 = 355.62 \text{ N}$$

$$\sum F_Z = 0; (+\rightarrow)$$

$$F_p + R_1 - R_2 = 0$$

$$108.11 + 355.62 - R_2 = 0$$

$$R_2 = 463.73 \text{ N}$$

El esfuerzo cortante máximo sobre la sección de la púa es:

$$\tau_{max} = \frac{4}{3} \times \frac{R_2}{\frac{\pi}{4} \times d^2} = \frac{4}{3} \times \frac{463.73}{\left(\frac{\pi}{4}\right) \times 12.7^2} = 4.88 \text{ MPa}$$

El esfuerzo normal por carga axial es:

$$\sigma_n = \frac{V_p}{\frac{\pi}{4} \times d^2} = \frac{18.1}{\left(\frac{\pi}{4}\right) \times 12.7^2} = 0.143 \text{ MPa}$$

El esfuerzo normal por flexión respecto a  $X$  es:

$$\sigma_{F/X} = \frac{M_X \times c}{I_X}$$

El momento por flexión respecto a  $X$  es:

$$M_X = F_p \times \left(\frac{p}{2}\right) = 108.11 \times \left(\frac{250}{2}\right) = 13513.75 \text{ N} \times \text{mm}$$

El momento de inercia de la sección de las púas con respecto a  $X$  es:

$$I_Z = \frac{\pi \times d^4}{64} = \frac{\pi \times (12.7)^4}{64} = 1276.98 \text{ mm}^4$$

La distancia del eje neutro en  $X$ , a la fibra más alejada de la sección es:

$$c = \frac{d}{2} = \frac{12.7}{2} = 6.35 \text{ mm}$$

Entonces, sustituyendo los valores resulta:

$$\sigma_{F/X} = \frac{13513.75 \times 6.35}{1276.98} = 67.18 \text{ MPa}$$

El punto de mayor carga es en “A”, donde el esfuerzo cortante es de  $\tau = 0$ , entonces:

El esfuerzo normal en el punto “A” es:

$$\sigma = \sigma_{F/X} - \sigma_n = 67.18 - 0.143 = 67.32 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad se determina reemplazando los valores en la Ec. (4.38):

$$FS = \frac{250}{67.32} = 3.7$$

Por lo tanto, se concluye que el material de la púa tiene la resistencia suficiente para soportar las cargas aplicadas, por lo que no presentara falla por resistencia.

El esfuerzo de aplastamiento es producido por las púas sobre la superficie de contacto en la barra del bastidor, entonces:

$$\sigma_b = \frac{R_2}{A} = \frac{R_2}{d \times t_{bastidor}} = \frac{463.73}{12.7 \times 3} = 12.17 \text{ MPa}$$

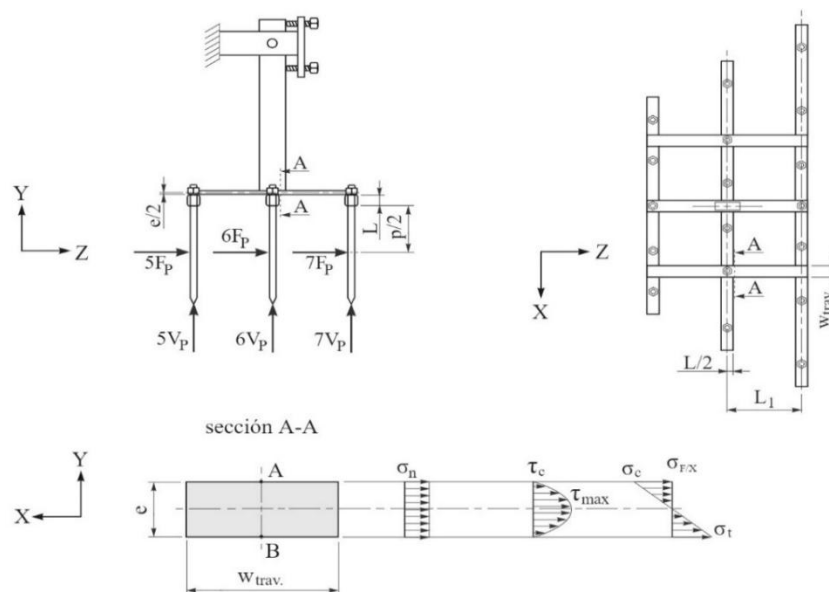
El esfuerzo por aplastamiento es menor que el límite de fluencia del material  $12.17 \text{ MPa} < 250 \text{ MPa}$ , por lo que el material de la barra del bastidor no falla.

### Esfuerzos sobre travesaño de unión del bastidor

El travesaño de unión del bastidor está sometido principalmente a esfuerzos de flexión, corte en menor medida, torsión, generados por las cargas transmitidas desde los demás componentes del sistema.

**Figura 4.52**

*Cargas que actúan sobre la sección A-A, correspondiente al travesaño de unión*



*Nota:* la figura representa las cargas sobre A-A. Donde;  $\sigma_n$ : esfuerzo normal por carga axial,  $\tau_{max}$ :esfuerzo cortante máximo,  $\sigma_{F/X}$ : esfuerzo normal por flexión.

De la **Figura 4.52** existen tres travesaños de unión, por lo tanto, se considera las fuerzas en cada travesaño igual a un tercio de la fuerza total, tanto horizontal como vertical. Para comprobar la resistencia del travesaño se analiza el punto de unión entre el travesaño y la barra del bastidor correspondiente a la sección A-A, considerado como el punto de mayor carga, entonces:

El esfuerzo normal por carga axial es:

$$\sigma_n = \frac{\left(\frac{7 \times F_p}{3}\right)}{A} = \frac{\left(\frac{7 \times F_p}{3}\right)}{e \times w_{trav.}} = \frac{\left(\frac{7 \times 108.11}{3}\right)}{6.35 \times 38.1} = 1.043 \text{ MPa}$$

El esfuerzo cortante debido a carga transversal en dirección de  $Y$  es:

$$\tau_{max} = \frac{3}{2} \times \frac{\left(\frac{7V_p}{3}\right)}{A} = \frac{3}{2} \times \frac{\left(\frac{7V_p}{3}\right)}{e \times w_{trav.}} = \frac{3}{2} \times \frac{\left(\frac{7 \times 17.54}{3}\right)}{6.35 \times 38.1} = 0.254 \text{ MPa}$$

El esfuerzo normal por flexión respecto a  $X$  es:

$$\sigma_{F/X} = \frac{M_X \times c}{I_X}$$

El momento por flexión respecto a  $X$  es:

$$\begin{aligned} M_X &= \left(\frac{7 \times F_p}{3}\right) \times \left(\frac{p}{2} + L + \frac{e}{2}\right) + \left(\frac{7 \times V_p}{3}\right) \times \left(L_1 - \frac{L}{2}\right) \\ M_X &= \left(\frac{7 \times 108.11}{3}\right) \times \left(\frac{250}{2} + 38 + \frac{6.35}{2}\right) + \left(\frac{7 \times 17.54}{3}\right) \times \left(150 - \frac{38}{2}\right) \\ M_X &= 47280.15 \text{ N} \times \text{mm} \end{aligned}$$

El momento de inercia respecto a  $X$ , de la sección del travesaño es:

$$I_X = \frac{w_{trav.} \times e^4}{12} = \frac{38.1 \times (6.35)^3}{12} = 812.95 \text{ mm}^4$$

La distancia del eje neutro en  $X$ , a la fibra más alejada de la sección es:

$$c = \frac{e}{2} = \frac{6.35}{2} = 3.17 \text{ mm}$$

Entonces, reemplazando los valores se tiene:

$$\sigma_{F/X} = \frac{M_X \times c}{I_X} = \frac{47280.15 \times 3.17}{812.95} = 184.36 \text{ MPa}$$

El punto de mayor carga debido a esfuerzos normales es en el punto “B”, donde los esfuerzos cortantes son cero, entonces:

El esfuerzo normal en el punto “B” es:

$$\sigma = \sigma_{F/X} + \sigma_n = 184.36 + 1.043 = 185.41 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad se determina sustituyendo los valores en la Ec. (4.38):

$$FS = \frac{250}{185.41} = 1.34$$

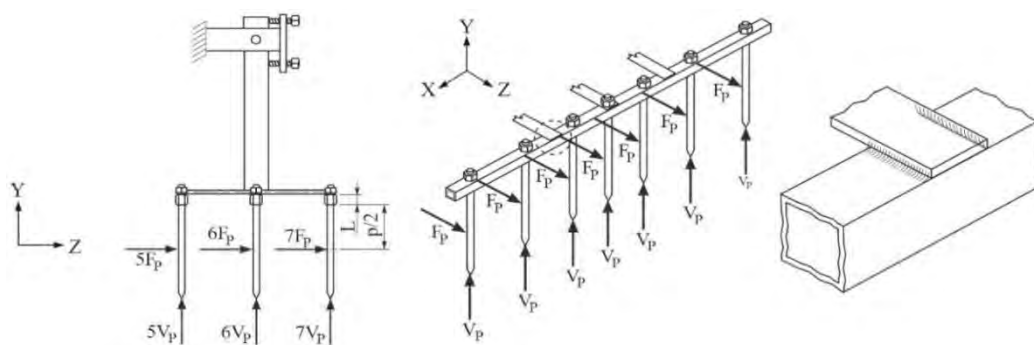
Por lo tanto, se concluye que el material del travesaño de unión posee la resistencia suficiente para soportar las cargas aplicadas, por lo que no presentara falla por resistencia durante su funcionamiento.

#### 4.3.4 Diseño de la soldadura de los travesaños con la barra del bastidor

La unión soldada entre el travesaño y la barra del bastidor permite integrar ambos elementos estructurales, proporcionando rigidez y continuidad al conjunto.

**Figura 4.53**

*Cargas entre el travesaño y la barra del bastidor*



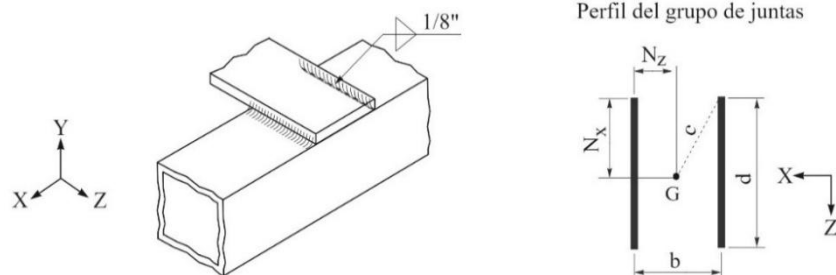
*Nota:* la figura representa cargas entre el travesaño y la barra del bastidor.

El momento por flexión sobre grupo de juntas, considerando que existen tres travesaños de unión, por lo tanto, la fuerza en cada travesaño es igual a un tercio de la fuerza total, tanto horizontal como vertical, entonces:

$$M_x = \frac{7}{3} \times F_p \times \left( \frac{p}{2} + L \right) = \frac{7}{3} \times 108.11 \times \left( \frac{250}{2} + 38 \right) = 41117.84 \text{ N} \times \text{mm}$$

**Figura 4.54**

*Union soldada entre el travesaño y la barra del bastidor*



*Nota:* la figura representa la unión soldada del travesaño y el bastidor. Donde;  $G$ : centro de gravedad del grupo de juntas,  $N_x$  y  $N_z$ : ubicación del centro de gravedad,  $b$  y  $d$ : longitudes de base y altura del grupo de juntas,  $c$ : distancia del centro de gravedad al punto más alejado.

De la tabla se selecciona el tamaño del cordón de soldadura  $h = \frac{1}{8} \text{ pulg} \approx 3.17 \text{ mm}$

(ver **Anexo A.6**).

Para calcular los esfuerzos en el cordón de soldadura se utilizó la tabla propiedades del cordón de soldadura tratado como línea (ver **Anexo A.13**), según el perfil correspondiente al grupo de juntas. Las longitudes del perfil del grupo de juntas correspondientes al lado exterior de la barra del bastidor y el ancho del travesaño son de  $d = 38 \text{ mm}$  y  $b = 38 \text{ mm}$ .

La ubicación del centro de gravedad es:

$$N_x = \frac{d}{2} = \frac{38}{2} = 19 \text{ mm}$$

$$N_z = \frac{b}{2} = \frac{38}{2} = 19 \text{ mm}$$

Longitud del grupo de juntas es:

$$l = 2 \times d = 2 \times (38) = 76 \text{ mm}$$

Distancia del centroide al punto más alejado del grupo de juntas es:

$$c = \sqrt{N_x^2 + N_z^2} = \sqrt{19^2 + 19^2} = 26.87 \text{ mm}$$

El momento resistente unitario respecto al eje  $X$  es:

$$Z_{wx} = \frac{d^2}{3} = \frac{38^2}{3} = 481.33 \text{ mm}^2$$

El esfuerzo cortante en la dirección de  $Z$  es:

$$\tau'_z = \frac{\left(\frac{7}{3} \times F_p\right)}{0.707 \times h \times l} = \frac{\left(\frac{7}{3} \times 108.11\right)}{0.707 \times 3.175 \times 76} = 1.48 \text{ Mpa}$$

El esfuerzo por carga axial en la dirección de  $Y$  es:

$$\tau'_y = \frac{\left(\frac{7}{3} \times V_p\right)}{0.707 \times h \times l} = \frac{\left(\frac{7}{3} \times 17.54\right)}{0.707 \times 3.175 \times 76} = 0.24 \text{ Mpa}$$

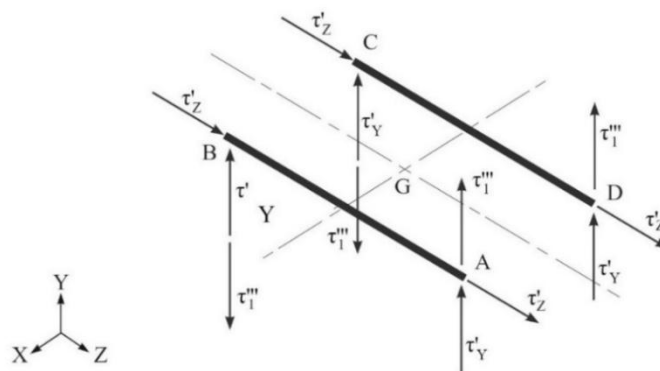
El esfuerzo por flexión respecto al eje  $X$  es:

$$\tau'''_1 = \frac{M_x}{0.707 \times h \times Z_{wx}} = \frac{41117.84}{0.707 \times 3.175 \times 481.33} = 38.06 \text{ Mpa}$$

La **Figura 4.55** muestra la distribución de esfuerzos en la junta de soldadura entre el travesaño y el bastidor, las cargas se transmiten a lo largo del cordón de soldadura.

**Figura 4.55**

*Distribución de esfuerzos sobre la junta de soldadura del travesaño y el bastidor*



*Nota:* la figura representa la distribución de esfuerzos sobre el travesaño y el bastidor.

El punto de mayor carga es en el punto “B”, el esfuerzo resultante es:

$$\tau_R = \sqrt{\tau_Y^2 + \tau_Z^2} = \sqrt{(\tau'_Y - \tau'''_1)^2 + (\tau'_Z)^2} = \sqrt{(0.24 + 38.06)^2 + (1.48)^2} = 38.33 \text{ MPa}$$

De la tabla el esfuerzo permisible es  $0.3 S_{ut}$ , para carga cortante y soldadura de filete, el esfuerzo resultante no debe exceder al esfuerzo permisible (ver **Anexo A.7**), entonces:

$$\tau_R = 0.3 S_{ut}$$

Por lo tanto, la resistencia a la tensión del metal de aporte es:

$$S_{ut} = \frac{\tau_R}{0.3} = \frac{26.766}{0.3} = 79.22 \text{ MPa}$$

De la tabla se selecciona un electrodo E6011, con una resistencia a la tensión  $S_{ut} = 427 \text{ MPa}$  (ver **Anexo A.8**).

#### 4.3.5 Cálculo de las uniones empernadas de las púas de la rastra

Para el cálculo se considera las cargas de reacción del suelo que actúan sobre las 18 púas de la rastra.

Carga de tracción directa:

$$F_t = \frac{V_Y}{n} = \frac{315.71}{18} = 17.54 \text{ N}$$

Carga de corte directa:

$$F_s = \frac{F}{n} = \frac{1946}{2} = 108.11 \text{ N}$$

Donde;  $B_Y$  y  $B_Z$ : cargas actuantes de tracción y de corte,  $n$ : numero de pernos.

Carga equivalente:

$$F_e = \sqrt{17.54^2 + 3 \times 108.11^2} = 188 \text{ N}$$

Área de esfuerzo:

$$A_s = \left( \frac{6 \times F_e}{S_y} \right)^{\frac{2}{3}} = \left( \frac{6 \times 591}{240} \right)^{\frac{2}{3}} = 2.73 \text{ mm}^2$$

De la tabla  $S_y = 250 \text{ MPa}$  para un acero ASTM A36 (ver **Anexo A.27**). Se obtuvo un área mínima requerida de  $2.73 \text{ mm}^2$  que corresponde a un diámetro de perno menor a un M4. Sin embargo, el diámetro de las púas es  $12.7 \text{ mm}$ . Por lo que se optó utilizar una rosca M12.

Ajuste inicial del perno:

$$F_i \leq 0.8 S_y A_s$$

De la tabla  $A_s = 83.24 \text{ mm}^2$  para un perno M12

$$F_i = 0.8 S_y A_s = 0.8 \times 250 \times 83.24 = 16648 \text{ N}$$

Torque de ajuste considerando pernos no lubricados:

$$T = 0.20 \times F_i \times d_b = 37.62 \text{ N} \times m$$

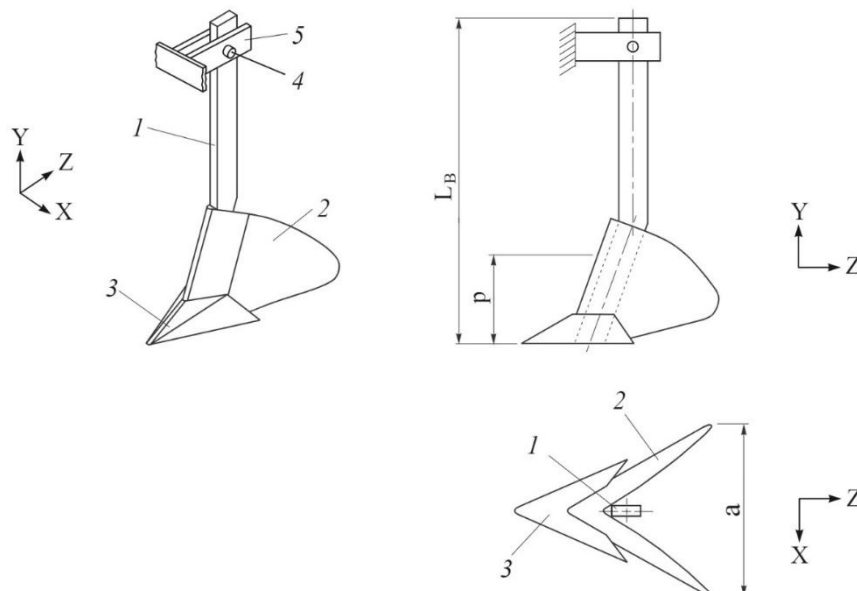
El diámetro del vástago es:  $d_b = 11.3 \text{ mm}$  para un perno M12

#### 4.4 Diseño de los componentes del aporcador

El aporcador es un implemento cuya función es levantar la tierra para formar caballones de tierra. Su diseño se basa en un equilibrio entre penetrar el suelo eficientemente, ofrecer la mínima resistencia posible y dar forma adecuada a la tierra, logrando mediante la interacción de sus partes.

**Figura 4.56**

*Partes del aporcador*



*Nota:* la figura representa las partes más importantes del aporcador. Donde; 1 brazo de soporte, 2 vertedera, 3 punta del aporcador, 4 pasador de enganche, 5 acople de herramientas,  $L_B$ : longitud del brazo de soporte,  $p$ : profundidad de trabajo,  $a$ : ancho de trabajo.

## Materiales para el diseño del aporcador

Para el brazo del soporte se emplea el mismo perfil utilizado para el brazo del arado, el cual es una barra de perfil rectangular de acero ASTM A36, con un ancho de  $w =$

$3 \text{ Pulg} \approx 76.2 \text{ mm}$  y espesor de  $t = \frac{1}{2} \text{ Pulg} \approx 12.7 \text{ mm}$  (ver **Anexo B.5**).

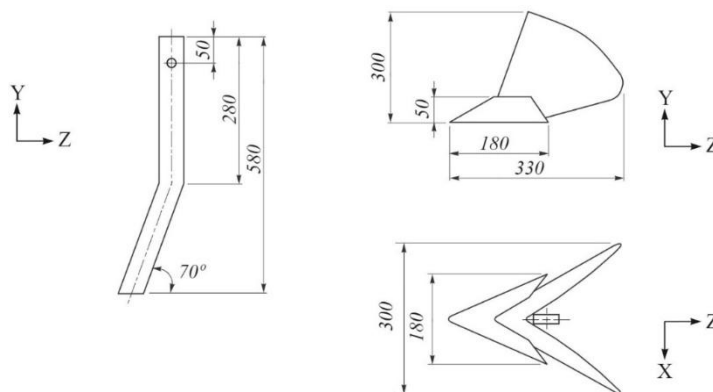
Para la vertedera se utiliza una lámina de acero ASTM A36 de  $e = 3 \text{ mm}$  de espesor seleccionado del catálogo (ver **Anexo B.4**).

Para la punta se utiliza una plancha anti desgaste de acero ASTM A653 de  $\frac{1}{4} \text{ pulg} \approx 6.35 \text{ mm}$  de espesor seleccionado del catálogo (ver **Anexo B.8**).

La **Figura 4.57** muestra las dimensiones de los componentes del aporcador comprenden las medidas de sus partes principales, como alas o vertederas, bastidor, soportes y sistema de enganche.

**Figura 4.57**

*Dimensiones de los componentes del aporcador*



*Nota:* la figura representa las dimensiones de los componentes del aporcador.

### 4.4.1 Fuerzas empleadas en el aporcador

Las fuerzas dependen de la velocidad de operación, la sección de laboreo y el tipo de suelo, la velocidad de operación del aporcador se establece en  $4.5 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  (ver **Anexo A.2**), el número de cuerpos del aporcador es de  $n = 1$ , la profundidad requerida es de  $p = 20 \text{ cm}$  y el

ancho de trabajo de  $a = 30 \text{ cm}$  y la resistencia específica calculada anteriormente para un suelo franco es de  $\mu = 3.405 \frac{N}{\text{cm}^2}$ , sustituyendo los valores en la Ec. (4.4) y Ec. (4.3) se tiene:

$$S = 1 \times 30 \times 20 = 600 \text{ cm}^2$$

$$F = 3.405 \times 600 = 2043 \text{ N}$$

La potencia necesaria para el funcionamiento del aporcador se determina sustituyendo los valores en la Ec. (4.2), entonces:

$$P_r = 2043 \times 4.5 \times \left( \frac{1000}{3600} \right) = 3.31 \text{ hp} \approx 2432 \text{ W}$$

Para suelos arcillosos, la componente vertical de la fuerza de resistencia del suelo es igual al 25% de la fuerza de tiro. Por lo tanto, la componente vertical será:

$$R_y = \frac{25}{100} \times F = \frac{25}{100} \times 2043 = 510.75 \text{ N}$$

El peso teórico de los componentes del aporcador se calcula a partir del volumen de cada elemento y la densidad del material como se muestra en la **Tabla 4.21**. Este procedimiento permite estimar el peso de partes como brazo del aporcador, vertedera y la punta. La suma de los pesos individuales proporciona el peso total del implemento.

**Tabla 4.21**

*Peso teórico de los componentes del aporcador*

| Cantidad               | Descripción                         | Medidas             | Peso Unitario           | Peso Total (kg) |
|------------------------|-------------------------------------|---------------------|-------------------------|-----------------|
| 1                      | Barra rectangular (brazo del arado) | 0.6 m               | 7.6 kg/m                | 4.6             |
| 1                      | Lamina de acero (Vertedera)         | 0.2 m <sup>2</sup>  | 23.55 kg/m <sup>2</sup> | 4.71            |
| 1                      | Plancha anti desgaste (punta)       | 0.02 m <sup>2</sup> | 49.85 kg/m <sup>2</sup> | 1               |
| <b>PESO TOTAL (Σ):</b> |                                     |                     |                         | <b>10.31 kg</b> |

*Nota:* la tabla representa el peso teórico del aporcador.

La fuerza vertical total que actúa sobre el aporcador es:

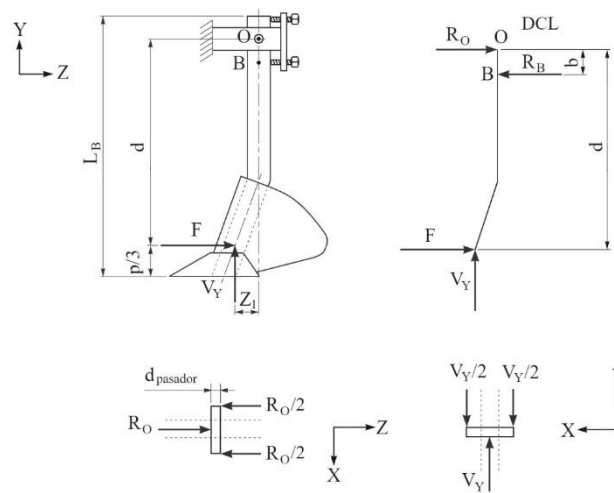
$$V_Y = R_Y - W_{imp} = 510.75 - 10.31 \times (9.81) = 409.61 \text{ N}$$

#### 4.4.2 Diseño estructural del aporcador

Consiste en definir la configuración, dimensiones y materiales de sus elementos principales, como alas, bastidor y soportes, considerando las cargas generadas durante el trabajo en el suelo.

**Figura 4.58**

*Fuerzas que actúan sobre el aporcador y el pasador de enganche*



*Nota:* la figura representa las fuerzas sobre el aporcador y el pasador. Donde;  $R_O$  y  $R_B$ : fuerzas de reacción en el brazo de soporte,  $d$  y  $L_1$ : distancias del punto "O" (ubicación del pasador) al punto de aplicación de la fuerza,  $d_{pasador}$ : diámetro del pasador de enganche.

De la **Figura 4.57**, las distancias del punto de aplicación de la fuerza al pasador son:

$$d = L_B - 50 - \frac{p}{3} = 580 - 50 - \frac{200}{3} = 463.3 \text{ mm}$$

$$Z_1 = \frac{(L_B - 280) - \frac{p}{3}}{\tan 70^\circ} = \frac{(580 - 280) - \frac{200}{3}}{\tan 70^\circ} = 84.94 \text{ mm}$$

Para comprobar la resistencia del pasador de enganche del aporcador, determinamos las fuerzas que actúan sobre el pasador, considerando  $b = 50.8 \text{ mm}$ . Utilizando las ecuaciones de equilibrio se tiene:

$$\sum M_o = 0; (+\odot)$$

$$d \times (F) - Z_1 \times (V_Y) - b \times (R_B) = 0$$

$$463.3 \times (2043) - 84.94 \times (409.61) - 50.8 \times R_B = 0$$

$$R_B = 17947.43 \text{ N}$$

$$\sum F_Z = 0; (+\rightarrow)$$

$$F - R_B + R_O = 0$$

$$2043 - 17947.43 + R_O = 0$$

$$R_O = 15904.43 \text{ N}$$

La fuerza de corte resultante sobre la sección del pasador es:

$$P = \sqrt{\left(\frac{R_O}{2}\right)^2 + \left(\frac{V_Y}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{15904.43}{2}\right)^2 + \left(\frac{370.66}{2}\right)^2} = 7954.5 \text{ N}$$

El esfuerzo cortante máximo sobre la sección del pasador, el diámetro del pasador calculado anteriormente es de  $d_{pasador} = 12.7 \text{ mm}$ , entonces:

$$\tau_{max} = \frac{4}{3} \times \frac{P}{\left(\frac{\pi}{4}\right) \times d^2} = \frac{4}{3} \times \frac{7954.5}{\left(\frac{\pi}{4}\right) \times 12.7^2} = 83.725 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad se determina sustituyendo los valores en la Ec. (4.38), el límite de fluencia al cortante calculado anteriormente es de  $S_{sy} = 196.2 \text{ MPa}$ , entonces:

$$FS = \frac{196.2}{83.725} = 2.34$$

Por lo tanto, se concluye que el pasador de enganche posee la resistencia suficiente para soportar las cargas aplicadas, por lo que no presentara falla por resistencia durante su funcionamiento.

El esfuerzo de aplastamiento producido por el pasador sobre la superficie de contacto en el brazo de soporte es:

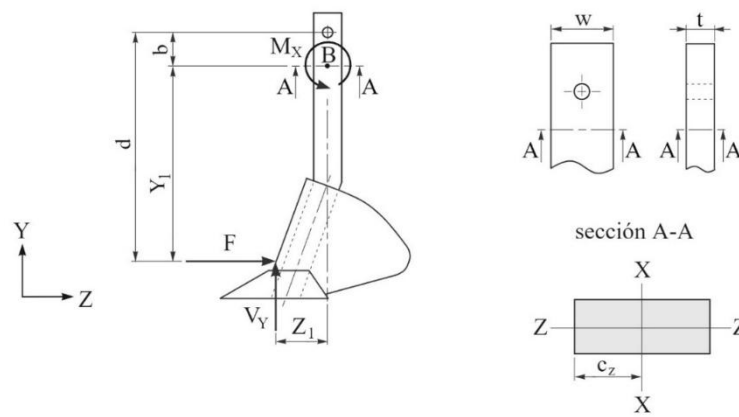
$$\sigma_b = \frac{P}{A} = \frac{P}{t \times d_{pasador}} = \frac{7954.5}{12.7 \times 12.7} = 49.32 \text{ MPa}$$

El esfuerzo por aplastamiento es menor que el límite de fluencia del material  $49.32 \text{ MPa} < 250 \text{ MPa}$ , por lo que el material del brazo del arado no fallara por aplastamiento.

Para comprobar la resistencia del brazo del soporte se analizó el punto "B" correspondiente a la sección A-A, considerado como la sección de mayor carga.

**Figura 4.59**

*Cargas que actúan sobre la sección A-A del brazo de soporte*



*Nota:* la figura representa las cargas que actúan sobre la sección A-A del brazo de soporte. Donde;  $M_X$ : momento por flexión sobre la sección A-A,  $c_z$ : distancia desde el eje neutro en X a la fibra mas alejada de la seccion.

El momento por flexión sobre la sección A-A es:

$$M_X = F \times (Y_1) - V_Y \times (Z_1)$$

$$Y_1 = (d - b) = 463.3 - 50.8 = 412.5 \text{ mm}$$

$$M_X = 2043 \times 412.5 - 409.61 \times 84.94 = 807945.23 \text{ N} \times \text{mm}$$

Esfuerzo normal por carga axial:

$$\sigma_n = \frac{V_Y}{A} = \frac{V_Y}{w \times t} = \frac{409.61}{76.2 \times 12.7} = 0.423 \text{ MPa}$$

Esfuerzo normal por flexión respecto a X, el momento de inercia con respecto a "X"  $I_X = 468260.35 \text{ mm}^4$  y la distancia del eje neutro a la fibra más alejada es  $C_Z = 38.1 \text{ mm}$ , se determinaron anteriormente para la sección A-A, entonces:

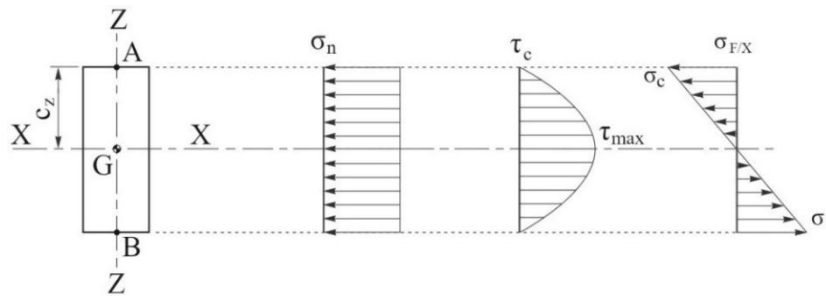
$$\sigma_{F/X} = \frac{M_X \times C_Z}{I_X} = \frac{807945.23 \times 38.1}{468260.35} = 65.74 \text{ MPa}$$

El esfuerzo cortante máximo debido a carga transversal en dirección de  $Z$  es:

$$\tau_{max} = \frac{3R_B}{2A} = \frac{3R_B}{2(w \times t)} = \frac{3 \times 17947.43}{2(76.2 \times 12.7)} = 27.82 \text{ Mpa}$$

**Figura 4.60**

*Distribución de cargas sobre la sección A-A del brazo de soporte del aporcador*



*Nota:* la figura representa la distribución de cargas en la sección A-A en el aporcador.

En la **Figura 4.60** muestra la distribución de cargas en la sección A–A del brazo de soporte del aporcador muestra cómo las fuerzas de tracción y las reacciones del suelo se reparten a lo largo de la sección.

El punto de mayor carga es en el punto “A”, el esfuerzo normal en ese punto es:

$$\sigma = \sigma_{F/X} + \sigma_n = 0.423 + 65.74 = 66.16 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad se determina sustituyendo los valores en la Ec. (4.38):

$$FS = \frac{250}{66.16} = 3.7$$

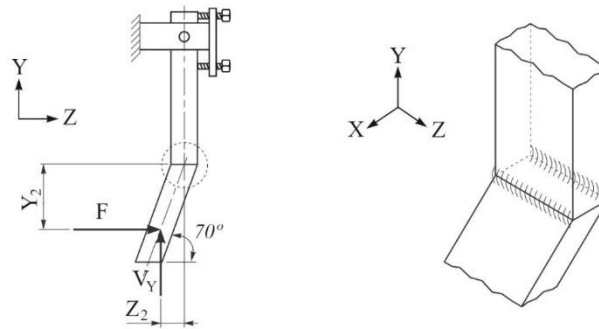
Por lo tanto, se concluye que el material del brazo de soporte tiene la resistencia suficiente para soportar las cargas aplicadas, por lo que no presenta falla por resistencia.

#### **4.4.3 Diseño de soldadura del brazo del aporcador**

La soldadura del brazo de soporte del aporcador consiste en determinar la capacidad del cordón de soldadura para resistir las cargas aplicadas, considerando principalmente esfuerzos de corte, tracción y flexión.

**Figura 4.61**

*Cargas que actúan sobre el brazo de soporte del aporcador*



*Nota:* la figura representa las cargas que actúan sobre el brazo de soporte del aporcador.

De la **Figura 4.57**, las distancias del punto de aplicación de la fuerza al pasador son:

$$Y_2 = (L_B - 280) - \frac{p}{3} = (580 - 280) - \frac{200}{3} = 233.3 \text{ mm}$$

$$Z_2 = Z_1 = 84.94 \text{ mm}$$

El momento por flexión sobre la sección de la unión de soldadura del brazo es:

$$M_X = F \times (Y_2) - V_Y \times (Z_2) = 2043 \times (233.3) - 409.61 \times (84.94) = 441839.63 \text{ N} \times \text{mm}$$

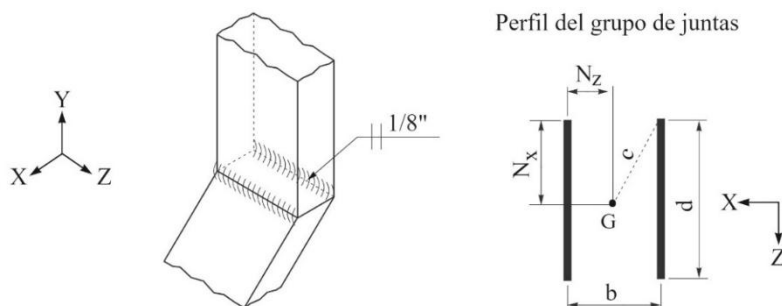
#### **Tamaño del cordón de la soldadura**

De la tabla se selecciona el tamaño del cordón de soldadura  $h = \frac{1}{8} \text{ pulg} \approx 3.17 \text{ mm}$ ,

ya que cumple con las condiciones de diseño establecidas para la unión (ver **Anexo A.6**).

**Figura 4.62**

*Unión soldada del brazo de soporte del aporcador*



*Nota:* la figura representa la unión soldada del brazo de soporte del aporcador. Donde;  $G$ : centro de gravedad del grupo de juntas,  $N_x$  y  $N_z$ : ubicación del centro de gravedad,  $b$  y  $d$ : longitudes

de base y altura del grupo de juntas,  $c$ : distancia del centro de gravedad al punto más alejado del grupo de juntas.

Para calcular los esfuerzos en el cordón de soldadura se utilizó la tabla propiedades del cordón de soldadura tratado como línea (ver **Anexo A.13**), según el perfil correspondiente al grupo de juntas. Las longitudes del perfil del grupo de juntas del brazo del soporte son de  $d = 76.2 \text{ mm}$  y  $b = 12.7 \text{ mm}$ .

La ubicación del centro de gravedad es:

$$N_x = \frac{d}{2} = \frac{76.2}{2} = 38.1 \text{ mm}$$

$$N_z = \frac{b}{2} = \frac{12.7}{2} = 6.35 \text{ mm}$$

Longitud del grupo de juntas es:

$$l = 2 \times d = 2 \times (76.2) = 152.4 \text{ mm}$$

La distancia del centroide al punto más alejado del grupo de juntas es:

$$c = \sqrt{N_x^2 + N_z^2} = \sqrt{38.1^2 + 6.35^2} = 38.63 \text{ mm}$$

El momento resistente unitario respecto al eje  $X$  es:

$$Z_{wx} = \frac{d^2}{3} = \frac{76.2^2}{3} = 1935.48 \text{ mm}^2$$

El esfuerzo cortante en la dirección de  $Z$  es:

$$\tau'_z = \frac{F}{0.707 \times h \times l} = \frac{2043}{0.707 \times 3.17 \times 152.4} = 5.98 \text{ Mpa}$$

El esfuerzo por tracción en la dirección de  $Y$  es:

$$\tau'_y = \frac{V_Y}{0.707 \times h \times l} = \frac{409.61}{0.707 \times 3.17 \times 152.4} = 1.2 \text{ Mpa}$$

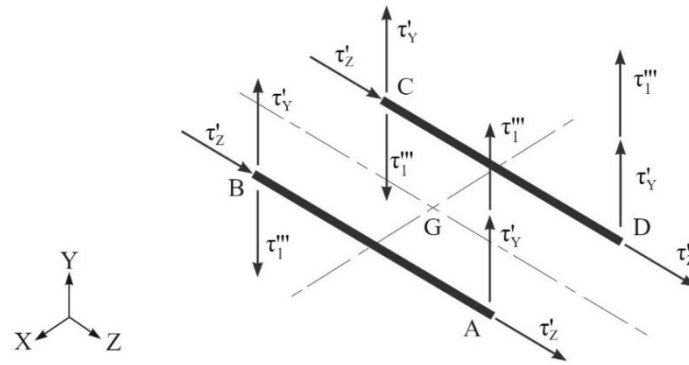
El esfuerzo por flexión respecto al eje  $X$  es:

$$\tau'''_1 = \frac{M_X}{0.707 \times h \times Z_{wx}} = \frac{441839.63}{0.707 \times 3.17 \times 1935.48} = 101.86 \text{ Mpa}$$

En la **Figura 4.63** muestra la distribución de esfuerzos en la junta de soldadura del brazo del aporcador muestra cómo las cargas se transmiten a lo largo del cordón de soldadura.

**Figura 4.63**

*Distribución de esfuerzos sobre la junta de soldadura del brazo del aporcador*



*Nota:* la figura representa la distribución de esfuerzos sobre la junta del brazo del aporcador.

El punto de mayor carga es en el punto “D”, el esfuerzo resultante es:

$$\tau_R = \sqrt{\tau_Y'^2 + \tau_Z'^2} = \sqrt{(\tau_Y' + \tau_1''')^2 + (\tau_Z')^2}$$

$$\tau_R = \sqrt{(1.2 + 101.86)^2 + (5.98)^2} = 103.23 \text{ MPa}$$

De la tabla el esfuerzo permisible es  $0.3 S_{ut}$ , para carga cortante y soldadura de filete, el esfuerzo resultante no debe exceder al esfuerzo permisible (ver **Anexo A.7**), entonces:

$$\tau_R = 0.3 S_{ut}$$

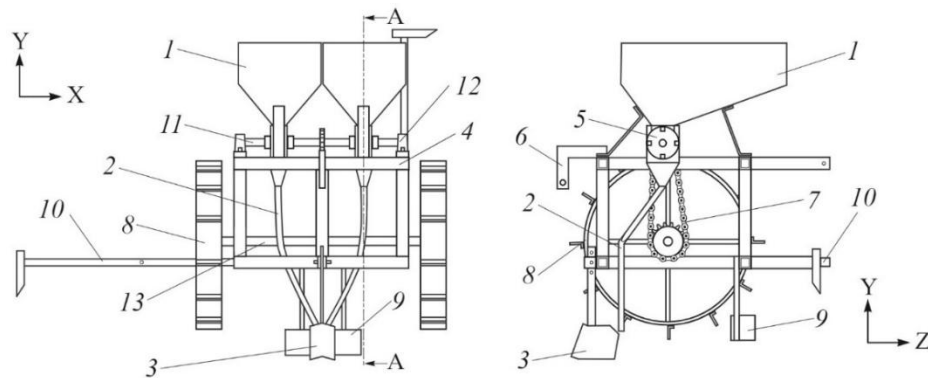
Por lo tanto, la resistencia a la tensión del metal de aporte es:

$$S_{ut} = \frac{\tau_R}{0.3} = \frac{103.23}{0.3} = 344.1 \text{ MPa}$$

De la tabla se selecciona un electrodo E6011, con una resistencia a la tensión  $S_{ut} = 427 \text{ MPa}$ , por cumplir con los requerimientos de diseño de la unión soldada (ver **Anexo A.8**).

#### 4.5 Diseño de los componentes de la sembradora de maíz blanco gigante

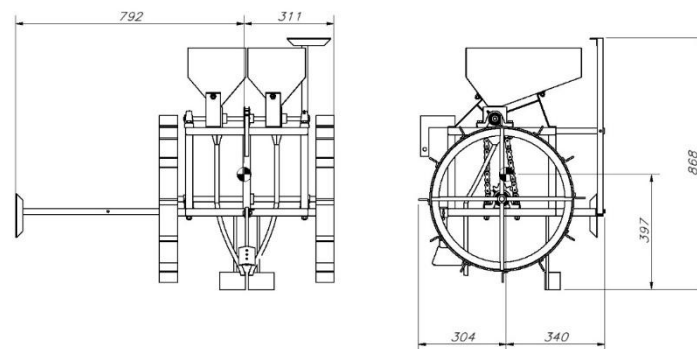
El diseño de la sembradora de maíz blanco gigante comprende elementos como tolva, dosificador, transmisión y abridor de surco, diseñados para asegurar una siembra uniforme según las condiciones del cultivo y del suelo.

**Figura 4.64***Componentes de la sembradora*

*Nota:* la figura representa los componentes más importantes de la sembradora, Donde; 1 tolvas de semilla y fertilizante, 2 tubos de suministro de semillas y fertilizante, 3 surcador, 4 bastidor, 5 dosificador de semillas y fertilizantes, 6 acople al Multicultor, 7 transmisión por cadena de rodillos, 8 ruedas metálicas, 9 sistema de tapado del surco, 10 marcador de surco, 11 eje de los dosificadores, 12 chumaceras, 13 eje de las ruedas.

#### 4.5.1 Ángulo máximo de inclinación lateral

El ángulo máximo de inclinación se determina sustituyendo los valores en la Ec. (4.1). El centro de gravedad de la sembradora (ver **Figura 4.65**) para conocer el punto de aplicación de cargas permanentes o peso propio de la máquina, con la ayuda del software SolidWorks se puede observar las coordenadas  $G_y = 397 \text{ mm}$ ,  $G_z = 304 \text{ mm}$   $S = 600 \text{ mm}$ , entonces.

**Figura 4.65***Centro de gravedad de la sembradora*

*Nota:* la figura representa centro gravedad de la sembradora.

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{644}{2 \times 397} \right) = 39.05^\circ$$

Entonces, el ángulo máximo resulta:

$$\theta_{\max} = \frac{2}{3} \times 39.05^\circ = 26^\circ$$

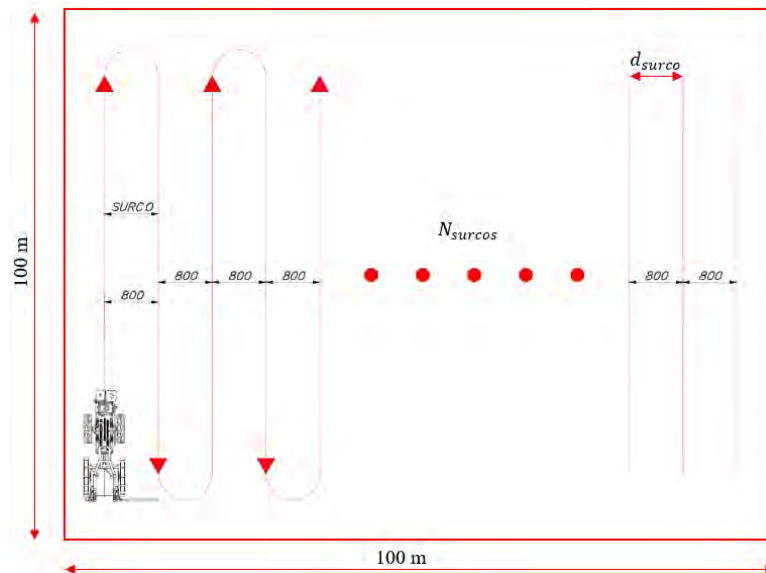
Por lo tanto, el ángulo máximo aproximado de la pendiente pronunciada que podrá trabajar sin vuelco la sembradora es  $\theta_{\max} = 26^\circ$ .

#### 4.5.2 Parámetros para el cálculo de la sembradora de maíz blanco gigante

Según la recomendación del Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria (INIA, 2013) se establece la distancia entre surcos  $d_{\text{surco}} = 0.8 \text{ m}$ ; distancia de separación entre semillas  $d_{\text{separación}} = 0.2 \text{ m}$ ; profundidad de siembra  $d_{\text{profundidad}} = 0.08 \text{ m}$ ; número de semillas por golpe  $N_{\text{semillas}} = 1 \text{ semillas}$ , para los cálculos se toma en consideración un terreno de una hectárea de terreno como se presenta en la **Figura 4.66**.

**Figura 4.66**

*Recorrido del Multicultor en una hectárea de terreno*



*Nota:* la figura muestra el recorrido del Multicultor en una hectárea de terreno

Para determinar la cantidad de surcos  $N_{\text{surcos}}$  utilizaremos la relación de  $\frac{l}{d_{\text{surco}}}$ , teniendo en cuenta la longitud recta corrida, descontando la distancia de giro  $d_{\text{giro}}$  del Multicultor.

$$N_{surcos} = \frac{l}{d_{surco}} = \frac{100 \frac{m}{ha}}{0.80 \frac{m}{surcos}} = 125 \frac{surcos}{ha}$$

Teniendo número de surcos, y cada surco mide 100 m, procedemos a calcular la distancia total  $d_{total}$  que recorrerá la máquina con la ecuación siguiente.

$$d_{total} = N_{surcos} \times 100 = 125 \times 100 = 12500 \frac{m}{ha}$$

Para determinar el número de semillas requeridas  $N_{semillas}$  usaremos la ecuación siguiente, sabiendo que el recorrido total es de  $d_{total} = 12500 \frac{m}{ha}$  y distancia de separación  $d_{separación} = 0.2 m$ .

$$N_{semillas} = \frac{d_{total}}{d_{separación}} = \frac{12500 \frac{m}{ha}}{0.2 \frac{m}{golpe}} = 62500 \frac{golpe}{ha}$$

Se depositará 1 semilla por golpe. Entonces número de semillas requeridas en total  $N_{semilla total}$  se determina con la siguiente ecuación.

$$N_{semilla total} = N_{semillas} \times 1 \text{ semillas} = 62500 \frac{golpe}{ha} \times 1 \frac{semillas}{golpe} = 62500 \frac{semillas}{ha}$$

Según al cálculo se conoce el peso promedio de cada semilla de maíz blanco gigante  $W_{maíz} = 1.45 \text{ gr}$  (ver **Anexo C.1**), entonces podemos calcular el peso requerido de las semillas  $W_{requerido semillas}$  para una hectárea de terreno en kilogramos y luego en arrobas con la ecuación siguiente.

$$W_{requerido semillas} = N_{sem} \times W_{maíz} = 62500 \frac{sem}{ha} \times 1.45 \times 10^{-3} \frac{kg}{sem} = 90.625 \frac{kg}{ha}$$

Por lo tanto, se requieren 90.625 kg (7.25 arrobas) de semilla de maíz por hectárea. Considerando que las parcelas de la comunidad de Urco son menores  $\frac{1}{3}$  de hectárea, se propone diseñar una tolva con capacidad mínima de 7 a 8 kg para reducir las recargas durante la siembra.

#### 4.5.3 Diseño de la capacidad de la tolva de semillas

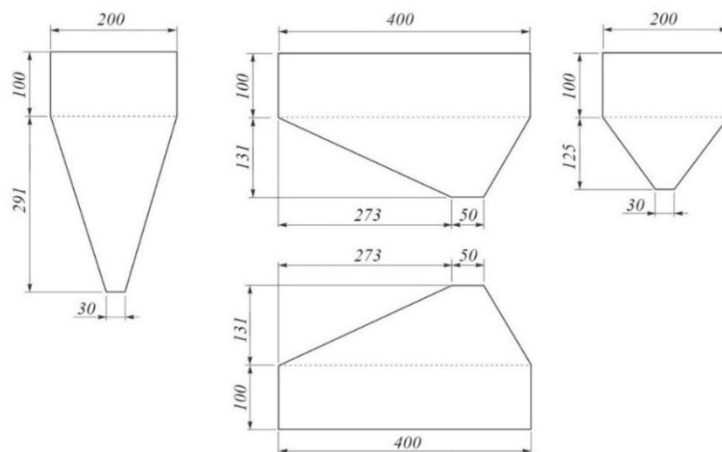
La tolva almacenará semillas y fertilizantes como mínimo, entre 8 kg de semillas y 8 kg de fertilizante, para el cálculo de la capacidad del volumen requerido de la tolva, usaremos la densidad de la semilla de maíz blanco gigante calculado de  $725 \frac{kg}{m^3}$  (ver **Anexo C.1**).

$$V_{tolva} = \frac{8 \text{ kg}}{\rho_{\text{maíz blanco gigante}}} = \frac{8 \text{ kg}}{725 \frac{kg}{m^3}} \left( \frac{10^6 \text{ cm}^3}{1 \text{ m}^3} \right) = 11034.5 \text{ cm}^3$$

La geometría de la tolva estará constituida por dos partes, la primera tiene la forma de una pirámide trunca, la segunda de un rectangular, como se presenta en la figura siguiente.

**Figura 4.67**

*Geometría y sus dimensiones de la tolva*



*Nota:* la figura representa la geometría de la tolva.

Para hallar el volumen de la tolva, lo calcularemos como la suma de los dos cuerpos independientes (pirámide trunca y prisma rectangular) como se ve en la **Figura 4.67**.

$$V_1 = \frac{h}{3} (A_B + A_b + \sqrt{A_B \times A_b})$$

$$V_1 = \frac{100}{3} (80000 + 1500 + \sqrt{80000 \times 1500}) = 3081.81 \text{ cm}^3$$

$$V_2 = A_B \times h = 80000 \times 100 = 8000 \text{ cm}^3$$

$$V_{tolva} = V_1 + V_2 = 11081.81 \text{ cm}^3$$

Dado que el volumen de la tolva de semillas diseñada es de  $11081.81 \text{ cm}^3$ , por lo tanto, es mayor que el requerido  $11034.5 \text{ cm}^3$  entonces el diseño es seguro. El material seleccionado es el acero inoxidable ASTM 240 (ver **Anexo B.15**).

### **Volumen de la tolva de fertilizante**

Para facilitar la construcción y asegurar un funcionamiento equilibrado de la sembradora, se adopta la misma forma y dimensiones para la tolva de fertilizante y la tolva de semillas. Esto garantiza simetría, equilibrio operativo y simplicidad constructiva.

### **Tubos de suministro de semillas y fertilizantes**

Los tubos de semillas y fertilizantes serán de plástico transparente y conectarán el dosificador con el abridor de surcos en la parte posterior para conducir las semillas y fertilizantes. Se selecciona tubos de 1 pulg (25.4 mm) de diámetro y 1.5 mm de espesor, dimensiones que favorecen el flujo adecuado de las semillas y fertilizantes.

#### **4.5.4 Diseño del surcador**

El surcador es el elemento encargado de abrir el suelo y formar los surcos donde se depositan las semillas provenientes de la tolva mediante el dosificador. Está compuesto por una punta abridora y un brazo de soporte unido al bastidor mediante un pasador de enganche. El ancho y la profundidad del surco es  $a = 5.5 \text{ cm}$  y  $p = 8 \text{ cm}$ . La sección de laboreo del surcador se determina con la Ec. (4.4).

$$S = 1 \times 5.5 \times 8 = 44 \text{ cm}^2$$

Determinamos la resistencia específica del suelo  $\mu = 3.405 \frac{N}{\text{cm}^2}$ , para un suelo de textura media (ver **Anexo A.1**) a una velocidad de  $v = 4.5 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  (ver **Anexo A.2**). La fuerza de tiro requerida para abrir el surco se determina con la Ec. (4.3).

$$F = 3.405 \times 44 = 149.82 \text{ N}$$

La componente vertical de la fuerza de resistencia del suelo es igual al 25% de la fuerza de tiro. Por lo tanto, la componente vertical es:

$$V = \frac{25}{100} \times F = \frac{25}{100} \times 149.82 = 37.455 \text{ N}$$

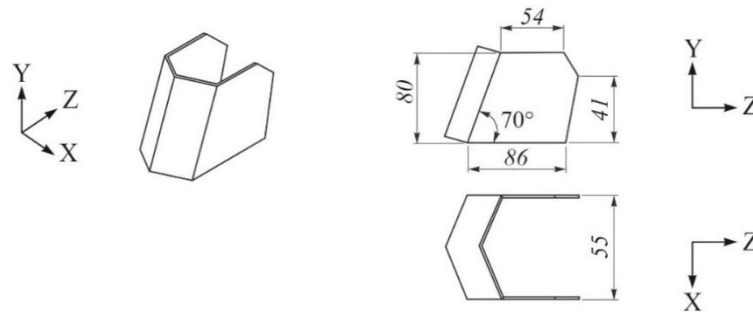
El par torsional requerido en las ruedas para abrir el surco es, cuando el diámetro de las ruedas es de  $d = 500 \text{ mm}$ , entonces:

$$T = F \times \left(\frac{d}{2}\right) = 149.82 \times \left(\frac{500 \times 10^{-3}}{2}\right) = 37.455 \text{ N} \times m$$

La **Figura 4.68** muestra dimensiones del abridor de surcos.

**Figura 4.68**

*Dimensiones del abridor de surcos*



*Nota:* la figura representa las dimensiones del abridor de surcos.

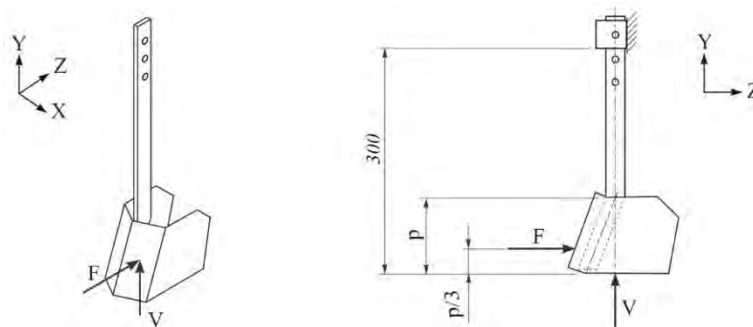
Se utiliza una plancha de acero ASTM A36 con un espesor de 3 mm (ver **Anexo B.4**).

#### 4.5.4.1 Fuerzas que actúan sobre el surcador

Sobre el surcador de surcos actúan principalmente la fuerza de tracción, la resistencia del suelo y fuerzas de reacción del terreno.

**Figura 4.69**

*Fuerzas que actúan sobre el surcador*



*Nota:* la figura representa las fuerzas que actúan sobre el surcador de surcos.

Según la **Figura 4.69** la fuerza de tiro actúa a una altura de  $\frac{p}{3}$  desde la parte inferior del abridor de surcos, el brazo de soporte del abridor de surcos trabaja en la flexión, la altura máxima del brazo es 300 mm.

Para el cálculo del espesor del brazo de soporte "t", se utiliza una barra rectangular con un ancho de  $w = 1 \text{ pulg} \approx 25.4 \text{ mm}$ , entonces:

El momento por flexión sobre la sección del brazo es:

$$M_x = \left(300 \times 10^{-3} - \frac{p}{3}\right) \times F = \left(300 \times 10^{-3} - \frac{80}{3} \times 10^{-3}\right) \times 149.82 = 45.44 \text{ N} \times \text{m}$$

El momento de inercia de la sección del brazo es:

$$I = \frac{t \times w^3}{12} = \frac{t \times 25.4^3}{12} = t \times 1365.6 \text{ mm}^4$$

El esfuerzo normal por flexión es, cuando la distancia desde el eje neutro a la fibra más alejada de la sección es de  $c = \frac{w}{2}$ .

$$\sigma_F = \frac{M_x \times c}{I} = \frac{(45.44 \times 10^3) \times \left(\frac{25.4}{2}\right)}{t \times 1365.6} = \left(\frac{422.68}{t}\right) \text{ MPa}$$

Los esfuerzos máximos se producen en la parte correspondiente a los lados menores de la sección rectangular del brazo de soporte, donde los esfuerzos cortantes son cero.

Para el diseño se consideró un factor de seguridad de 2 para un acero ASTM A36, reemplazando los valores en la Ec. (4.38), resulta:

$$2 = \frac{250}{\left(\frac{422.68}{t}\right)}$$

$$t = 3.38 \text{ mm}$$

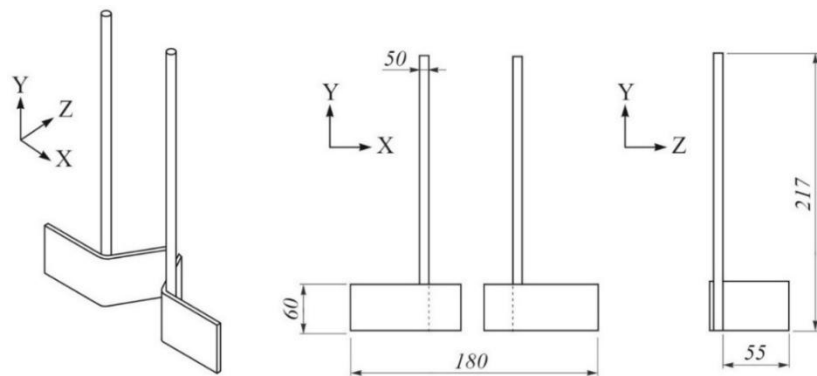
Del catálogo seleccionamos una barra de perfil rectangular de acero ASTM A36, con un ancho de  $w = 1 \text{ Pulg} \approx 25.4 \text{ mm}$  y espesor de  $t = \frac{3}{16} \text{ Pulg} \approx 4.76 \text{ mm}$  (ver **Anexo B.5**).

#### 4.5.5 Diseño del dispositivo de cobertura de suelo

El dispositivo de cobertura de suelo se utiliza para arrastrar la tierra que deja el abridor de surcos, cubriendo con la tierra de los lados la semilla y el fertilizante que fueron depositadas en el surco.

**Figura 4.70**

*Dimensiones de los componentes del dispositivo de cobertura del suelo*



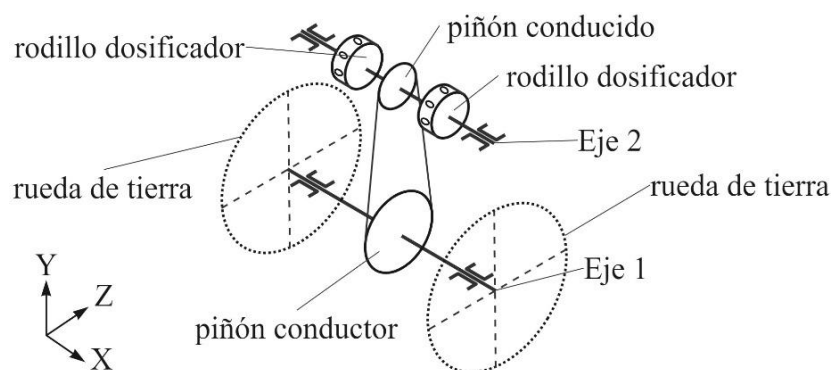
*Nota:* la figura representa las dimensiones de cobertor del suelo.

Para placa de cobertura del suelo se utiliza una plancha de acero ASTM A36 de 3 mm de espesor (ver **Anexo B.4**), doblado en forma de V y esta sujetado por dos varillas de acero ASTM A36 de  $\frac{3}{8}$  Pulg  $\approx 9.52$  mm, que van soldadas al bastidor y a la placa (ver **Anexo B.3**).

#### 4.5.6 Diseño del dosificador de semillas

**Figura 4.71**

*Mecanismo de dosificador*



*Nota:* la figura representa un mecanismo de dosificación

El mecanismo de dosificación es el componente principal de la máquina sembradora de maíz y su función principal es de distribuir las semillas de forma uniforme y controlar su espaciamiento, permitiendo ajustar la tasa de siembra según los requerimientos. El material seleccionado es el acero inoxidable ASTM 276 (ver **Anexo B.14**).

La velocidad angular de la rueda de tierra se determina con la Ec. (4.5), velocidad del Multicultor  $1.25 \frac{m}{s}$ , diámetro de la rueda de tierra (500 mm), entonces:

$$\omega_r = \frac{60 \times 1.25}{\pi \times 500 \times 10^{-3}} = 47.75 \text{ rpm}$$

El número de celdas en el rodillo dosificador de semillas es.

$$m = \frac{\pi \times d}{i \times X} \quad \text{Ec. (4.53)}$$

Donde;  $d$ : Diámetro de la rueda de tierra,  $X$ : Espaciado requerido entre semillas (20 cm),  $m$ : Número de celdas en el rodillo,  $i$ : Relación de transmisión.

Entonces, calculamos el número de celdas del rodillo dosificador, considerando una relación de transmisión de 1.6, sustituyendo los valores en la Ec. (4.53).

$$m = \frac{\pi \times (500 \times 10^{-3})}{1.6 \times 25 \times 10^{-2}} = 3.92 \approx 4 \text{ celdas}$$

Determinamos la velocidad angular del rodillo dosificador con la ecuación siguiente.

$$\omega_d = i \times \omega_r \quad \text{Ec. (4.54)}$$

Entonces, sustituyendo los valores en la Ec. (4.54), resulta:

$$\omega_d = 1.6 \times 47.75 = 75.4 \text{ rpm}$$

y la velocidad tangencial del rodillo dosificador se despeja de la Ec. (4.5).

$$v_d = \frac{\pi \times d_d \times \omega_d}{60} = \frac{\pi \times 80(10^{-3}) \times 75.4}{60} = 0.32 \frac{m}{s}$$

Donde:  $d_d$ ; diámetro del rodillo dosificador (80 mm),  $v_d$ : velocidad tangencial del rodillo dosificador,  $\omega_d$ : velocidad angular del rodillo dosificador 75.4 rpm.

Según (Torres Marquez, 2023) la velocidad tangencial para la rotura mínima de la semilla es de  $0.62 \frac{m}{s}$ , valor que se encuentra dentro del rango permitido para garantizar un manejo adecuado durante el proceso de dosificación.

#### 4.5.6.1 Diseño del dosificador de fertilizantes

Se utiliza un rodillo dosificador con las mismas dimensiones y numero de celdas que el dosificador de semillas. Según al catálogo del producto la cantidad de fertilizante por cada grupo de semillas para una hectárea, siendo la cantidad total de fertilizante de  $350 \frac{kg}{ha}$ .

$$cantidad\ por\ golpe = \frac{350 \frac{kg}{ha}}{62500 \frac{golpe}{ha}} = 0.006 \frac{kg}{golpe} = 6 \frac{g}{golpe}$$

El volumen de la celda del dosificador de fertilizante, considerando la densidad promedio del fertilizante ( $1000 \frac{kg}{m^3}$ ).

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{0.006}{1000} = 6 \times 10^{-6} m^3 = 6 cm^3$$

#### 4.5.6.2 Torque necesario para mover el eje del dosificador

Calculamos el torque necesario para mover el eje del dosificador, considerando la inercia de los dos rodillos dosificadores y la fricción en los dos rodamientos.

$$T_2 = 2 \times T_i + 2 \times T_f$$

Donde;  $T_i$ : torque para vencer la inercia,  $T_f$ : torque para vencer la fricción estática.

Determinamos el torque requerido para vencer la inercia de dos dosificadores.

$$T_i = 2 \times (I \times \alpha)$$

Donde;  $I$ : momento de inercia del rodillo dosificador,  $\alpha$ : aceleración angular.

La velocidad angular en el eje del dosificador es:

$$\omega_2 = i \times \omega_1 = 1.6 \times 47.75 = 76.4 rpm$$

Para calcular la aceleración angular se asumirá un tiempo  $t = 1 \text{ s}$  según (Torres Marquez, 2023), en el que alcanza la velocidad de  $\omega_2 = 76.4 \text{ rpm}$ , lo que es igual a  $\omega_2 = 8 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$ , entonces, la aceleración angular es:

$$\alpha = \frac{\omega_2}{t} = \frac{8 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{1 \text{ s}} = 8 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

Determinamos la masa del dosificador, considerando que tiene forma de un cilindro sólido de acero inoxidable ASTM 276 (ver **Anexo B.14**), cuyas dimensiones son de  $r = 40 \text{ mm}$ ,  $h = 35 \text{ mm}$  y densidad  $\rho = 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ , entonces:

$$m = \rho \times \pi \times r^2 \times h = 7850 \times \pi \times (40 \times 10^{-3})^2 \times 35(10^{-3}) = 1.381 \text{ kg}$$

El momento de inercia del rodillo dosificador es:

$$I = \frac{1}{2} \times m \times r^2 = \frac{1}{2} \times 1.381 \times (40 \times 10^{-3})^2 = 1.105 \times 10^{-3} \text{ kg} \times \text{m}^2$$

Reemplazando los valores en la ecuación resulta:

$$T_i = 2 \times (1.105 \times 10^{-3}) \times 8 = 0.0176 \text{ N} \times \text{m}$$

El torque necesario para vencer la fricción, se calculará para un eje de una pulgada de diámetro con dos rodamientos, el coeficiente de fricción del rodamiento es 1.5, entonces:

$$T_f = 2 \times (\mu_s \times F_N \times r_{eje})$$

Donde;  $T_f$ : torque por fricción,  $F_N$ : fuerza normal del peso del dosificador,  $\mu_s$ : coeficiente de fricción estático del rodamiento,  $r$ : radio donde se aplica la fuerza de fricción, para un eje de 1 pulgada el radio en milímetros es  $r_{eje} = 12.7 \text{ mm}$ .

Peso del dosificador:

$$w = m \times g = 1.381 \times 9.81 = 13.547 \text{ N}$$

La fuerza normal es igual al peso del dosificador  $F_N = w = 13.547 \text{ N}$

El torque necesario para vencer la fricción es:

$$T_f = 2 \times (1.5 \times 13.547 \times 12.7(10^{-3})) = 0.516 \text{ N} \times \text{m}$$

Por lo tanto, el torque necesario para mover el eje del dosificador es:

$$T_2 = 0.0176 + 0.516 = 0.533 \text{ N} \times m$$

Con la relación de transmisión, calculamos el torque necesario en las ruedas para accionar el dosificador

$$T_{dosificador} = i \times T_2 = 1.6 \times 0.533 = 0.853 \text{ N} \times m$$

#### 4.5.7 Diseño de la rueda de tracción

La rueda de tierra de la sembradora, tiene diámetro exterior de 500 mm, se diseña como parte integral del mecanismo de dosificación de semillas, conectado directamente a dicho dispositivo. La rueda está compuesta por una platina rectangular de acero ASTM A36, con un ancho  $b = 2\frac{1}{2} \text{ Pulg} \approx 63.5 \text{ mm}$  y espesor  $e = \frac{3}{16} \text{ Pulg} \approx 4.76 \text{ mm}$  doblada en forma circular de 12 paletas de  $1\frac{1}{2} \text{ pulg} \approx 38.1 \text{ mm}$  de largo (ver **Anexo B.5**), soldadas en la periferia de la rueda para un mejor agarre con el suelo y reducir el deslizamiento durante el movimiento en el campo. Cada rueda tiene cuatro rayos de varillas de acero ASTM A36 de  $\frac{1}{2}$ ", soldados a la rueda y al cubo en el centro de la rueda, que sirve de buje o cojinete del eje (ver **Anexo B.3**).

La fuerza de resistencia a la rodadura de la sembradora es:

$$F_r = P \times RR$$

De la tabla se obtiene una resistencia a la rodadura  $RR = 100 \frac{\text{kg}}{\text{ton}}$ , para llantas de acero con orugas en una superficie de arena suelta y graba. Considerando una masa máquina de  $m = 42 \text{ kg}$  (ver **Anexo A.12**).

$$F_r = (42) \times 100 \times (10^{-3}) = 4.2 \text{ kg} = 42.2 \text{ N}$$

El torque producido por la fuerza de resistencia a la rodadura es:

$$T_{rodadura} = F_r \times \left(\frac{d}{2}\right)$$

Donde;  $F_r$ : fuerza de resistencia a la rodadura,  $d$ : diámetro de la rueda de tierra.

$$T_{rodadura} = 42.2 \times \left( \frac{500 \times 10^{-3}}{2} \right) = 10.55 \text{ N} \times m$$

El torque total en las ruedas de la sembradora, considerando el torque para abrir el surco, para accionar el dosificador y de resistencia a la rodadura es:

$$T_1 = T + T_{1 \text{ dosificador}} + T_{rodadura}$$

Entonces:

$$T_1 = 102.15 + 0.853 + 10.55 = 113.55 \text{ N} \times m$$

La fuerza requerida para vencer la inercia estática de la máquina es:

$$F_i = m \times a$$

Considerando una masa máquina de  $m = 42 \text{ kg}$  y una aceleración suave ideal para la siembra es de  $a = 0.2 \frac{m}{s^2}$  según (Torres Marquez, 2023), entonces:

$$F_i = 42 \times 0.2 = 8.4 \text{ N}$$

La fuerza de tiro total para accionar la sembradora es:

$$F_T = \frac{T_1}{\left(\frac{d}{2}\right)} + F_i = \frac{113.55 \times 10^3}{\left(\frac{500}{2}\right)} + 8.4 = 203.84 \text{ N}$$

La potencia requerida para la sembradora es, donde la velocidad angular de la rueda de tierra es de  $\omega_1 = 47.75 \text{ rpm}$ , que equivale a  $\omega_1 = 5 \frac{\text{rad}}{s}$ .

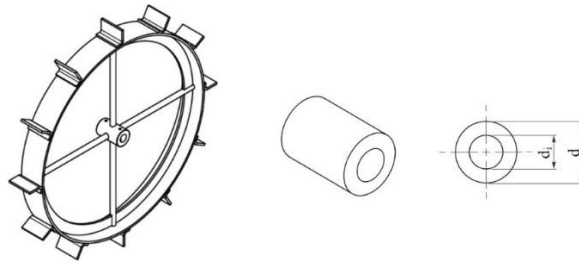
$$P_r = T_1 \times \omega_1 = 113.55 \times 5 = 567.75 \text{ W} = 0.772 \text{ hp}$$

#### 4.5.7.1 Diseño del cubo de las ruedas de la sembradora

El cubo de las ruedas de la sembradora está diseñado como un eje hueco de acero ASTM A36, el cual va soldado a los rayos de la rueda, como se presenta en la siguiente figura.

**Figura 4.72**

*Cubo de las ruedas de la sembradora*



*Nota:* la figura representa al cubo de las ruedas de la sembradora.

El par máximo transmitido es:

$$T_{max} = \frac{\pi}{16} \times \tau \times \frac{(d^4 - d_i^4)}{d}$$

Donde;  $d_i$ : Diámetro interior del cubo o diámetro del eje (19.05 mm),  $d$ : diámetro exterior del cubo,  $\tau$ : esfuerzo cortante admisible para el material cubo (144.25 MPa),  $T_{max}$ : torque total en la rueda.

Sustituyendo los valores en la ecuación el diámetro exterior del cubo es:

$$113.55 \times 10^3 = \frac{\pi}{16} \times 144.25 \times \frac{(d^4 - 19.05^4)}{d}$$

$$d = 22 \text{ mm}$$

El diámetro exterior mínimo para el cubo  $d = 22 \text{ mm}$ , sin embargo, por motivos de disposición geométrica de los elementos de sujeción se optó por utilizar un diámetro exterior  $d = 1\frac{1}{4} \text{ pulg} \approx 31.75 \text{ mm}$ .

#### **4.5.8 Diseño de la transmisión de la sembradora**

Para el diseño y cálculo de la transmisión de la sembradora se sigue el mismo procedimiento empleado en el sistema de transmisión del Multicultor. En la **Tabla 4.22** se muestra el resumen de las especificaciones técnicas de transmisión de la sembradora.

**Tabla 4.22**

*Especificaciones técnicas de transmisión de la sembradora*

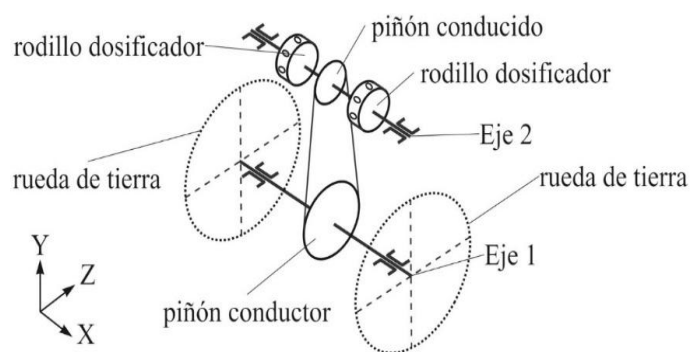
| Especificaciones técnicas              |                                              | Representación gráfica |
|----------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------|
| Número de cadena                       | N° 60                                        |                        |
| P: Pasos                               | 0.75 Pulg                                    |                        |
| Relación de transmisión                | 1.6 : 1                                      |                        |
| Lubricación                            | Tipo "B"                                     |                        |
| $P_d$ : Potencia                       | 4.8 hp                                       |                        |
| Velocidad angular, rpm                 | 74.62 (entrada)<br>47.75 (salida)            |                        |
| Número de dientes                      | 16 dientes ( $Z_1$ )<br>10 dientes ( $Z_2$ ) |                        |
| C: Distancia entre centros             | 343 mm                                       |                        |
| L: Longitud de la cadena               | 49 Pasos                                     |                        |
| Ángulo del piñón conductor y conducido | 173.97°<br>186.03°                           |                        |

*Nota:* la tabla representa un resumen general de las características técnicas de la transmisión

#### 4.5.9 Diseño de ejes de la sembradora

**Figura 4.73**

*Disposición de los componentes de los ejes*

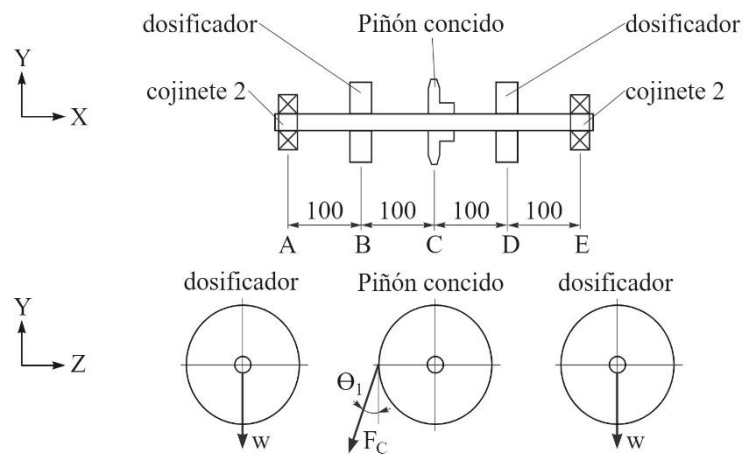
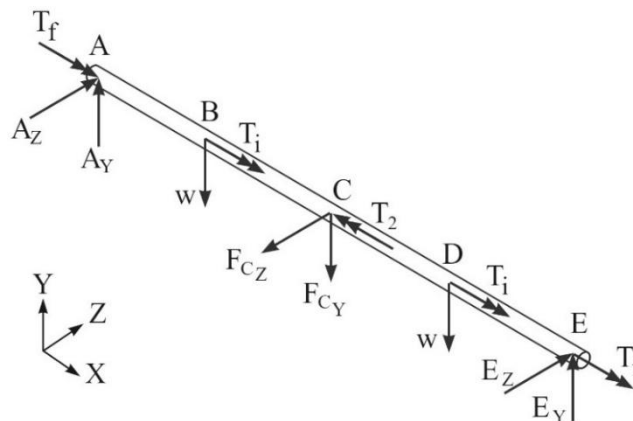


*Nota:* la figura representa una disposición general de los componentes de los ejes.

Los cálculos de los ejes 1 y 2 de la sembradora se realizaron siguiendo el mismo procedimiento empleado en el diseño del eje superior del Multicultor.

##### 4.5.9.1 Diseño del eje 2 de la sembradora

La **Figura 4.75** muestra el esquema de las fuerzas y reacciones actuantes. La **Figura 4.76** muestra el esquema de fuerza cortante y momento flector del eje 2. Asimismo, en la **Tabla 4.23** se presenta el resumen de los cálculos y selección del diámetro en el eje 2.

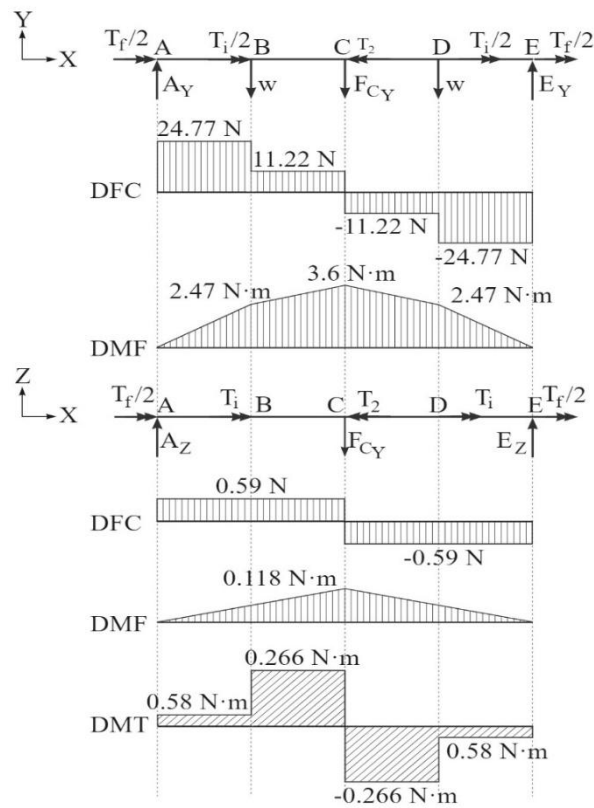
**Figura 4.74***Disposición de los componentes en el eje 2**Nota: la figura representa la disposición de los componentes en el eje 2.***Figura 4.75***Esquema de las fuerzas y reacciones actuantes del eje 2.**Nota: la figura representa el esquema de las fuerzas y reacciones actuantes del eje 2.*

$$A_Y = 24.77 \text{ N}, A_Z = 0.59 \text{ N}, w = 13.547 \text{ N}, F_{C_Y} = 22.45 \text{ N}, F_{C_Z} = 1.18 \text{ N}, E_Y = 24.77 \text{ N},$$

$$E_Z = 0.59 \text{ N}, T_f = 0.516 \text{ N} \times m, T_i = 0.0176 \text{ N} \times m, T_2 = 0.533 \text{ N} \times m$$

Figura 4.76

Diagrama de fuerza constante y momento flector del eje 2



Nota: la figura representa Diagrama de fuerza constante y momento flector del eje 2.

Tabla 4.23

Resumen del diámetro para el eje 2 de la sembradora

| Componente | Punto de mayor carga            | Momento flector (N ×m)            | Par torsional (N ×m)                | Factores                                |          | Diámetro (mm)                     |      |
|------------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|----------|-----------------------------------|------|
|            |                                 |                                   |                                     | $K_f$                                   | $K_{fs}$ | Min.                              | Sel. |
| Eje 2      | C                               | 3.6                               | 0.533                               | 1.624                                   | 2.04     | 6.98                              | 12.7 |
| Componente | Factor de seguridad a la fatiga | Esfuerzo normal por flexión (MPa) | Esfuerzo cortante por torsión (MPa) | Esfuerzo Equivalente de Von Mises (MPa) |          | Factor de seguridad a la fluencia |      |
| Eje 2      | 8.8                             | 17.9                              | 1.325                               | 18.05                                   |          | 18.83                             |      |

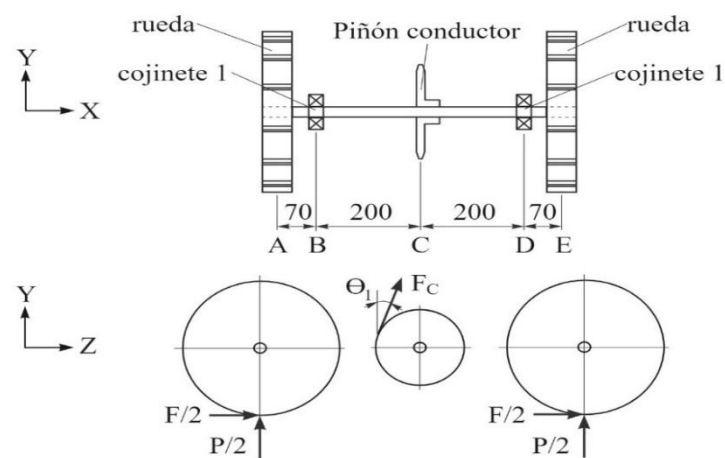
Nota: la tabla representa resumen del diámetro para el eje 2 de la sembradora.

#### 4.5.9.1 Diseño del eje 1 de la sembradora

En la **Figura 4.77** se presenta la disposición de los componentes de transmisión de potencia en el eje 1. La **Figura 4.78** muestra esquema de las fuerzas y reacciones actuantes. La **Figura 4.79** presenta el esquema de fuerza cortante y el momento flector del eje 1. Asimismo, en la **Tabla 4.24** se presenta el resumen de los cálculos y selección del diámetro.

**Figura 4.77**

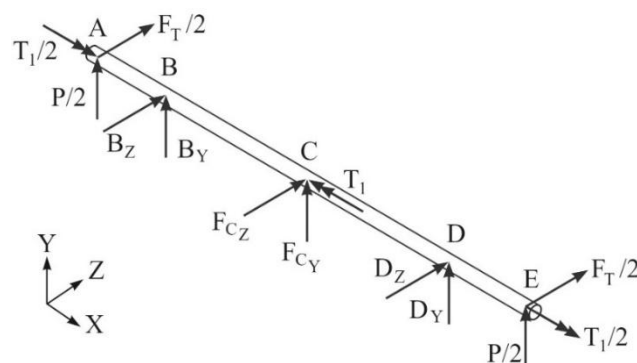
*Disposición de los componentes de transmisión de potencia en el eje 1*



*Nota:* la figura representa la disposición de los componentes de transmisión en el eje 1, Donde;  $P$ : peso de la sembradora,  $F$ : fuerza de tiro para mover la sembradora,  $F_c$ : fuerza de la cadena.

**Figura 4.78**

*Esquema de las fuerzas y reacciones actuantes del eje 1*

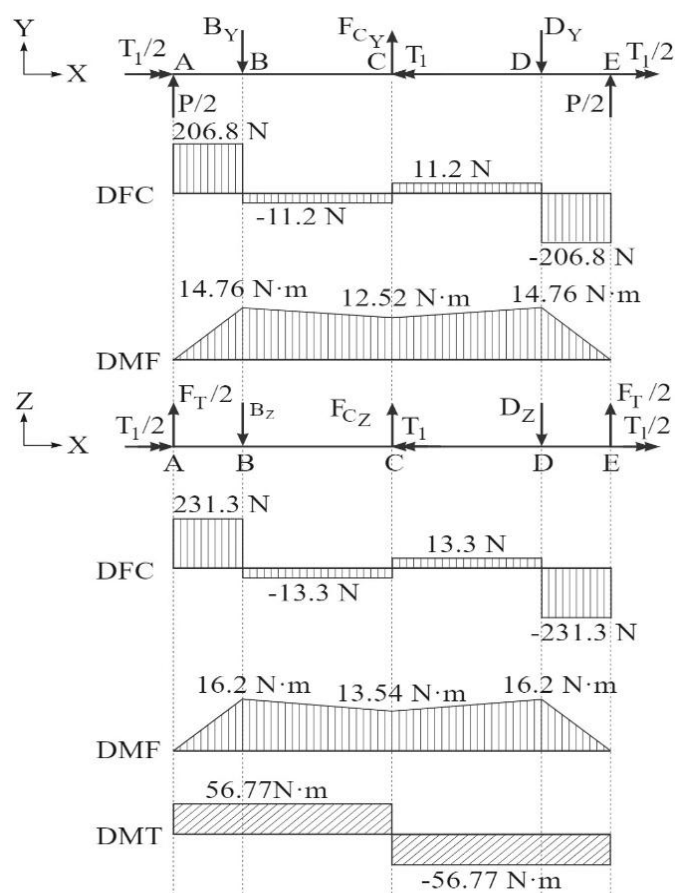


*Nota:* la figura representa el esquema de las fuerzas y reacciones actuantes del eje 1.

$P = 413.58 \text{ N}$ ,  $F_T = 462.6 \text{ N}$ ,  $B_Y = -218 \text{ N} (\downarrow)$ ,  $B_Z = -232 \text{ N} (\downarrow)$ ,  $F_{CY} = 22.45 \text{ N}$ ,  $F_{CZ} = 1.18 \text{ N}$ ,  $D_Y = -218 \text{ N} (\downarrow)$ ,  $D_Z = -232 \text{ N} (\downarrow)$

**Figura 4.79**

*Diagrama de fuerza constante y momento flector del eje 1*



*Nota:* la figura representa Diagrama de fuerza constante y momento flector del eje 1.

**Tabla 4.24**

*Resumen del diámetro para el eje 1 de la sembradora*

| Componente | Punto de mayor carga            | Momento flector (N × m)           | Par torsional (N × m)               | Factores                                |          | Diámetro (mm)                     |       |
|------------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|----------|-----------------------------------|-------|
|            |                                 |                                   |                                     | $K_f$                                   | $K_{fs}$ | Min.                              | Sel.  |
| Eje        | C                               | 18.44                             | 113.55                              | 1.732                                   | 2.34     | 18.27                             | 19.05 |
| Componente | Factor de seguridad a la fatiga | Esfuerzo normal por flexión (MPa) | Esfuerzo cortante por torsión (MPa) | Esfuerzo Equivalente de Von Mises (MPa) |          | Factor de seguridad a la fluencia |       |
| Eje 1      | 2.06                            | 11.46                             | 35.29                               | 62.19                                   |          | 5.46                              |       |

*Nota:* la tabla representa resumen del diámetro para el eje 1 de la sembradora.

#### 4.5.10 Selección de rodamientos de la sembradora

Para la selección de rodamientos de la sembradora se considera los cálculos similares a los cálculos de los rodamientos del Multicultor.

##### 4.5.10.1 Selección de rodamientos del eje 1 de la sembradora

En la **Tabla 4.25** se presenta un resumen de rodamientos del eje 1 de la sembradora.

**Tabla 4.25**

*Resumen de rodamientos del eje 1 de la sembradora*

| Comp. | Punto de ubicación | Carga radial (N) | Carga dinámica equivalente (N) | Velocidad de rotación (rpm) | Capacidad de carga dinámica básica equivalente (N) | Rodamiento seleccionado |
|-------|--------------------|------------------|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------|
| Eje 1 | B                  | 318.85           | 318.85                         | 47.75                       | 905.71                                             | YAR 204-012-2LPW/ZM     |
|       | D                  | 318.85           | 318.85                         | 44.75                       | 905.71                                             | YAR 204-012-2LPW/ZM     |

*Nota:* la tabla representa resumen de rodamientos del eje 1 de la sembradora.

##### 4.5.10.2 Selección de rodamientos para el eje 2 de la sembradora

En la **Tabla 4.26** se presenta un resumen de rodamientos del eje 2 de la sembradora.

**Tabla 4.26**

*Resumen de rodamientos del eje 2 de la sembradora*

| Comp. | Punto de ubicación | Carga radial (N) | Carga dinámica equivalente (N) | Velocidad de rotación (rpm) | Capacidad de carga dinámica básica equivalente (N) | Rodamiento seleccionado |
|-------|--------------------|------------------|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------|
| Eje 2 | A                  | 24.77            | 24.77                          | 74.6                        | 81.67                                              | YAR 203-008-2F          |
|       | E                  | 24.77            | 24.77                          | 74.6                        | 81.67                                              | YAR 203-008-2F          |

*Nota:* la tabla representa resumen de rodamientos del eje 2 de la sembradora.

#### 4.5.11 Diseño de chavetas o cuñas de la sembradora

Los cálculos se realizan similar a los cálculos realizados para el Multicultor.

##### 4.5.11.1 Selección de la chaveta del eje 1 de la sembradora

En la **Tabla 4.27** se presenta el resumen de selección de chavetas del eje 1 de la sembradora.

**Tabla 4.27**

*Resumen de selección de chavetas del eje 1 de la sembradora*

| Comp. | Punto de ubicación | Medidas b×h (mm) | Longitud por cizalladura (mm) | Longitud por compresión (mm) | Longitud seleccionada (mm) |
|-------|--------------------|------------------|-------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| Eje 1 | C                  | 6x6              | 15.2                          | 17.53                        | 32                         |

*Nota:* la tabla representa resumen de selección de chavetas del eje 1 de la sembradora.

##### 4.5.11.2 Selección de la chaveta del eje 2

En la **Tabla 4.28** se presenta el resumen de selección de chavetas del eje 2 de la sembradora.

**Tabla 4.28**

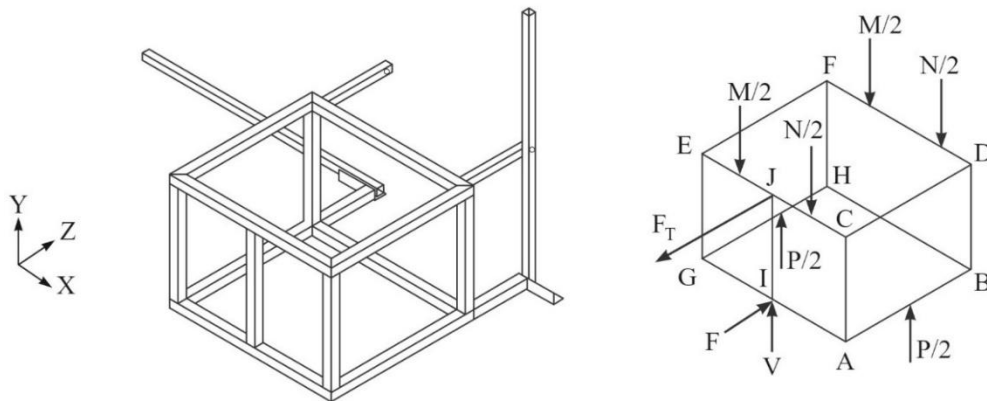
*Resumen de selección de chavetas del eje 2 de la sembradora*

| Comp. | Punto de ubicación | Medidas b×h (mm) | Longitud por cizalladura (mm) | Longitud por compresión (mm) | Longitud seleccionada (mm) |
|-------|--------------------|------------------|-------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| Eje 2 | C                  | 5x5              | 0.167                         | 0.19                         | 32                         |

*Nota:* la tabla representa resumen de selección de chavetas del eje 2 de la sembradora.

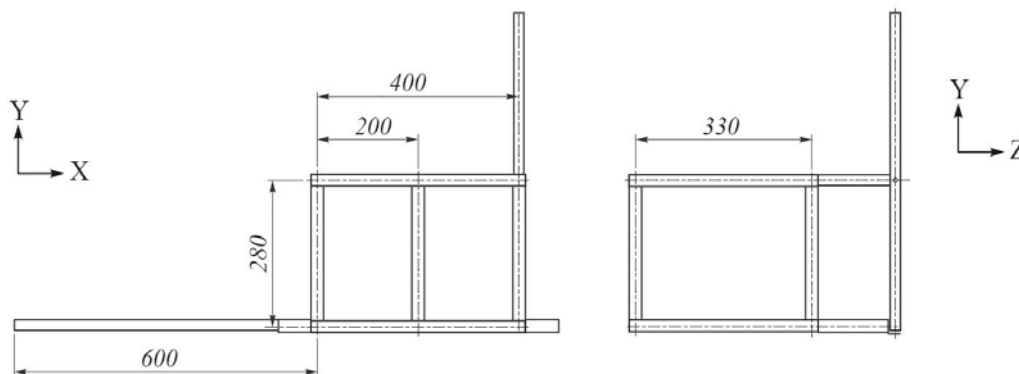
#### 4.5.12 Diseño del bastidor de la sembradora

El bastidor principal es la estructura esquelética de la sembradora de granos de maíz blanco gigante en la que se montan todos los demás componentes. El marco de la maceta debe ser rígido y fuerte, ya que todas las piezas están montadas en él.

**Figura 4.80***Cargas que actúan sobre el bastidor*

*Nota:* la figura representa las cargas que actúan sobre el bastidor. Donde;  $F$ : fuerza de tiro para abrir el surco,  $V$ : fuerza vertical del surcador,  $F_T$ : fuerza total de tiro para accionar la sembradora,  $P$ : peso de la sembradora,  $M$ : peso de la tolva con las semillas,  $N$ : peso de la tolva con el fertilizante.

En la **Figura 4.80** el bastidor de la sembradora soporta cargas de peso propio, fuerzas de tracción, reacciones del suelo, las cuales generan esfuerzos de flexión, compresión y torsión en la estructura.

**Figura 4.81***Dimensiones del bastidor de la sembradora*

*Nota:* la figura representa las dimensiones del bastidor de la sembradora.

Para el cálculo de " $P$ ", se consideró el peso de los siguientes elementos bastidor, tolvas, ejes, piñones, cadena de rodillos, rodamientos, dosificadores, semillas y fertilizante.

La **Figura 4.81** muestra las dimensiones del bastidor se determinan según las cargas, el espacio disponible y la disposición de los componentes, considerando longitud, ancho y altura para garantizar resistencia, estabilidad y correcto montaje del sistema.

Para el bastidor de la sembradora se utiliza un perfil de tubo cuadrado de acero ASTM A500, con lado exterior de  $b_{bast} = 25 \text{ mm}$  y espesor de  $t_{bast} = 2 \text{ mm}$  (ver **Anexo B.6**).

### Peso teórico de los componentes de la sembradora

Considerando el área de cada componente, el área total de la plancha de la tolva es de  $A = 0.2268 \text{ m}^2$  y el peso por unidad de área de la plancha es  $9.42 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$ , el peso calculado de la tolva es de  $w_{tolva} = 2.14 \text{ kg}$ .

**Tabla 4.29**

*Peso teórico de los componentes de la sembradora*

| Cantidad       | Descripción                                     | Dimension             | Peso Unitario         | Peso Total (kg) |
|----------------|-------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|
| 1              | Tubo cuadrado (bastidor)                        | 6.32 m                | 1.46 kg/m             | 9.22            |
| 2              | Lámina inoxidable (tolvas)                      | 0.2268 m <sup>2</sup> | 9.42kg/m <sup>2</sup> | 4.27            |
| 1              | Barra circular Ø 3/4"<br>(Eje de las ruedas)    | 0.6 m                 | 2.24 kg/m             | 1.344           |
| 1              | Barra circular Ø 1/2"<br>(Eje de dosificadores) | 0.44 m                | 0.99 kg/m             | 0.435           |
| 2              | Platina de Acero<br>(Ruedas)                    | 2.03 m                | 2.37 kg/m             | 4.74            |
| 8              | Barra circular Ø 1/2"<br>(rayos de las ruedas)  | 0.25 m                | 0.99 kg/m             | 1.98            |
| 2              | Rodamientos Ø 3/4"                              | -                     | 0.16 kg/u             | 0.32            |
| 2              | Rodamientos Ø 1/2"                              | -                     | 0.144 kg/u            | 0.288           |
| 2              | Dosificadores                                   | -                     | 1.381 kg/u            | 0.2762          |
| -              | Piñones, cadena y otros                         | -                     | -                     | 4.00 (aprox.)   |
| PESO TOTAL (Σ) |                                                 |                       |                       | 22.86 kg        |

*Nota:* la tabla representa el peso teórico de los componentes de la sembradora.

La **Tabla 4.29** muestra el peso de la sembradora se determina sumando los pesos de cada componente, calculados a partir de sus dimensiones y propiedades del material.

El peso de la tolva con las semillas, considerando el peso de la semilla que ocupa el volumen de la tolva es 8.6 kg.

$$M = w_{tolva} + w_{semillas} = (2.13 \times 9.81) + (8.6 \times 9.81) = 105.46 \text{ N}$$

El peso de la tolva con el fertilizante, considerando el peso del fertilizante que ocupa el volumen de la tolva es 10.7 kg.

$$N = w_{tolva} + w_{fertilizante} = (2.13 \times 9.81) + (10.7 \times 9.81) = 125.8 \text{ N}$$

El peso total de la sembradora es:

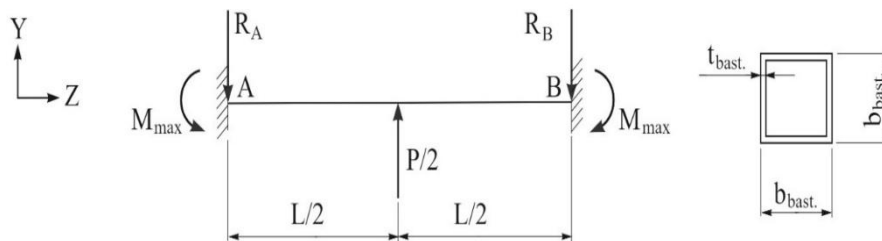
$$P = w_{componentes} + w_{semillas} + w_{fertilizante} = 413.58 \text{ N}$$

La masa total aproximada de la máquina más semillas y fertilizante es de 42 kg. Los elementos del bastidor que están sometidos a mayor carga son los eslabones AB e CE. Donde actúan las fuerzas de  $F_T = 462.6 \text{ N}$  y  $\frac{P}{2} = 206.8 \text{ N}$ , respectivamente.

### Esquema de cuerpo libre del elemento AB

**Figura 4.82**

*Esquema de cuerpo libre del elemento AB*



*Nota:* la figura representa el diagrama de cuerpo libre del elemento AB. Donde;  $M_{max}$ : momento flector máximo,  $R_A$  y  $R_B$ : fuerzas de reacción,  $t_{bast.}$ : espesor del perfil,  $b_{bast.}$ : lado del perfil,  $L$ : distancia entre los dos empotrados.

La **Figura 4.82** muestra todas las fuerzas y reacciones que actúan sobre este componente, incluyendo cargas aplicadas y apoyos en sus extremos. El elemento AB es considerado como una viga doblemente empotrada con carga puntual en centro, los momentos

flectores máximos se producen en los apoyos y en el centro y tienen la misma magnitud, pero de sentido contrario, entonces:

El momento flector máximo es:

$$M_{max} = \frac{\left(\frac{P}{2}\right) \times L}{8} = \frac{206.8 \times 400}{8} = 10340 \text{ N} \times \text{mm}$$

El momento de inercia de la sección del elemento AB es:

$$I = \frac{b_{bast.} \times b_{bast.}^3}{12} - \frac{(b_{bast.} - 2t_{bast.}) \times (b_{bast.} - 2t_{bast.})^3}{12}$$

Entonces:

$$I = \frac{25 \times 25^3}{12} - \frac{(25 - 2 \times 2) \times (25 - 2 \times 2)^3}{12} = 16345.33 \text{ mm}^4$$

El esfuerzo normal por flexión, La distancia desde el eje neutro a la fibra más alejada de la sección  $c = \frac{b_{bast.}}{2} = \frac{25}{2} = 12.5 \text{ mm}$ .

$$\sigma_F = \frac{M_{max} \times c}{I} = \frac{10340 \times (12.5)}{16345.33} = 7.9 \text{ MPa}$$

El esfuerzo cortante promedio sobre la sección del elemento AB es:

$$\tau_{prom} = \frac{R_A}{A}$$

Las fuerzas de reacción en los empotrados son:

$$R_A = R_B = \left(\frac{p}{2}\right) = 103.4 \text{ N}$$

El área de la sección es:

$$A = (b_{bast.} \times b_{bast.}) - (b_{bast.} - 2t_{bast.}) \times (b_{bast.} - 2t_{bast.})$$

Entonces:

$$A = (25 \times 25) - (25 - 2 \times 2) \times (25 - 2 \times 2) = 184 \text{ mm}^2$$

Sustituyendo los valores en la ecuación, el esfuerzo cortante promedio es:

$$\tau_{prom} = \frac{R_A}{A} = \frac{103.4}{184} = 0.56 \text{ MPa}$$

Empleando la teoría de la energía de distorsión, el esfuerzo equivalente de Von Mises se determina con la Ec. (4.37).

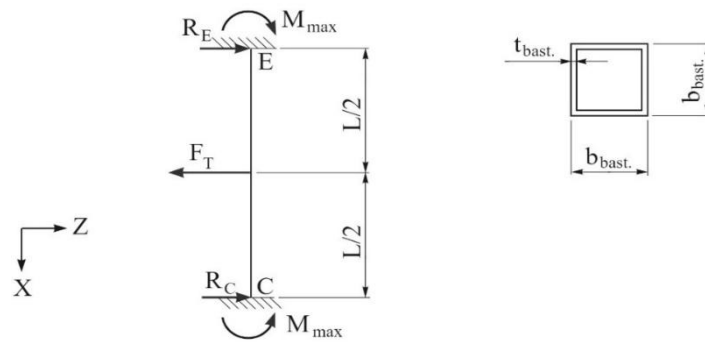
$$\sigma_{eq} = \sqrt{(7.9)^2 + 3 \times (0.56)^2} = 7.86 \text{ MPa}$$

Por lo tanto, el esfuerzo equivalente es menor que el límite de fluencia del material  $7.96 \text{ MPa} < 250 \text{ MPa}$ , por lo que el material del bastidor no falla por resistencia.

### Esquema de cuerpo libre del elemento CE

**Figura 4.83**

*Esquema de cuerpo libre del elemento CE*



*Nota:* la figura representa el diagrama de cuerpo libre del elemento IJ. Donde;  $F_T$ : fuerza total de tiro para accionar la sembradora,  $M_{max}$ : momento flector máximo,  $R_E$  y  $R_C$ : fuerzas de reacción.

El momento flector máximo es:

$$M_{max} = \frac{F_T \times L}{8} = \frac{462.6 \times (400)}{8} = 23130 \text{ N} \times \text{mm}$$

El esfuerzo normal por flexión, tomando las magnitudes  $c = 12.5 \text{ mm}$ ,  $I = 16345.33 \text{ mm}^4$  y  $A = 184 \text{ mm}^2$ , son las mismas calculadas para el elemento AB, debido a que tienen el mismo perfil, entonces:

$$\sigma_F = \frac{M_{max} \times c}{I} = \frac{23130 \times 12.5}{16345.33} = 19.61 \text{ MPa}$$

El esfuerzo cortante promedio sobre la sección del elemento CE es:

$$\tau_{prom} = \frac{R_C}{A}$$

Las fuerzas de reacción en los empotrados son:

$$R_C = R_E = \left(\frac{F_T}{2}\right) = 231.3 \text{ N}$$

Reemplazando valores en la ecuación, el esfuerzo cortante promedio es:

$$\tau_{prom} = \frac{231.3}{184} = 1.26 \text{ MPa}$$

Empleando la teoría de la energía de distorsión, el esfuerzo equivalente de Von Mises se determina con la Ec. (4.37).

$$\sigma_{eq} = \sqrt{(19.61)^2 + 3 \times (1.26)^2} = 19.73 \text{ MPa}$$

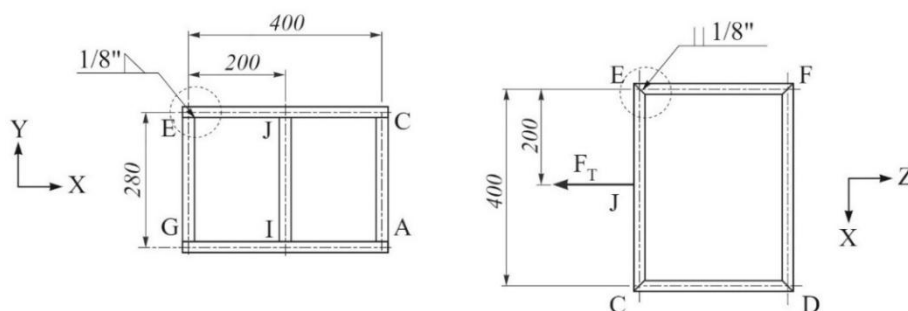
Por lo tanto, el esfuerzo equivalente es menor que el límite de fluencia del material  $19.73 \text{ MPa} < 250 \text{ MPa}$ , por lo que el material del bastidor no falla por resistencia.

#### 4.5.12.1 Diseño de soldadura del elemento CE del bastidor

La **Figura 4.84** muestra la unión soldada del eslabón CE que permite conectar de forma permanente este elemento al bastidor, transmitiendo esfuerzos de tracción, corte y flexión. Debe diseñarse para asegurar resistencia, rigidez y durabilidad de la estructura. La mayor carga sobre el bastidor es producida por la fuerza de tiro  $F_T$ , esta actúa sobre el elemento CE.

**Figura 4.84**

*Unión soldada del eslabón CE del bastidor*



*Nota:* la figura representa la unión soldada del eslabón CE del bastidor.

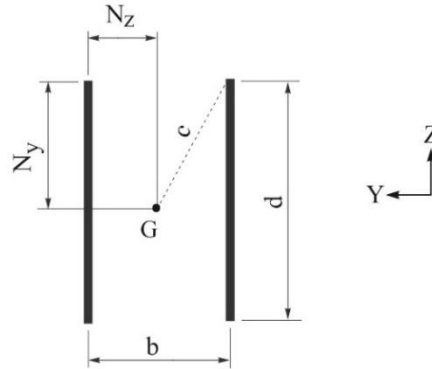
#### Tamaño del cordón de la soldadura

De la tabla se selecciona el tamaño del cordón de soldadura de  $h = \frac{1}{8} \text{ pulg} \approx 3.17 \text{ mm}$

(ver **Anexo A.6**).

**Figura 4.85**

*Perfil del grupo de juntas*



*Nota:* la figura presenta el perfil del grupo de juntas. Donde;  $G$ : centro de gravedad del grupo de juntas,  $N_y$  y  $N_z$ : ubicación del centro de gravedad,  $b$  y  $d$ : longitudes de base y altura del grupo de juntas,  $c$ : distancia del centro de gravedad al punto más alejado del grupo de juntas.

Para calcular los esfuerzos en el cordón de soldadura se utilizó la tabla, según el perfil correspondiente al grupo de juntas (ver **Anexo A.13**). Las longitudes del perfil del grupo de juntas, para la base del brazo del soporte son de  $d = 25 \text{ mm}$  y  $b = 25 \text{ mm}$ , entonces:

La ubicación del centro de gravedad es:

$$N_y = \frac{d}{2} = \frac{25}{2} = 12.5 \text{ mm}$$

$$N_z = \frac{b}{2} = \frac{25}{2} = 12.5 \text{ mm}$$

La longitud del grupo de juntas es:

$$l = 2 \times d = 2 \times 25 = 50 \text{ mm}$$

La distancia del centroide al punto más alejado del grupo de juntas es:

$$c = \sqrt{N_y^2 + N_z^2} = \sqrt{(12.5)^2 + (12.5)^2} = 17.67 \text{ mm}$$

El momento resistente unitario respecto al eje  $X$  es:

$$Z_{wy} = \frac{d^2}{3} = \frac{25^2}{3} = 208.33 \text{ mm}^2$$

El momento de inercia de área polar unitario es:

$$J_w = \frac{d \times (3 \times b^2 + d^2)}{6} = \frac{25 \times (3 \times (25)^2 + (25)^2)}{6} = 10416.68 \text{ mm}^3$$

El esfuerzo cortante en la dirección de Z:

$$\tau'_z = \frac{R_C}{0.707 \times h \times l} = \frac{231.3}{0.707 \times 3.17 \times 50} = 2.1 \text{ Mpa}$$

El esfuerzo por flexión respecto al eje Y es, cuando  $M_{max} = 23130 \text{ N} \times \text{mm}$ .

$$\tau'''_1 = \frac{M_{max}}{0.707 \times h \times Z_{wx}} = \frac{23130}{0.707 \times 3.17 \times 208.33} = 49.54 \text{ Mpa}$$

El esfuerzo resultante es:

$$\tau_R = \sqrt{(\tau'_z)^2 + (\tau'''_1)^2} = \sqrt{(2.1)^2 + (49.54)^2} = 49.6 \text{ MPa}$$

De la tabla el esfuerzo permisible es  $0.3 S_{ut}$ , para carga cortante y soldadura de filete, el esfuerzo resultante no debe exceder al esfuerzo permisible (ver **Anexo A.7**), entonces:

$$\tau_R = 0.3 S_{ut}$$

Por lo tanto, la resistencia a la tensión del metal de aporte es:

$$S_{ut} = \frac{\tau_R}{0.3} = \frac{49.6}{0.3} = 165.33 \text{ MPa}$$

De la tabla se selecciona un electrodo E6011, con una resistencia a la tensión  $S_{ut} = 427 \text{ MPa}$  por cumplir con los requerimientos de diseño de la unión soldada (ver **Anexo A.8**).

## CAPÍTULO V

### 5 Análisis por simulación numérica

#### 5.1 Estudio por elementos finitos (FEM)

El Método de Elementos Finitos (FEM, Finite Element Method) es una técnica de simulación numérica utilizada para analizar el comportamiento de estructuras y componentes mecánicos sometidos a cargas. Consiste en dividir una geometría en pequeños elementos para calcular esfuerzos y deformaciones de manera aproximada.

En esta investigación, se emplea para evaluar el comportamiento estructural de los componentes del Multicultor y verificar que los esfuerzos y deformaciones se encuentren dentro de los límites admisibles del material y validar los resultados calculados analíticamente en el capítulo IV.

Los componentes como fajas, cadena, piñones, chumaceras, chavetas, rodamientos, pernos no requieren análisis por elementos finitos, ya que sus esfuerzos están dentro de los límites permisibles establecidos por normas o fabricantes.

En cambio, los ejes, planchas, brazos, cuchilla y varillas sí deben evaluarse mediante este método para comprobar que no presenten concentraciones de esfuerzos que puedan afectar su funcionamiento.

El material utilizado para los ejes superior, intermedia, inferior y ruedas es el AISI 1045 ( $E = 200 \text{ GPa}$ ,  $S_Y = 340 \text{ MPa}$ ,  $S_{ut} = 650 \text{ MPa}$ ) y se analiza mediante ANSYS 2021R2.

##### *5.1.1 Estudio de los esfuerzos y las deformaciones del eje superior*

El eje superior tiene un diámetro teórico seleccionado de  $\frac{3}{4}'' \approx 19.05 \text{ mm}$ , obteniéndose un esfuerzo equivalente máximo que se presenta en la **Figura 5.4** y la deformación máxima del eje superior se presenta en la **Figura 5.5**.

**Figura 5.1**

*Propiedades del material en el eje superior*

| Outline of Schematic F2: Engineering Data |                              |   |        |                                                                                                 |
|-------------------------------------------|------------------------------|---|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                           | A                            | B | C      | D                                                                                               |
| 1                                         | Contents of Engineering Data |   | Source | Description                                                                                     |
| 2                                         | Material                     |   |        |                                                                                                 |
| 3                                         | AISI 1045                    |   |        | Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1 |

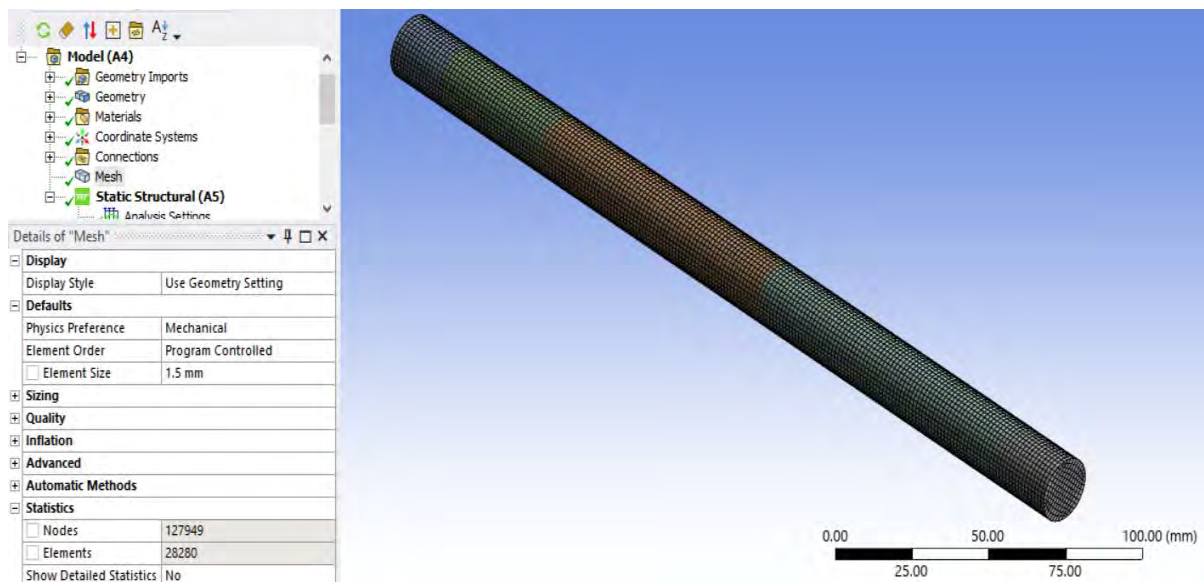
  

| Properties of Outline Row 3: AISI 1045 |                                                   |         |                    |   |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------|---------|--------------------|---|
|                                        | A                                                 | B       | C                  | D |
| 1                                      | Property                                          | Value   | Unit               | E |
| 2                                      | Material Field Variables                          | Table   |                    |   |
| 3                                      | Density                                           | 7850    | kg m <sup>-3</sup> |   |
| 4                                      | Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion |         |                    |   |
| 6                                      | Isotropic Elasticity                              |         |                    |   |
| 12                                     | Strain-Life Parameters                            |         |                    |   |
| 20                                     | S-N Curve                                         | Tabular |                    |   |
| 24                                     | Tensile Yield Strength                            | 340     | MPa                |   |
| 25                                     | Compressive Yield Strength                        | 2.5E+08 | Pa                 |   |
| 26                                     | Tensile Ultimate Strength                         | 650     | MPa                |   |

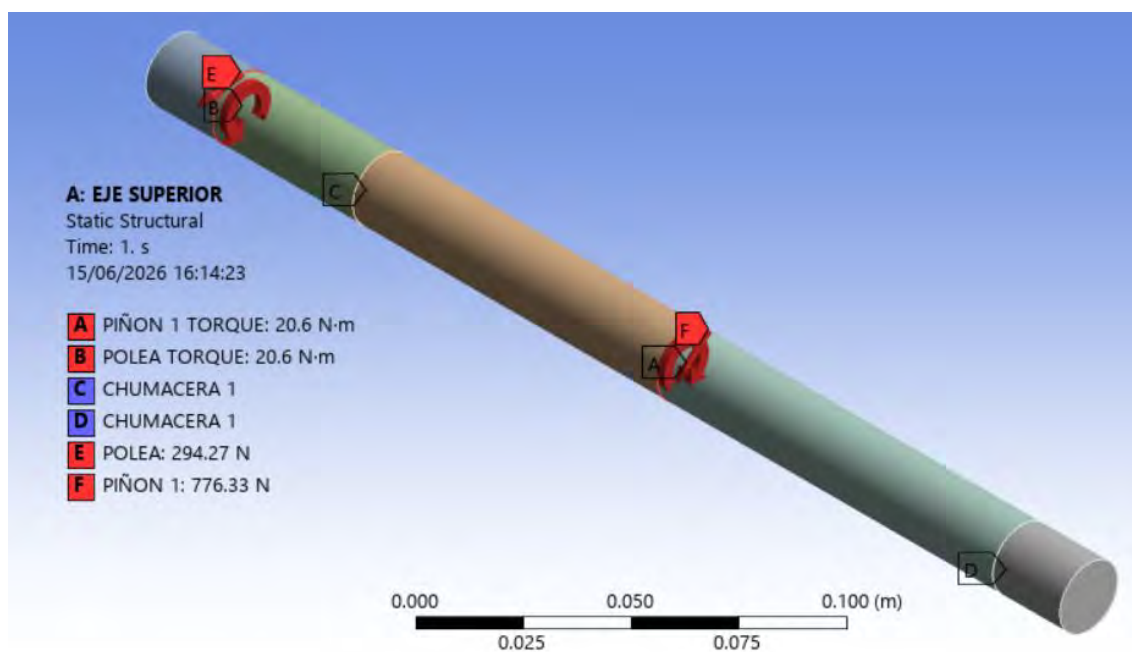
*Nota:* la figura representa las propiedades del material en ANSYS del eje superior.

**Figura 5.2**

*Detalle de mallado del eje superior*



*Nota:* la figura representa el detalle de mallado del eje superior.

**Figura 5.3***Condiciones de contorno del eje superior*

*Nota:* la figura representa las condiciones de contorno y cargas aplicadas del eje superior.

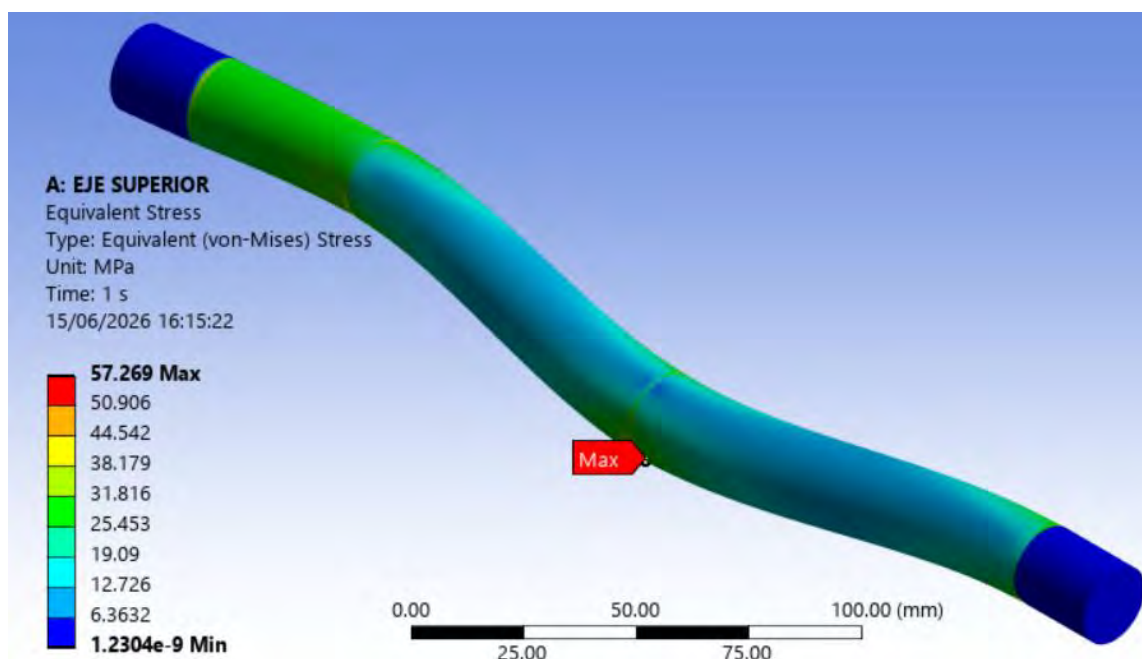
**Tabla 5.1***Cargas aplicadas del eje superior*

| Cargas          | Tipo de condición | Vector (x, y, z)       |
|-----------------|-------------------|------------------------|
| Polea conducida | Fuerza (E)        | (0, -40.95, 291.41) N  |
|                 | Torque (B)        | (20.6, 0, 0) N×m       |
| Chumacera 1     | Apoyo (C)         |                        |
| Piñón 1         | Fuerza (F)        | (0, -524.48, 572.37) N |
|                 | Torque (A)        | (-20.6, 0, 0) N×m      |
| Chumacera 1     | Apoyo (D)         |                        |

*Nota:* la tabla representa las cargas aplicadas del eje superior.

**Figura 5.4**

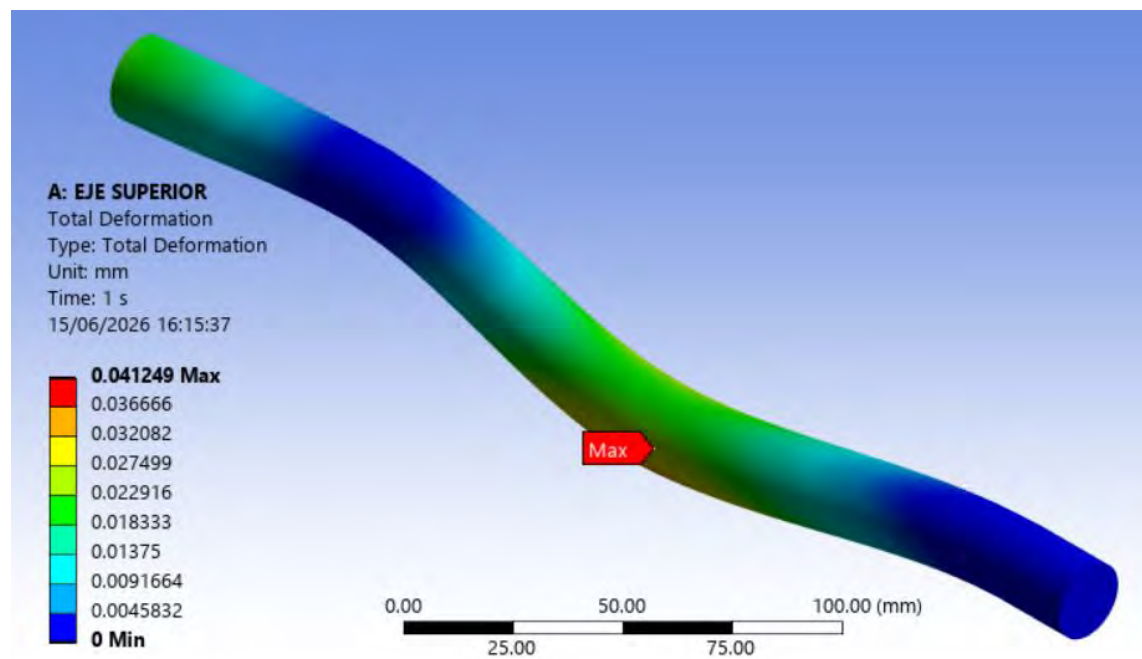
*Esfuerzo máximo equivalente del eje superior*



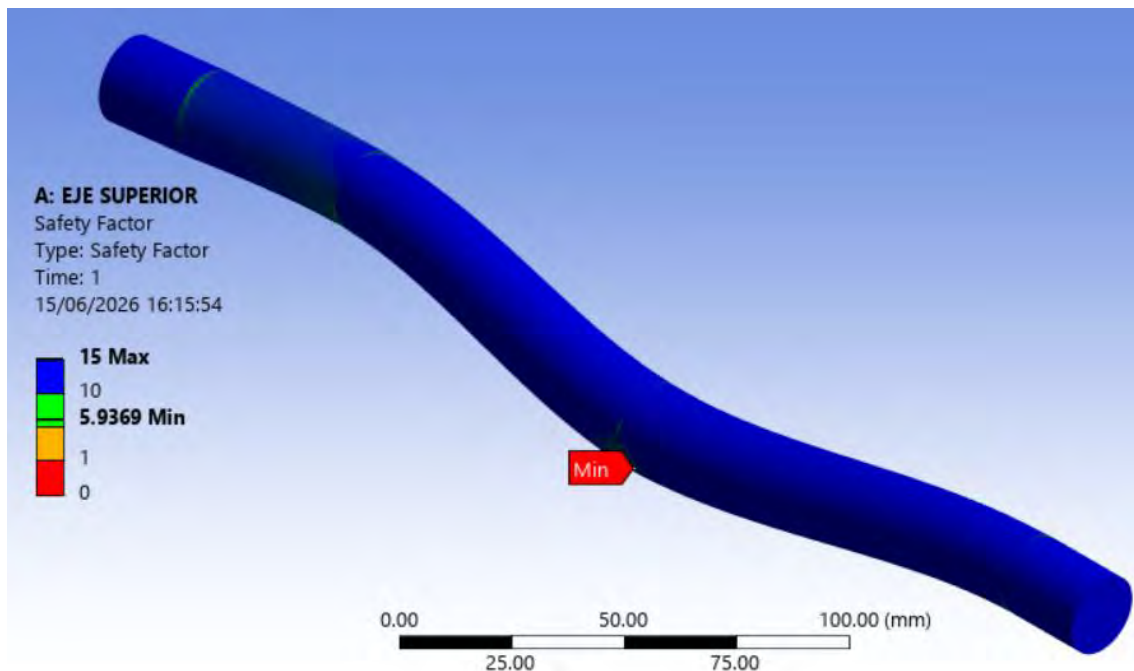
*Nota:* la figura representa el esfuerzo máximo equivalente Von Mises del eje superior.

**Figura 5.5**

*Deformación máxima del eje superior*



*Nota:* la figura representa la deformación total del eje superior.

**Figura 5.6***Factor de seguridad del eje superior*

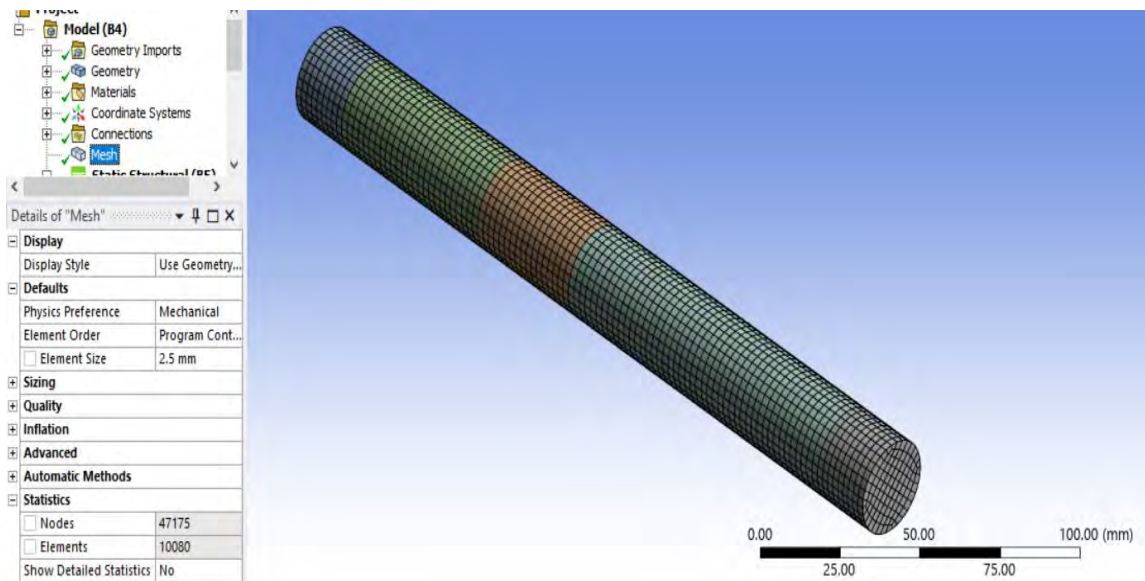
*Nota:* la figura representa el factor de seguridad del eje superior.

Por lo tanto, la comparación entre los resultados analíticos y los obtenidos mediante ANSYS presentan una diferencia mínima tanto en el esfuerzo equivalente de Von Mises (57.64 MPa y 57.269 MPa) como en el factor de seguridad (5.8 y 5.9369), estos resultados validan el diámetro seleccionado y confirma que el eje posee la resistencia necesaria para soportar de manera segura y confiable las condiciones de trabajo previstas.

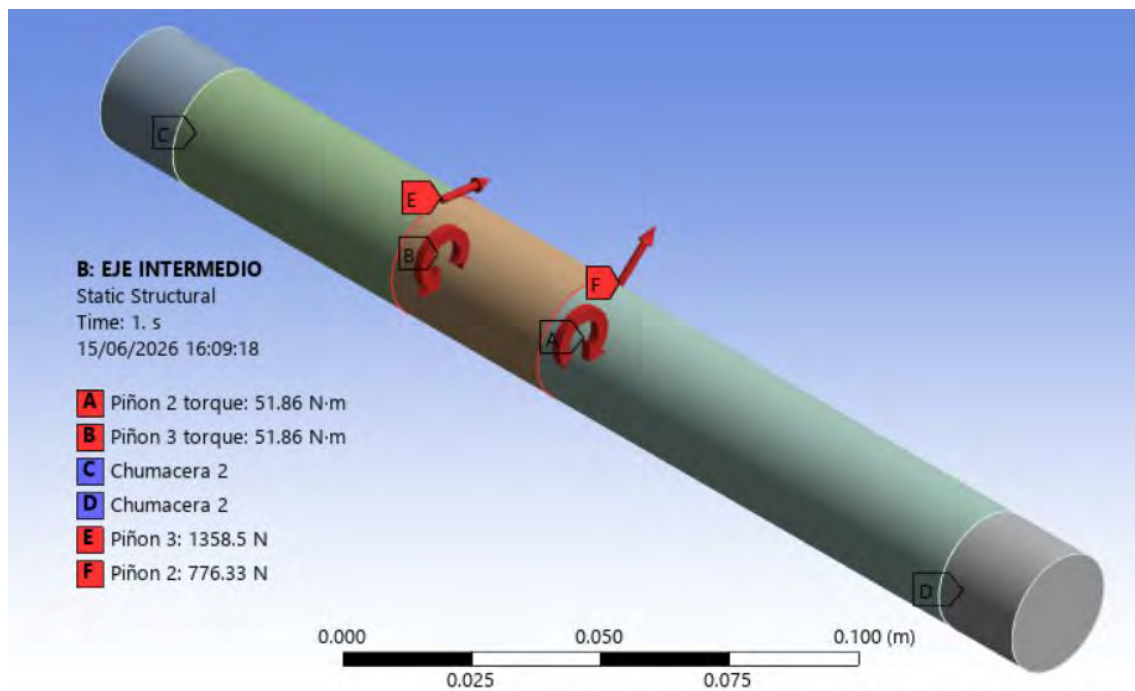
La deformación máxima se localiza en el piñón conductor del eje superior, en la zona donde se genera la fuerza flectora hacia el piñón conducido del eje intermedia. En este punto se alcanza una deformación máxima de 0.041249 mm.

### **5.1.2 Estudio de los esfuerzos y las deformaciones del eje intermedio**

El eje intermedio tiene un diámetro teórico seleccionado de  $1" \approx 25.4 \text{ mm}$ , obteniéndose un esfuerzo equivalente máximo que se presenta en la **Figura 5.9** y la deformación máxima en la **Figura 5.10**.

**Figura 5.7***Detalle de mallado del eje intermedio*

*Nota:* la figura representa el detalle de mallado del eje intermedio.

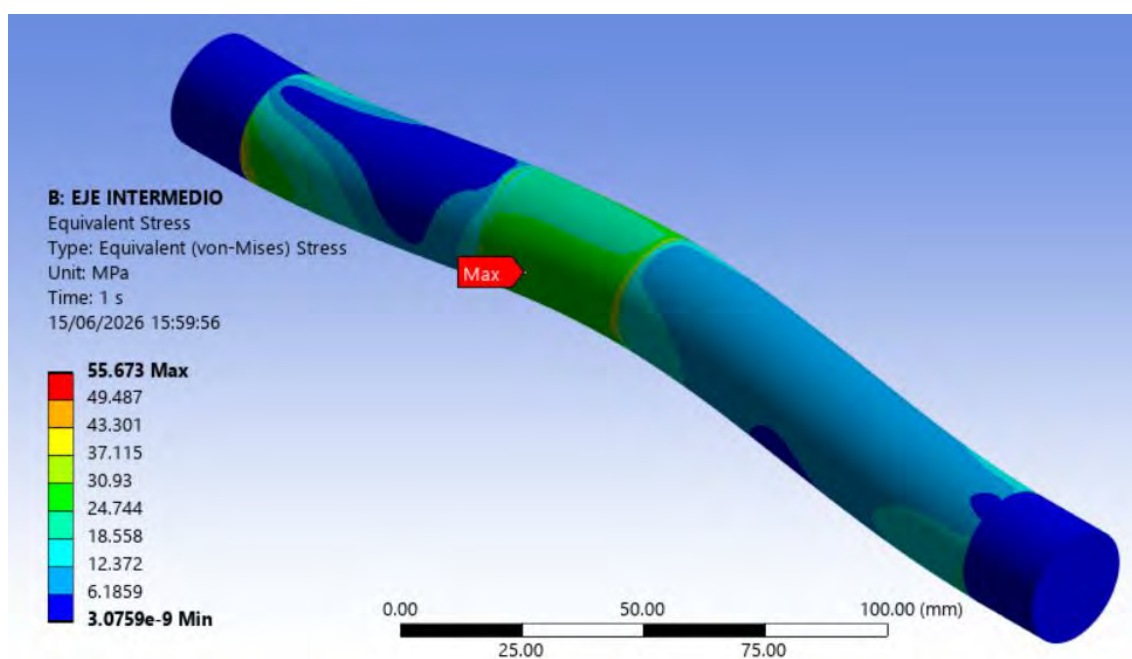
**Figura 5.8***Condiciones de contorno del eje intermedia*

*Nota:* la figura representa las condiciones de contorno del eje intermedia.

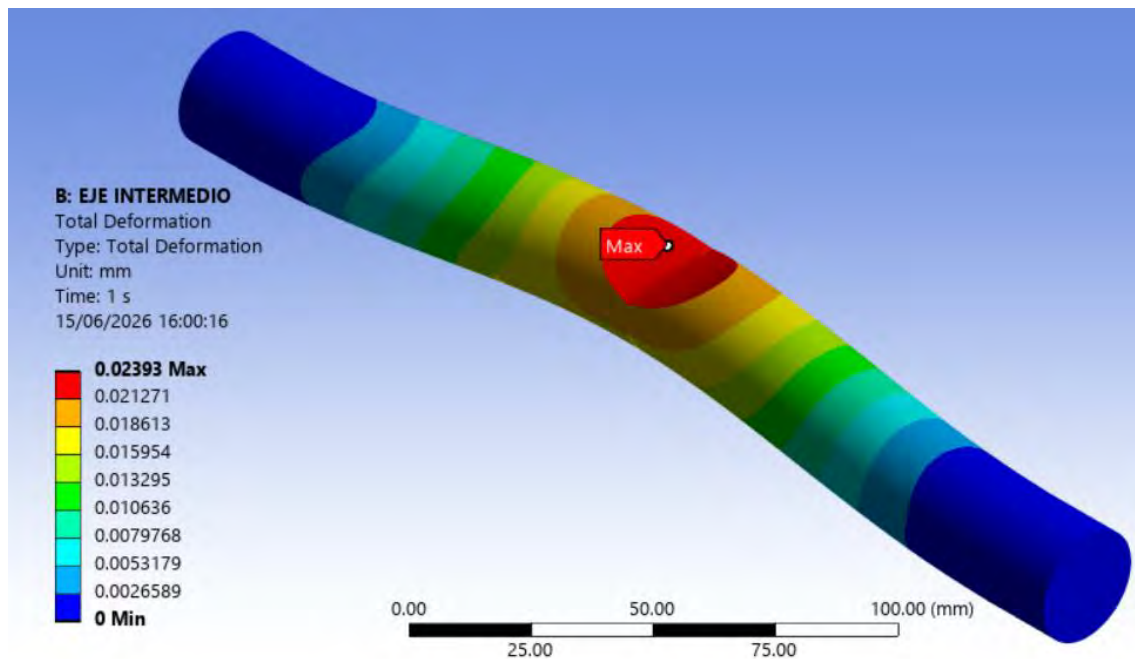
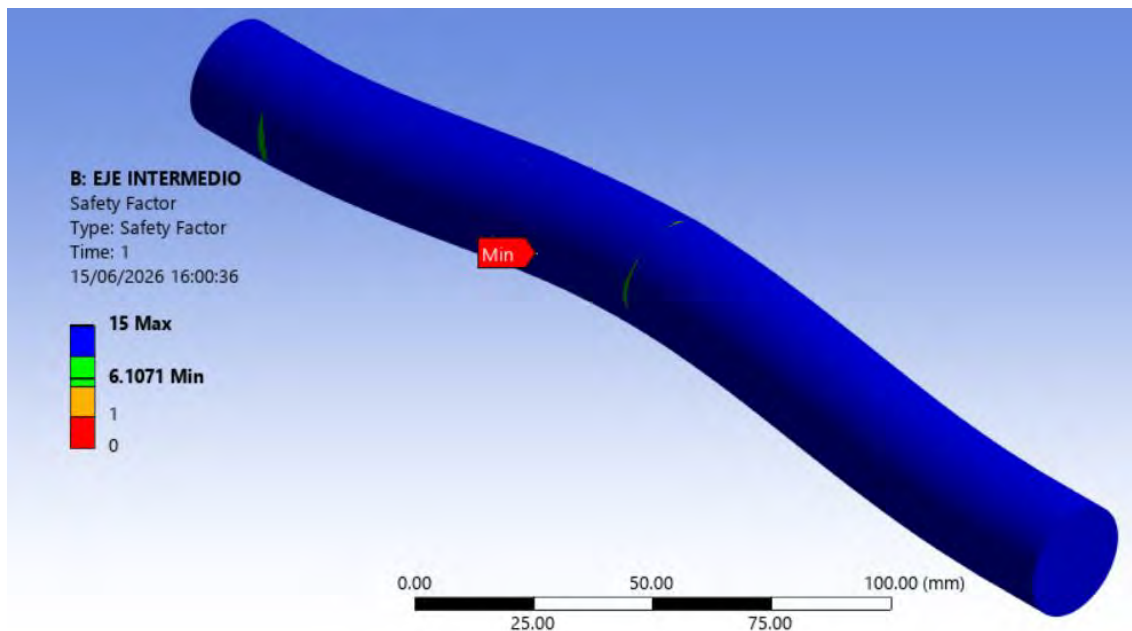
**Tabla 5.2***Cargas aplicadas del eje intermedio*

| Cargas      | Tipo de condición | Vector (x, y, z)        |
|-------------|-------------------|-------------------------|
| Chumacera 2 | Apoyo (C)         |                         |
| Piñón 3     | Fuerza (E)        | (0, -170.26, 1347.76) N |
|             | Torque (B)        | (51.86, 0, 0) N×m       |
| Piñón 2     | Fuerza (F)        | (0, -524.48, -572.37) N |
|             | Torque (A)        | (-51.86, 0, 0) N×m      |
| Chumacera 2 | Apoyo (D)         |                         |

*Nota:* la tabla representa las cargas aplicadas del eje intermedio.

**Figura 5.9***Esfuerzo máximo equivalente del eje intermedio*

*Nota:* la figura representa el esfuerzo máximo equivalente del eje intermedio.

**Figura 5.10***Deformación máxima del eje intermedio**Nota: la figura representa la deformación máxima del eje intermedio.***Figura 5.11***Factor de seguridad del eje intermedio**Nota: la figura representa el factor de seguridad del eje intermedio.*

Por lo tanto, la comparación entre los resultados analíticos y los obtenidos mediante ANSYS presentan una diferencia mínima tanto en el esfuerzo equivalente de Von Mises (55.35 MPa y 55.673 MPa) como en el factor de seguridad (5.3 y 5.6421), estos resultados validan el diámetro seleccionado y confirma que el eje intermedio posee la resistencia necesaria para soportar de manera segura y confiable las condiciones de trabajo previstas.

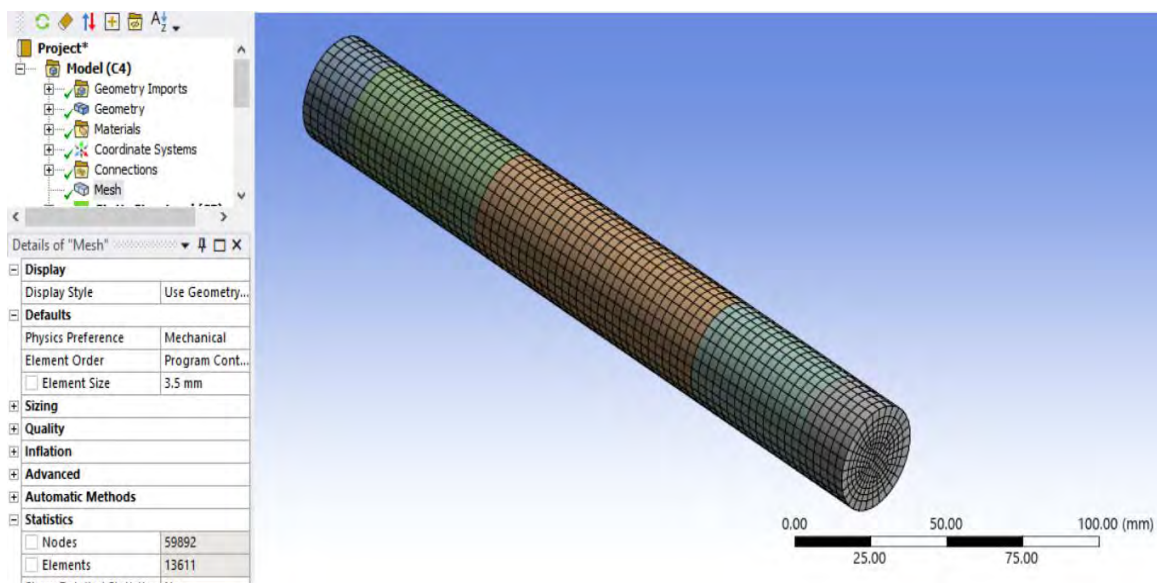
La deformación máxima se localiza en el piñón conducido del eje intermedia, en la zona donde se genera la fuerza flectora del piñón conductor del eje superior. En este punto se alcanza una deformación máxima de 0.021271 mm.

### 5.1.3 Estudio de los esfuerzos y las deformaciones del eje inferior

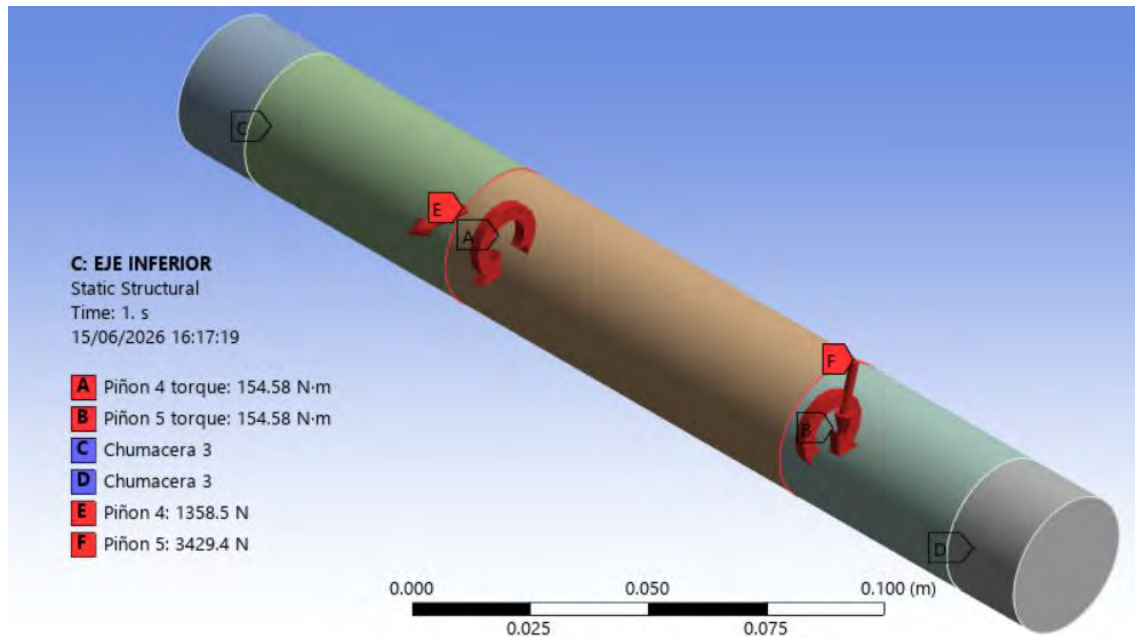
El eje inferior tiene un diámetro teórico de  $1 \frac{1}{4}'' \approx 31.75 \text{ mm}$ , mediante el análisis realizado se obtiene un esfuerzo equivalente máximo, como se presenta en la **Figura 5.14** y la deformación máxima en la **Figura 5.15**.

**Figura 5.12**

*Detalle de mallado del eje inferior*

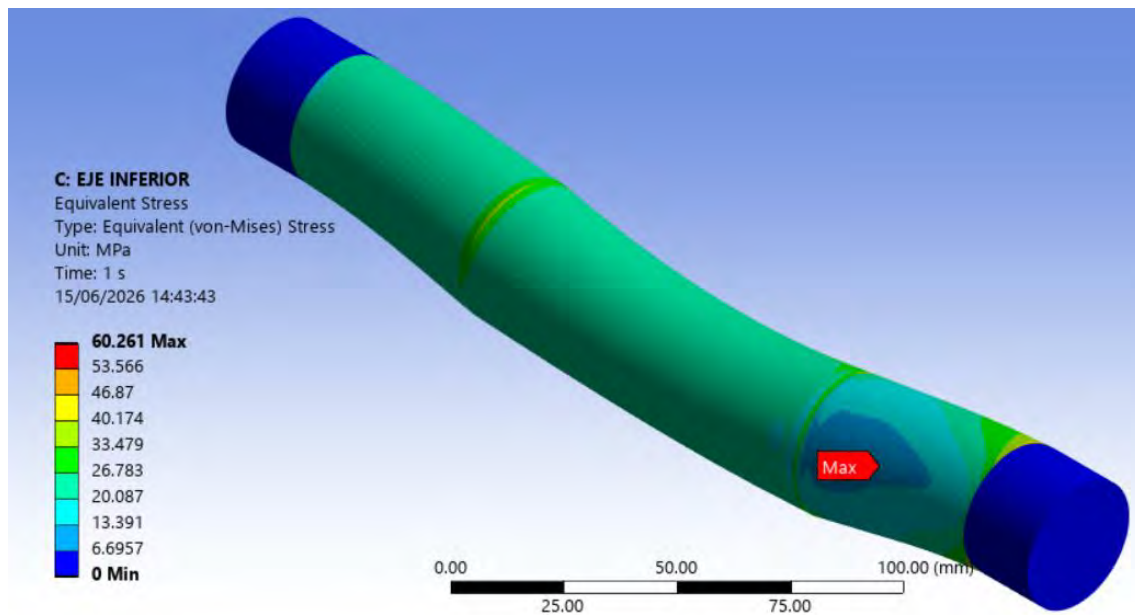
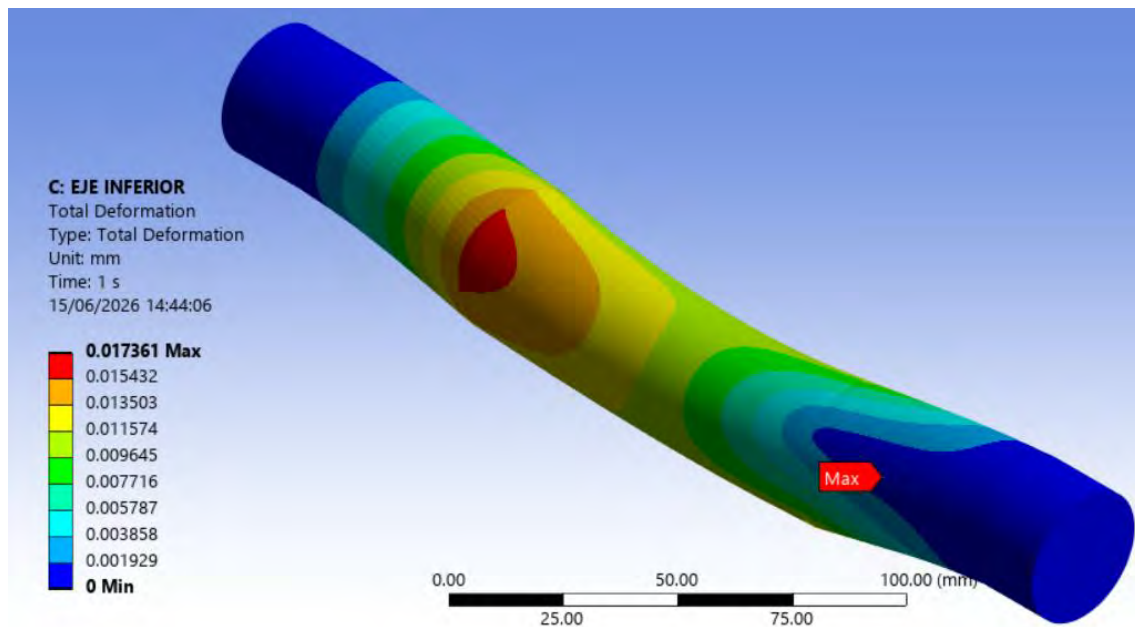


*Nota:* la figura representa el detalle de mallado del eje inferior.

**Figura 5.13***Condiciones de contorno del eje inferior**Nota: la figura representa las condiciones de contorno del eje inferior.***Tabla 5.3***Cargas aplicadas del eje inferior*

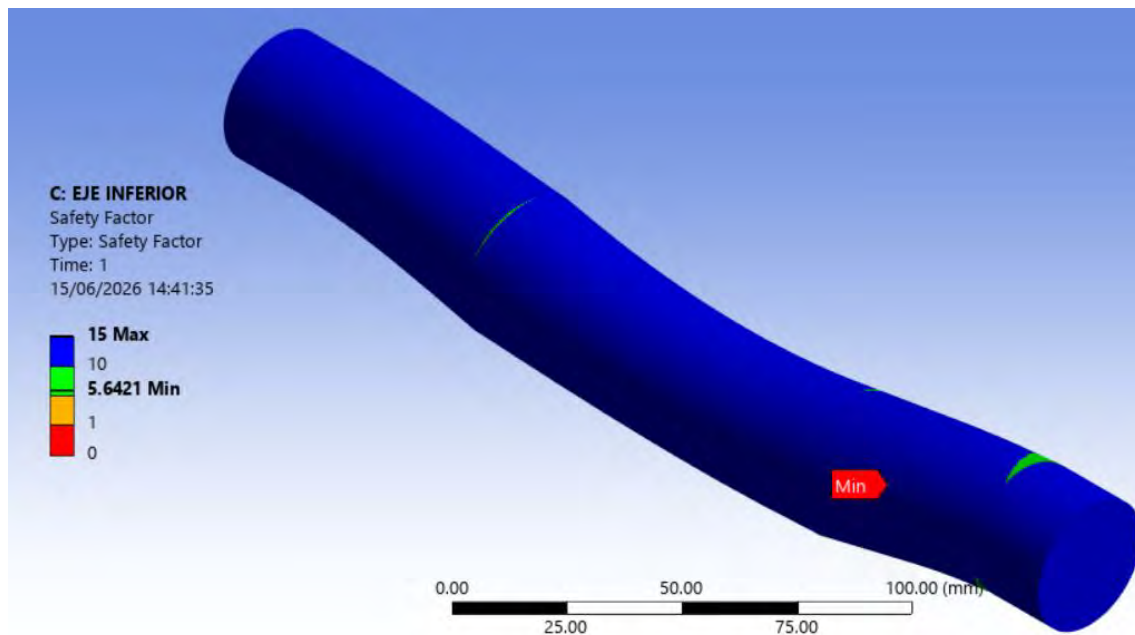
| Cargas      | Tipo de condición | Vector (x, y, z)        |
|-------------|-------------------|-------------------------|
| Chumacera 3 | Apoyo (C)         |                         |
| Piñón 4     | Fuerza (E)        | (0, 170.26, 1347.76) N  |
|             | Torque (A)        | (154.58, 0, 0) N×m      |
| Piñón 5     | Fuerza (F)        | (0, -3299.83, 933.75) N |
|             | Torque (B)        | (-154.58, 0, 0) N×m     |
| Chumacera 3 | Apoyo (D)         |                         |

*Nota: la tabla representa las cargas aplicadas del eje inferior.*

**Figura 5.14***Esfuerzo máximo equivalente del eje inferior**Nota: la figura representa el esfuerzo máximo equivalente del eje inferior.***Figura 5.15***Deformación máxima del eje inferior**Nota: la figura representa la deformación máxima del eje inferior.*

**Figura 5.16**

*Factor de seguridad del eje inferior*



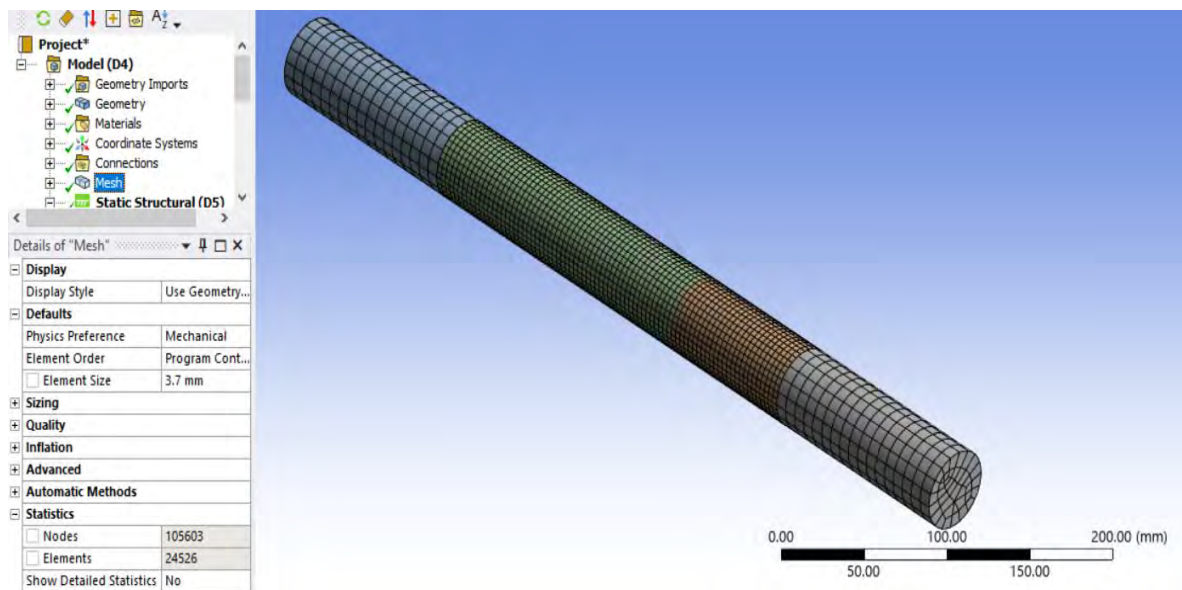
*Nota:* la figura representa el factor de seguridad del eje inferior.

Por lo tanto, la comparación entre los resultados analíticos y los obtenidos mediante ANSYS presentan una diferencia mínima tanto en el esfuerzo equivalente de Von Mises (60.45 MPa y 60.261 MPa) como en el factor de seguridad (5.6 y 5.6421), estos resultados validan el diámetro seleccionado y confirma que el eje inferior posee la resistencia necesaria para soportar de manera segura y confiable las condiciones de trabajo previstas.

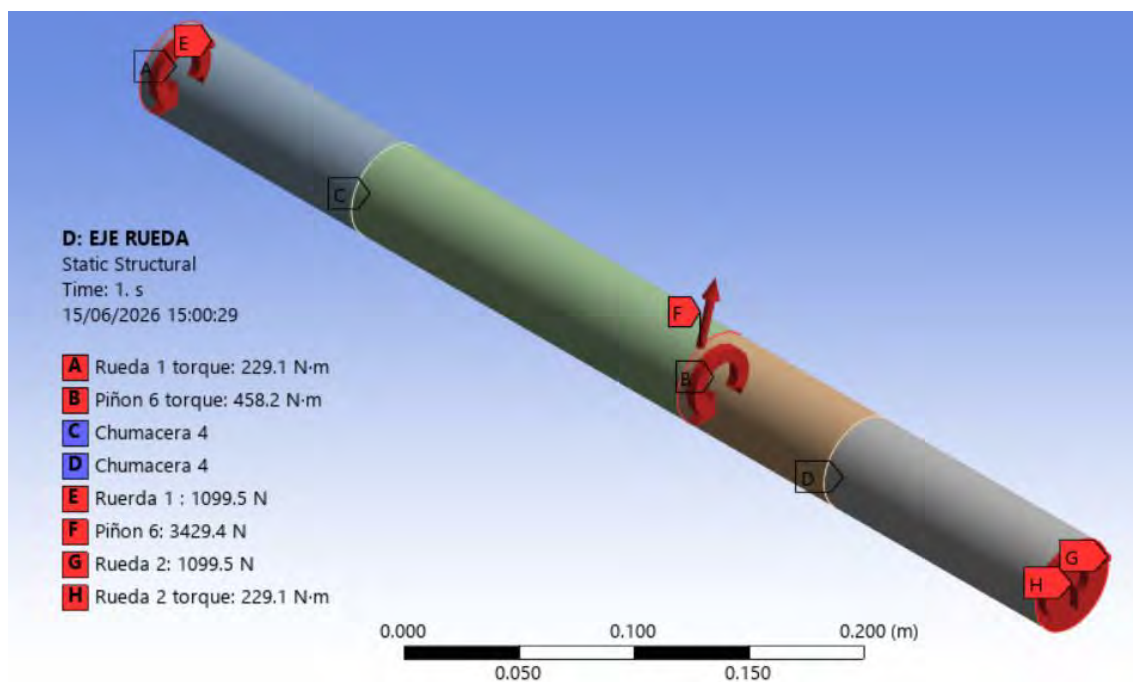
La deformación máxima se localiza en la rueda de tracción del eje de ruedas, en la zona donde se genera la fuerza flectora en el cubo de la rueda de tracción. En este punto se alcanza una deformación máxima de 0.017361 mm.

#### **5.1.4 Estudio de los esfuerzos y las deformaciones del eje de ruedas**

El eje de ruedas con un diámetro teórico de  $1 \frac{3}{4} \approx 44.45 \text{ mm}$ , mediante el análisis realizado se obtiene un esfuerzo equivalente máximo se presenta en la **Figura 5.19** y la deformación máxima en la **Figura 5.20**.

**Figura 5.17***Detalle de mallado del eje de ruedas*

*Nota:* la figura representa el detalle de mallado del eje de ruedas.

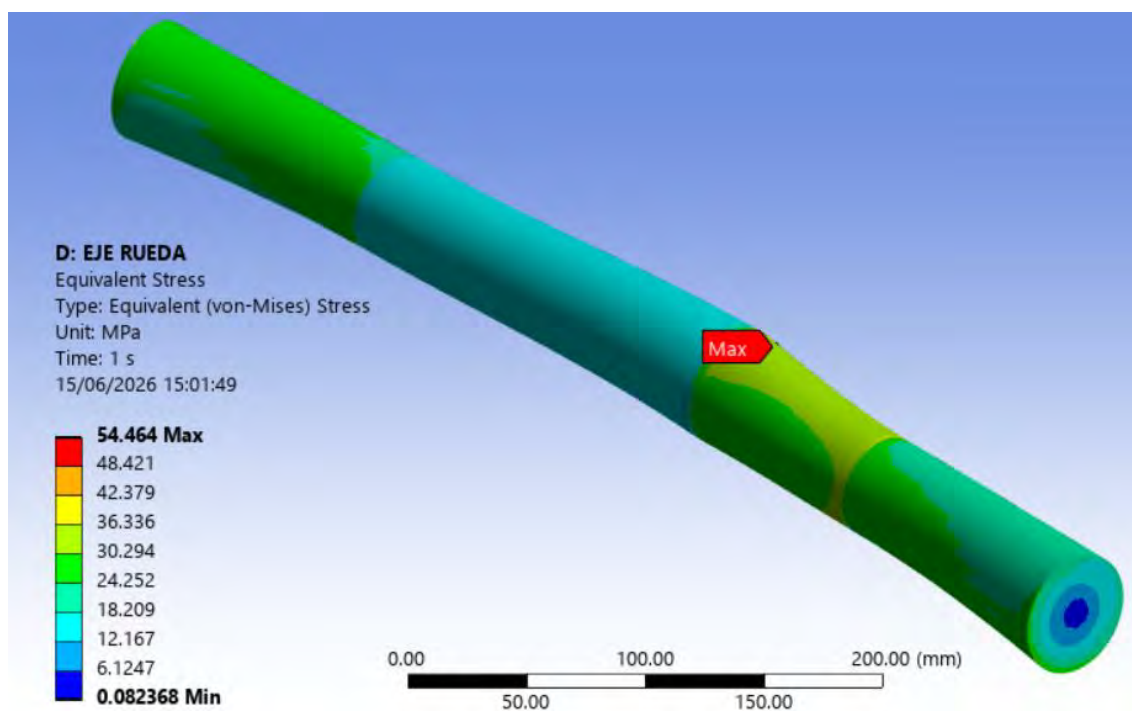
**Figura 5.18***Condiciones de contorno del eje de ruedas*

*Nota:* la figura representa las condiciones de contorno del eje de ruedas.

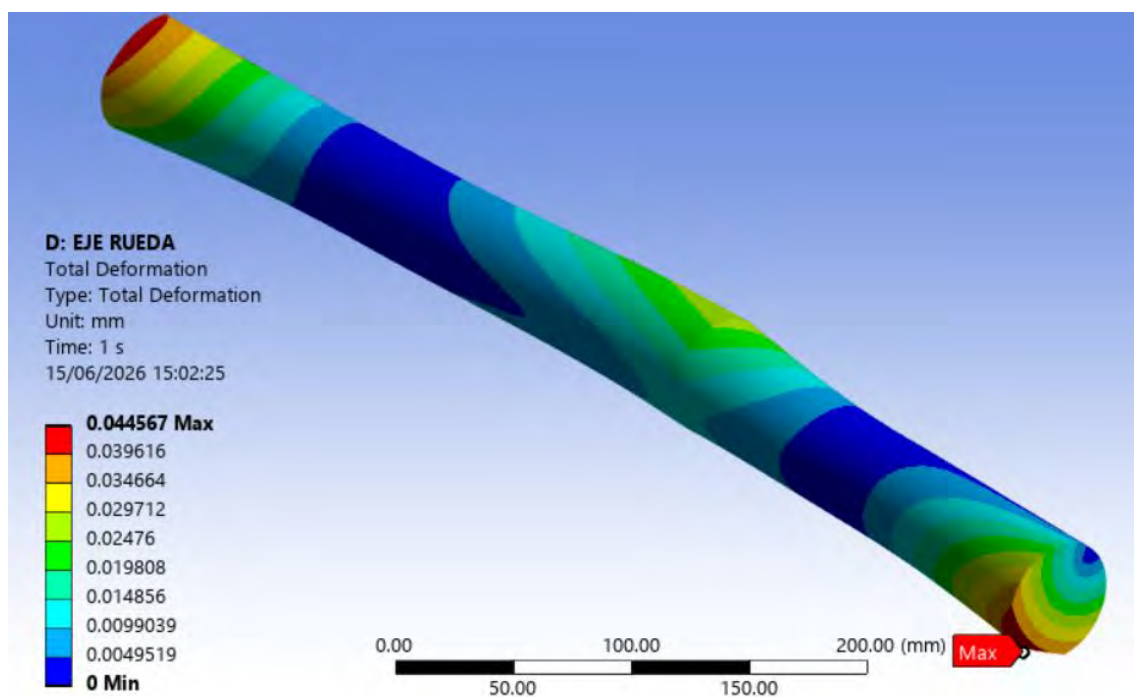
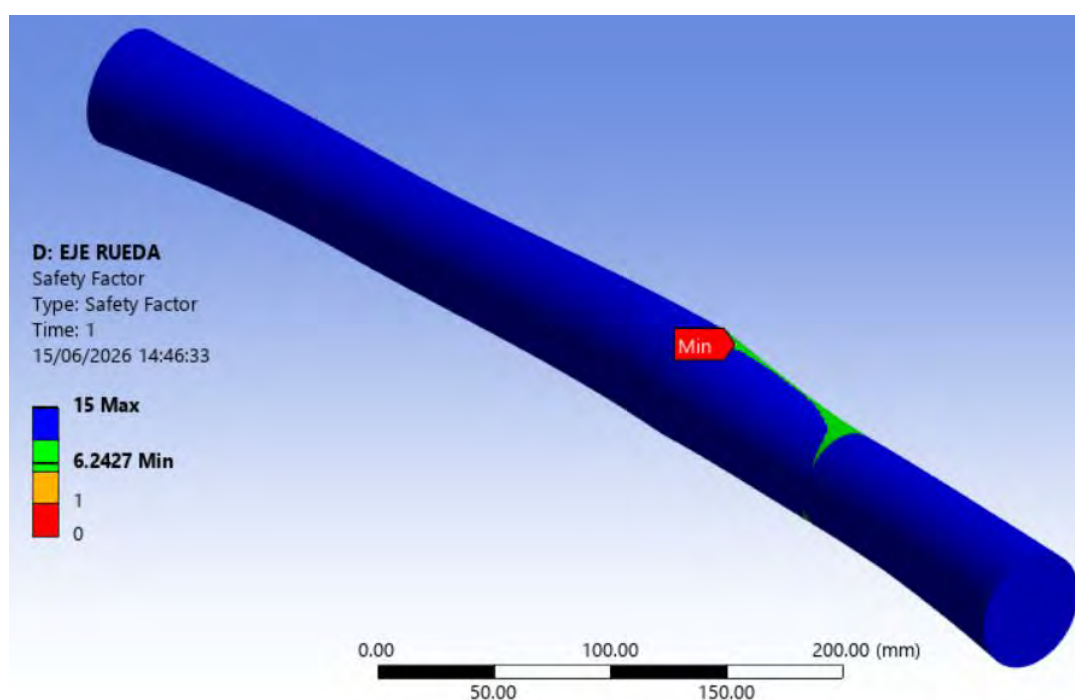
**Tabla 5.4***Cargas aplicadas del eje de ruedas*

| Cargas      | Tipo de condición | Vector (x, y, z)        |
|-------------|-------------------|-------------------------|
| Rueda 1     | Fuerza (E)        | (0, 392.4, 1027.11) N   |
|             | Torque (A)        | (229.1, 0, 0) N×m       |
| Chumacera 4 | Apoyo (C)         |                         |
| Piñón 6     | Fuerza (E)        | (0, 3299.83, -933.75) N |
|             | Torque (A)        | (458.2, 0, 0) N×m       |
| Chumacera 4 | Apoyo (D)         |                         |
| Rueda 2     | Fuerza (E)        | (0, 392.4, 1027.11) N   |
|             | Torque (A)        | (-229.1, 0, 0) N×m      |

*Nota:* la tabla representa las cargas aplicadas del eje de ruedas.

**Figura 5.19***Esfuerzo máximo equivalente del eje de ruedas*

*Nota:* la figura representa el esfuerzo máximo equivalente del eje de ruedas.

**Figura 5.20***Deformación máxima del eje de ruedas**Nota: la figura representa la deformación máxima del eje de ruedas.***Figura 5.21***Factor de seguridad de eje de ruedas**Nota: la figura representa el factor de seguridad de eje de ruedas.*

Por lo tanto, la comparación entre los resultados analíticos y los obtenidos mediante ANSYS presentan una diferencia mínima tanto en el esfuerzo equivalente de Von Mises (54.81 MPa y 54.464 MPa) como en el factor de seguridad (6.3 y 6.2427), estos resultados validan el diámetro seleccionado y confirma que el eje de ruedas posee la resistencia necesaria para soportar de manera segura y confiable las condiciones de trabajo previstas.

La deformación máxima se localiza en la rueda de tracción del eje de ruedas, en la zona donde se genera la fuerza flectora en el cubo de la rueda de tracción. En este punto se alcanza una deformación máxima de 0.044567 mm

#### ***5.1.5 Estudio de los Esfuerzos y las Deformaciones del Multicultor***

En el diseño del Multicultor el material utilizado para los cuatro ejes es el AISI 1045 ( $E = 200 \text{ GPa}$ ,  $S_Y = 340 \text{ MPa}$ ,  $S_{ut} = 650 \text{ MPa}$ ), para la estructura planchas es de acero A 36 ( $E = 200 \text{ GPa}$ ,  $S_Y = 250 \text{ MPa}$ ,  $S_{ut} = 400 \text{ MPa}$ ) y para el manubrio es de acero A500 ( $E = 200 \text{ GPa}$ ,  $S_Y = 230 \text{ MPa}$ ,  $S_{ut} = 310 \text{ MPa}$ ). Estas propiedades son asignadas a los respectivos componentes durante el análisis estructural realizado mediante el ANSYS 2021 R2, con el propósito de evaluar los esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad generados bajo las condiciones de operación consideradas en el diseño del Multicultor.

Para simplificar se obvian detalles de la maquina tales como motor, cadenas, tuercas, arandelas, pernos y otros componentes. Las chumaceras de pie y de pared se modelan lo más simple posible solo respetando la distancia hacia el centro de los ejes (ver **Figura 5.23**).

**Figura 5.22**

*Propiedades del material del Multicultor*

| Outline of Schematic F2: Engineering Data |                              |   |   |                                                                                                  |
|-------------------------------------------|------------------------------|---|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                           | A                            | B | C | D                                                                                                |
| 1                                         | Contents of Engineering Data |   |   |                                                                                                  |
| 2                                         | Material                     |   |   |                                                                                                  |
| 3                                         | AISI 1045                    |   |   | Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5 -110.1 |
| 4                                         | Acero A36                    |   |   | Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5 -110.1 |
| 5                                         | Acero A500                   |   |   | Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5 -110.1 |

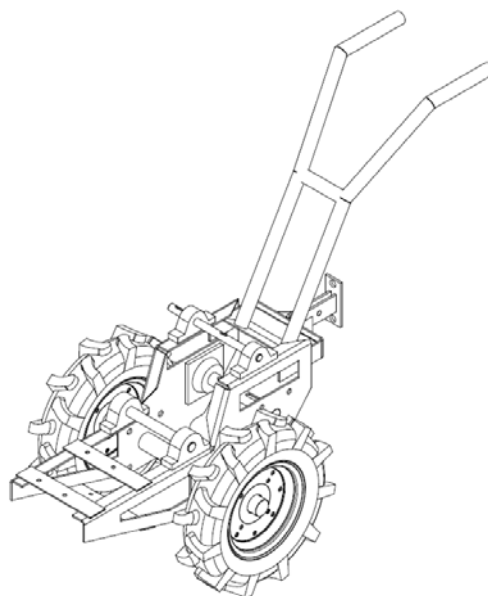
  

| Properties of Outline Row 5: Acero A500 |                                                   |         |                    |   |
|-----------------------------------------|---------------------------------------------------|---------|--------------------|---|
|                                         | A                                                 | B       | C                  | D |
| 1                                       | Property                                          | Value   | Unit               |   |
| 2                                       | Material Field Variables                          | Table   |                    |   |
| 3                                       | Density                                           | 7850    | kg m <sup>-3</sup> |   |
| 4                                       | Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion |         |                    |   |
| 6                                       | Isotropic Elasticity                              |         |                    |   |
| 12                                      | Strain-Life Parameters                            |         |                    |   |
| 20                                      | S-N Curve                                         | Tabular |                    |   |
| 24                                      | Tensile Yield Strength                            | 230     | MPa                |   |
| 25                                      | Compressive Yield Strength                        | 2.5E+08 | Pa                 |   |
| 26                                      | Tensile Ultimate Strength                         | 310     | MPa                |   |

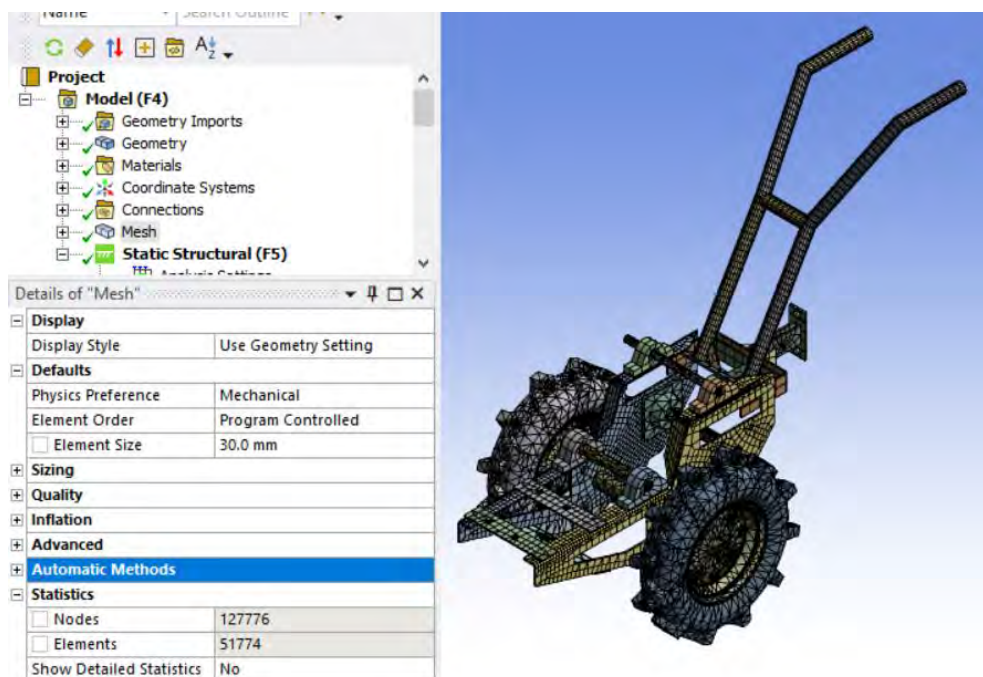
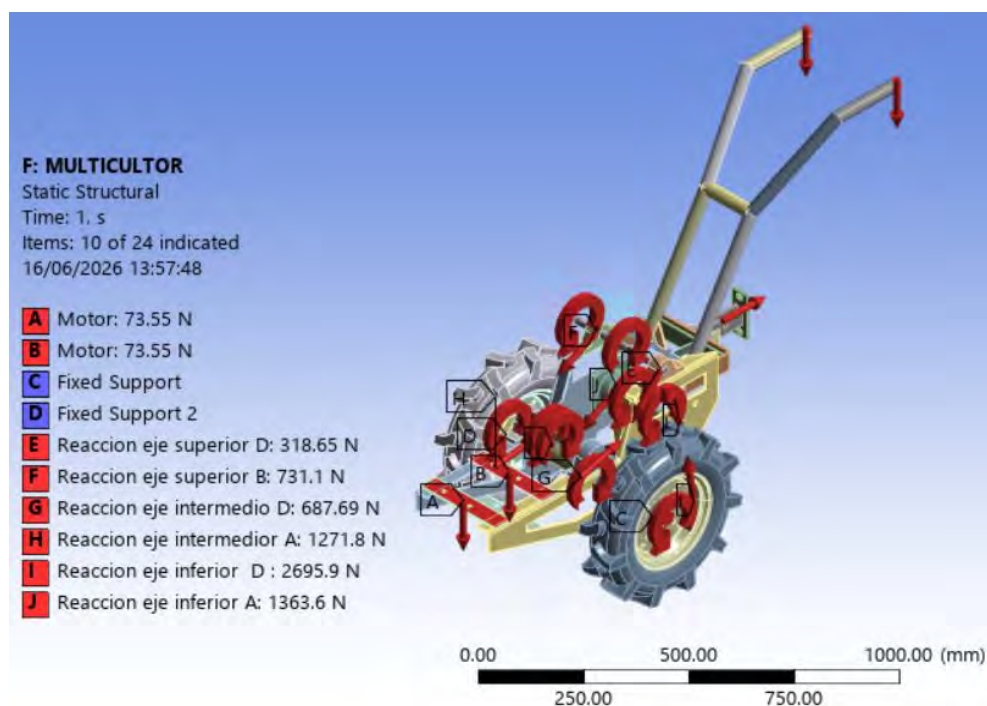
*Nota:* la figura representa las propiedades del material del Multicultor.

**Figura 5.23**

*Modelo 3d simplificado del Multicultor*

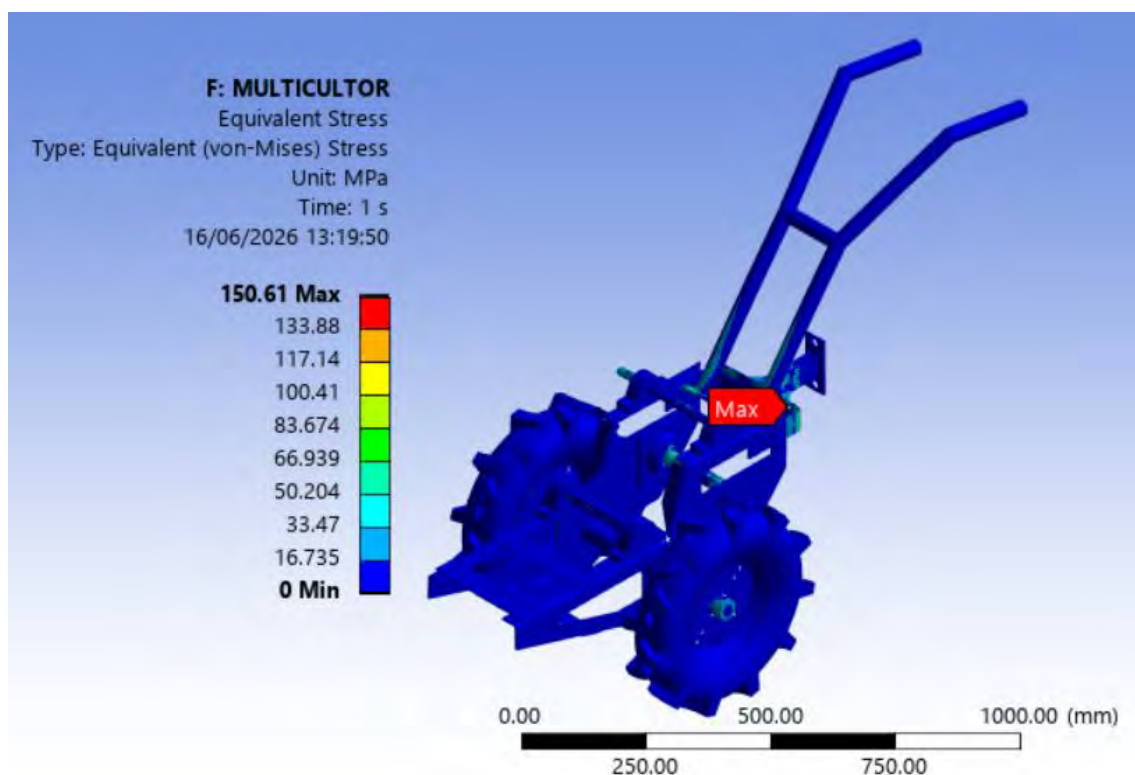


*Nota:* la figura representa el modelo 3d simplificado del Multicultor.

**Figura 5.24***Detalle de mallado del Multicultor**Nota: la figura representa el detalle de mallado del Multicultor.***Figura 5.25***Condiciones de contorno del Multicultor**Nota: la figura representa las condiciones de contorno del Multicultor.*

**Figura 5.26**

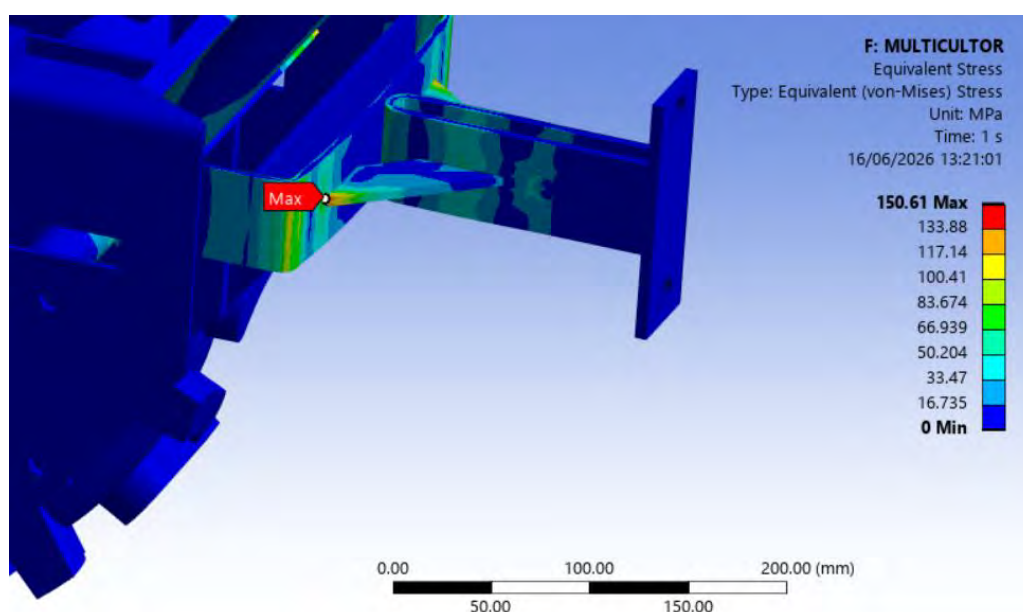
*Esfuerzo máximo equivalente del Multicultor*



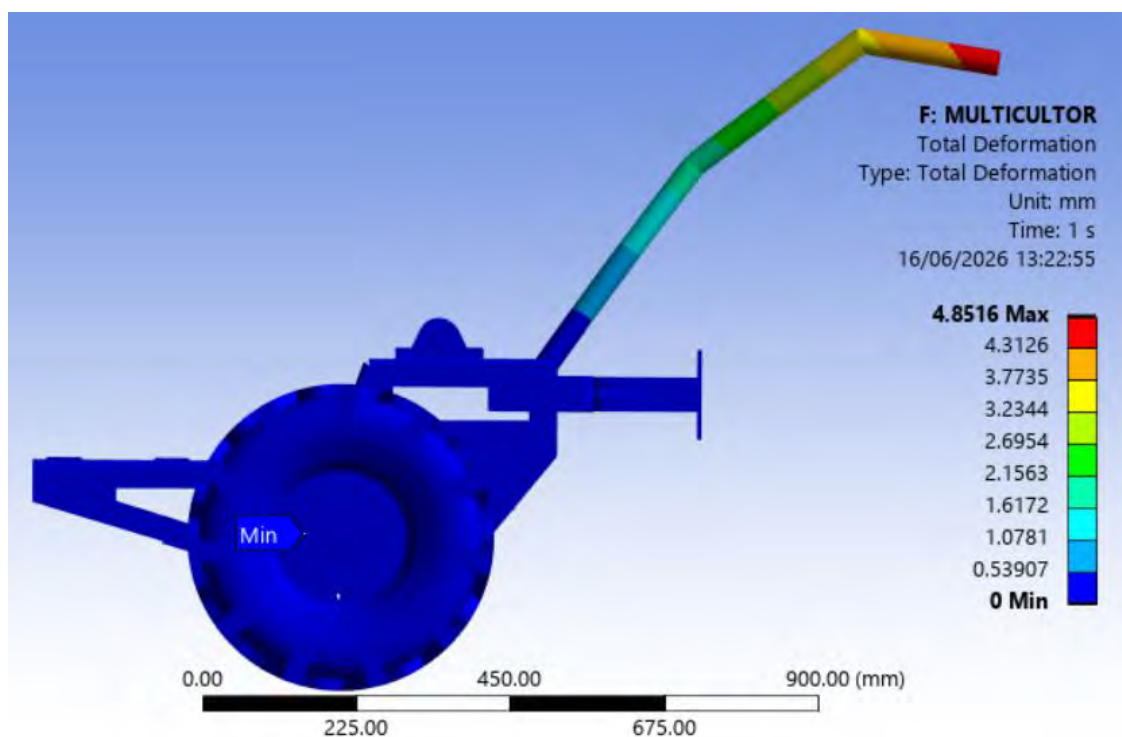
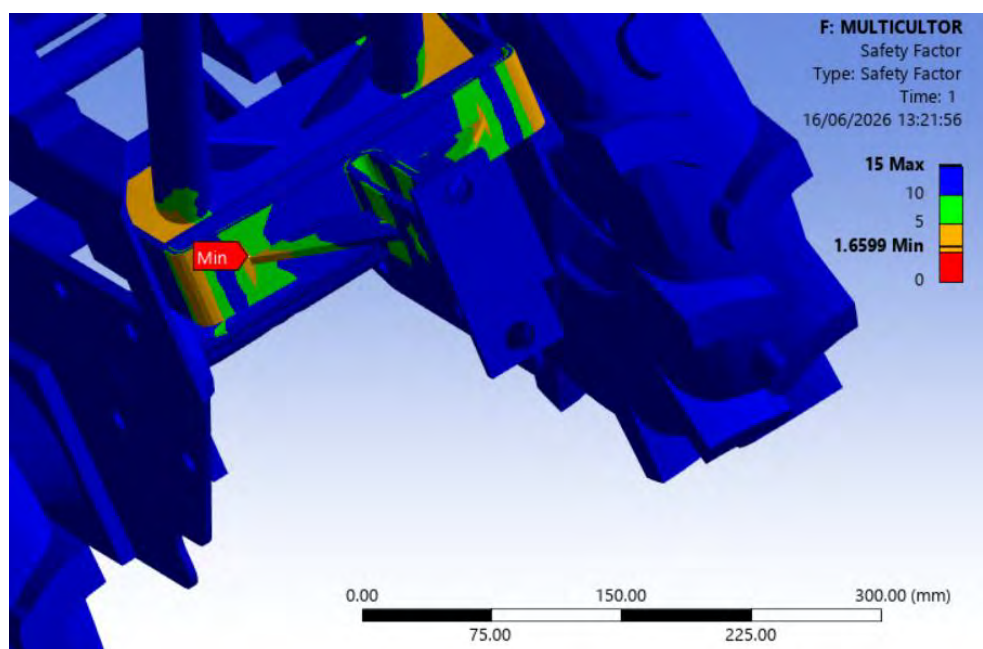
*Nota: la figura representa el esfuerzo máximo equivalente del Multicultor.*

**Figura 5.27**

*Esfuerzo máximo equivalente del punto crítico del Multicultor*



*Nota: la figura representa el esfuerzo máximo equivalente del punto crítico del Multicultor.*

**Figura 5.28***Deformación máxima del Multicultor**Nota: la figura representa la deformación máxima del Multicultor.***Figura 5.29***Factor de seguridad del Multicultor**Nota: la figura representa el factor de seguridad del Multicultor.*

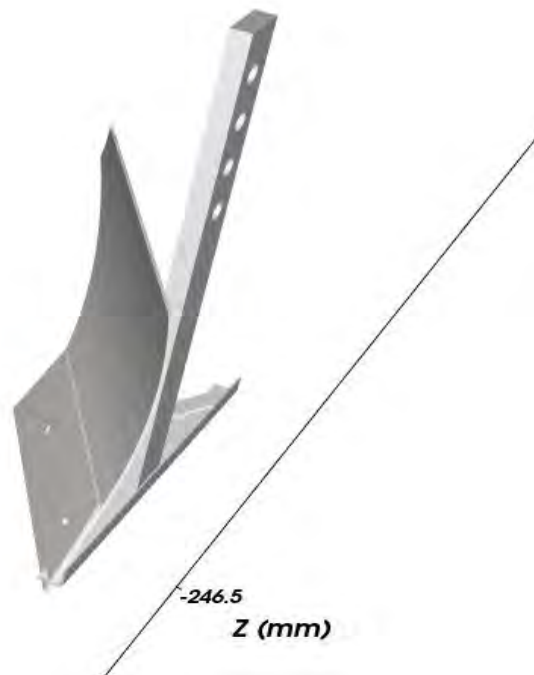
Los resultados obtenidos mediante el análisis estructural en ANSYS muestran que el Multicultor desarrolla un esfuerzo equivalente máximo de Von Mises de 150.61 MPa y una deformación máxima de 4.8516 MPa. Asimismo, se obtuvo un factor de seguridad mínimo de 1.6599 cuyo valor es superior a la unidad, lo que indica que la estructura puede soportar las cargas de trabajo consideradas sin presentar falla por fluencia. Por lo tanto, el diseño del Multicultor es estructuralmente seguro y adecuado para las condiciones de operación previstas, garantizando un comportamiento confiable durante su funcionamiento.

## **5.2 Análisis por elementos discretos (DEM)**

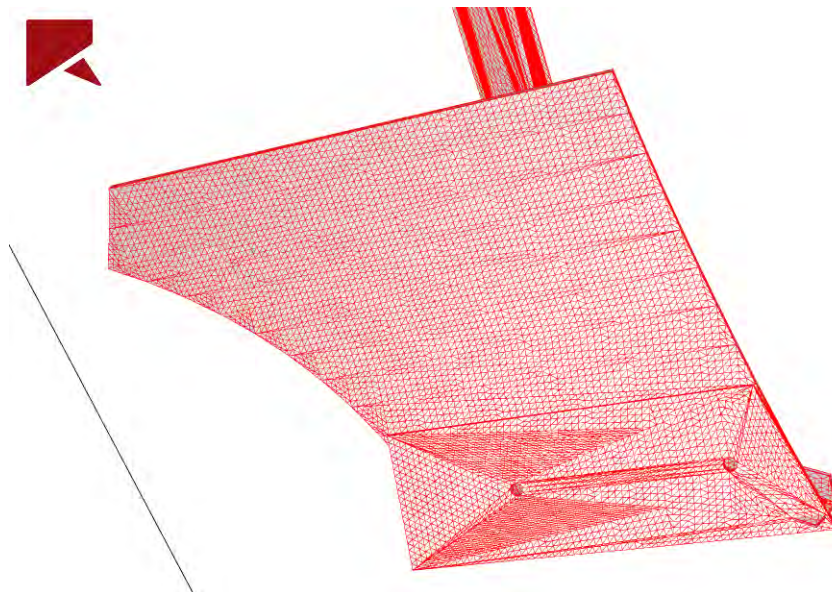
El Método de Elementos Discretos (DEM, Discrete Element Method) es una técnica de simulación que representa el suelo como un conjunto de partículas individuales con propiedades físicas definidas. Permite analizar la interacción entre el suelo y herramientas agrícolas como el arado, la rastra y el aporcador. Mediante esta simulación se evalúan los esfuerzos normales resistencia del suelo al avance y los esfuerzos tangenciales fricción y deslizamiento, lo que ayuda a identificar zonas de mayor carga, estimar el desgaste de las herramientas y optimizar su diseño y eficiencia en el campo.

### ***5.2.1 Estudio de esfuerzos del arado***

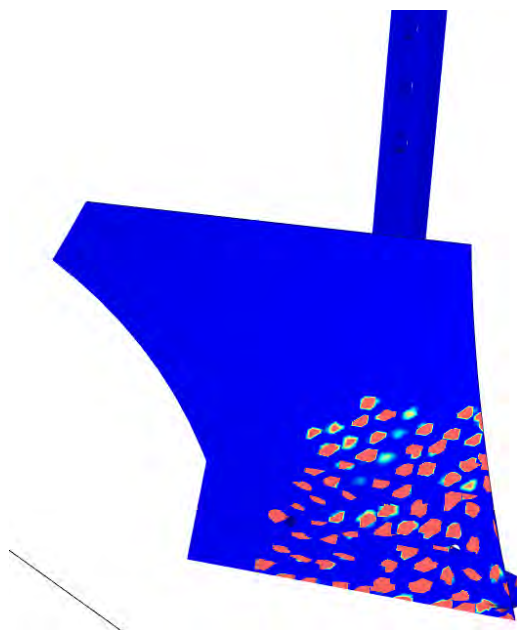
La velocidad de trabajo del arado es  $1.25 \frac{m}{s}$ , el suelo se presenta mediante partículas esféricas, mientras que el arado se modela como superficie rígida de acero ASTM A36. El arado es mallado con elementos de 5 mm para el análisis numérico. La simulación se realiza durante 6 segundos, que permite evaluar la interacción entre el suelo y la herramienta, identificando las zonas de mayor esfuerzo normal y tangencial, para verificar la resistencia y seguridad del diseño.

**Figura 5.30***Geometría del arado*

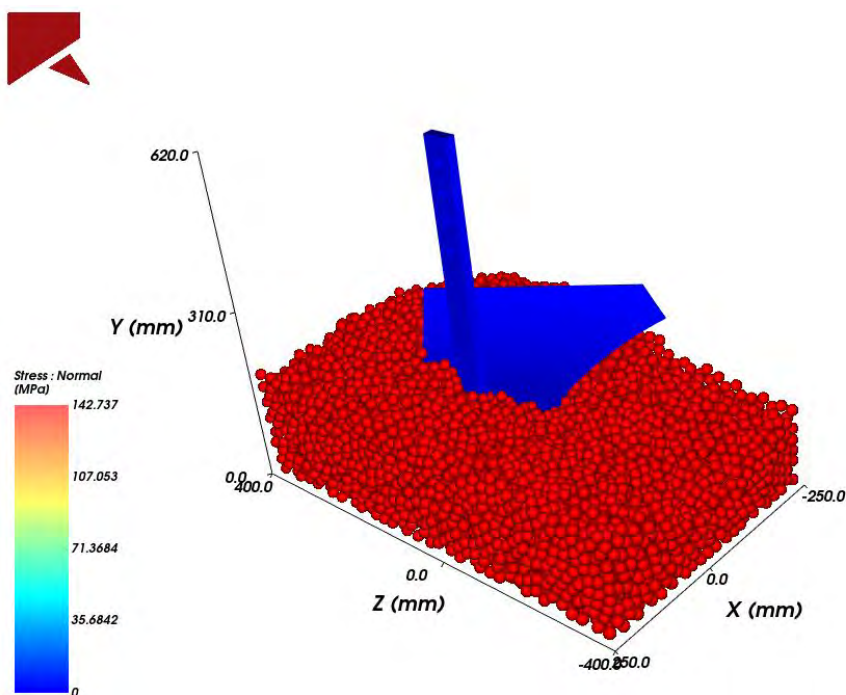
*Nota:* la figura representa la geometría del arado.

**Figura 5.31***Mallado del arado*

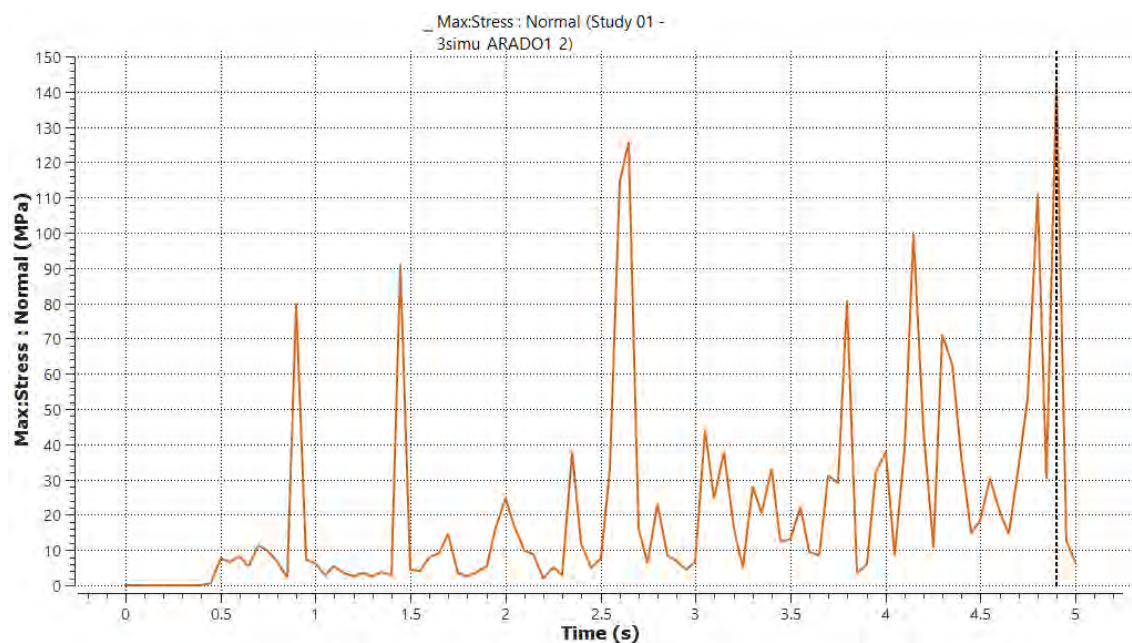
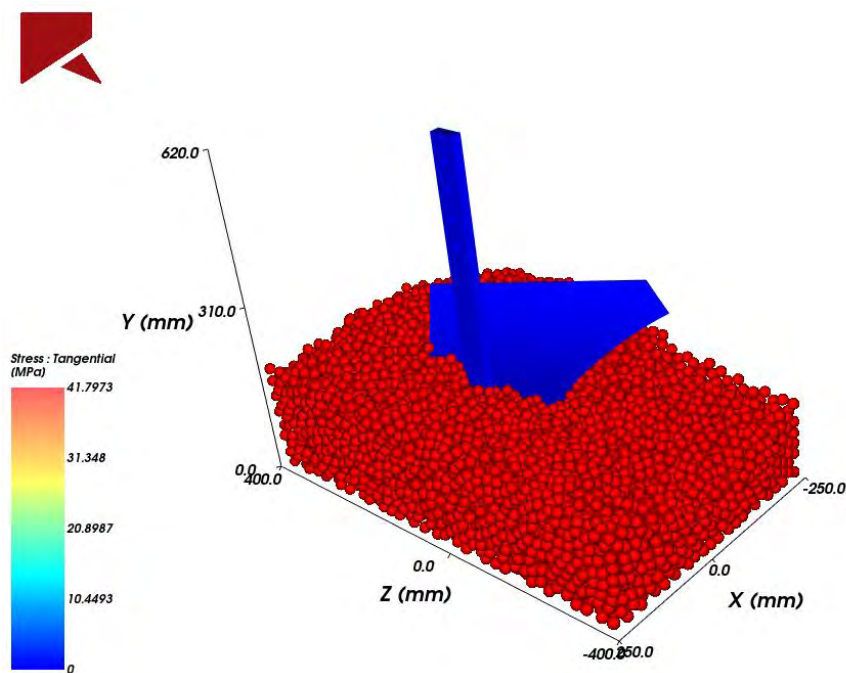
*Nota:* la figura representa mallado del arado con tamaño de la malla 5 mm

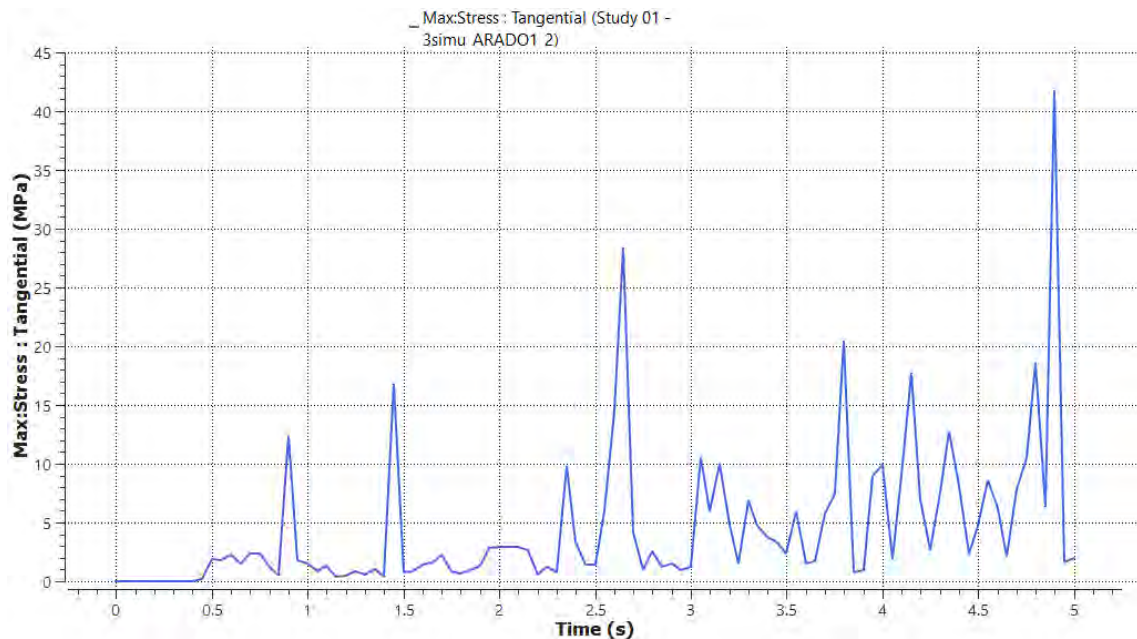
**Figura 5.32***Simulación de recorrido de la herramienta*

*Nota:* la figura representa la simulación de recorrido de la herramienta.

**Figura 5.33***Esfuerzo normal del arado*

*Nota:* la figura representa el esfuerzo normal del arado.

**Figura 5.34***Gráfica de esfuerzo normal del arado**Nota: la figura representa el esfuerzo normal del arado.***Figura 5.35***Esfuerzo tangencial del arado**Nota: la figura representa el esfuerzo tangencial del arado.*

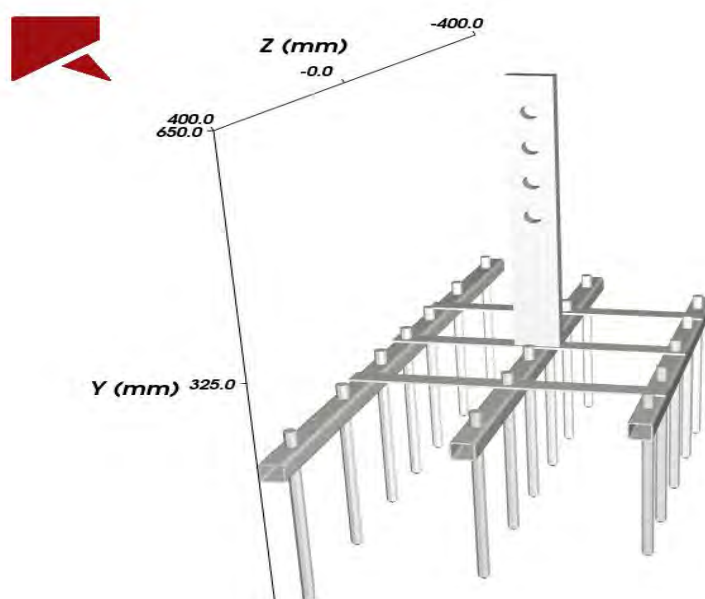
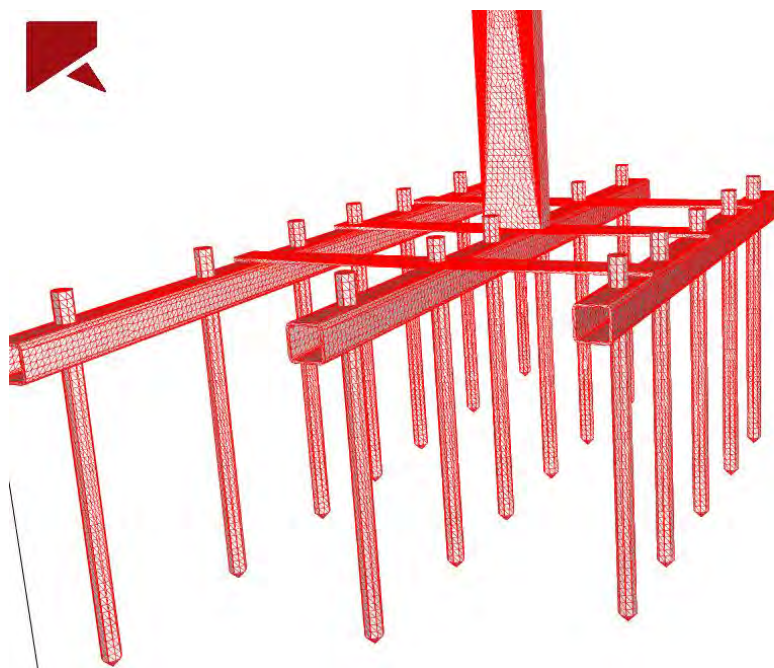
**Figura 5.36***Gráfica de esfuerzo tangencial del arado*

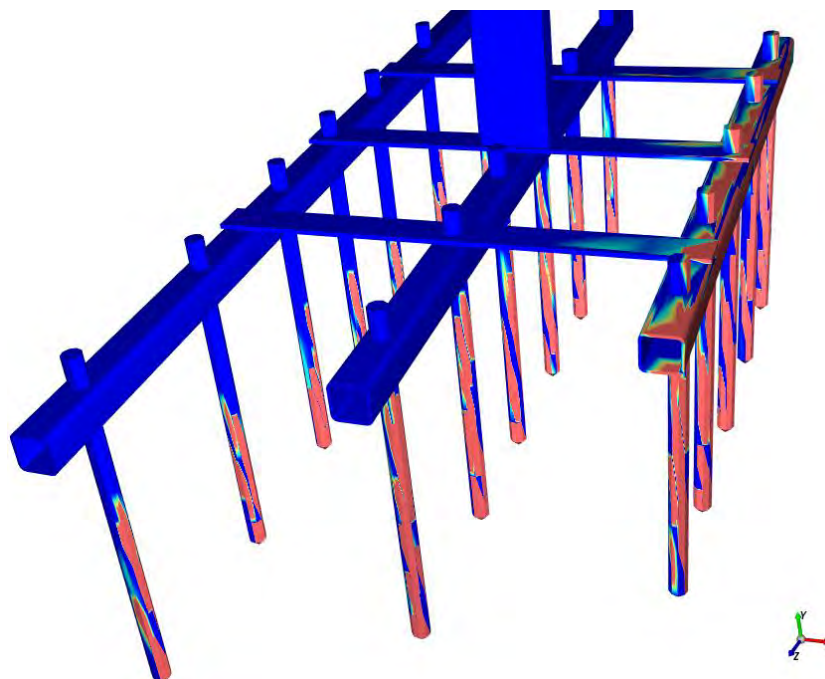
*Nota:* la figura representa el esfuerzo tangencial del arado.

Los resultados obtenidos mediante ANSYS Rocky muestran que el arado está sometido a un esfuerzo normal máximo de 142.737 MPa y a un esfuerzo tangencial máximo de 41.7973 MPa durante la interacción con el suelo. Resultando el esfuerzo equivalente Von mises 160.047 MPa y el factor de seguridad de 1.562. por lo tanto, se concluye que el factor de seguridad es aceptable, por ende, la selección del material y el diseño de la geometría es correcta principalmente los espesores del material.

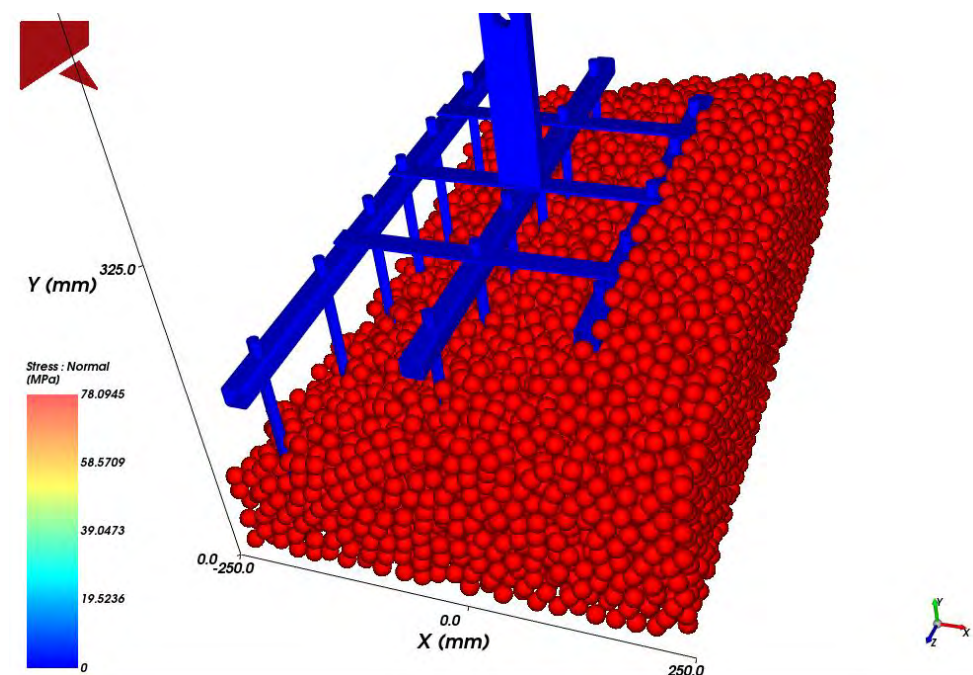
### **5.2.2 Estudio de esfuerzos de la rastra**

La velocidad de trabajo de la rastra es  $1.25 \frac{m}{s}$ , el suelo se presenta mediante partículas esféricas, mientras que la rastra se modela como superficie rígida de acero ASTM A36. La rastra es mallada con elementos de 5 mm para el análisis numérico. La simulación se realiza durante 5 segundos, que permite evaluar la interacción entre el suelo y la herramienta, identificando las zonas de mayor esfuerzo normal y tangencial, para verificar la resistencia y seguridad del diseño.

**Figura 5.37***Geometría de la rastra**Nota:* la figura representa la geometría de la rastra.**Figura 5.38***Mallado de la rastra**Nota:* la figura representa el mallado de la rastra.

**Figura 5.39***Simulación de recorrido de la herramienta*

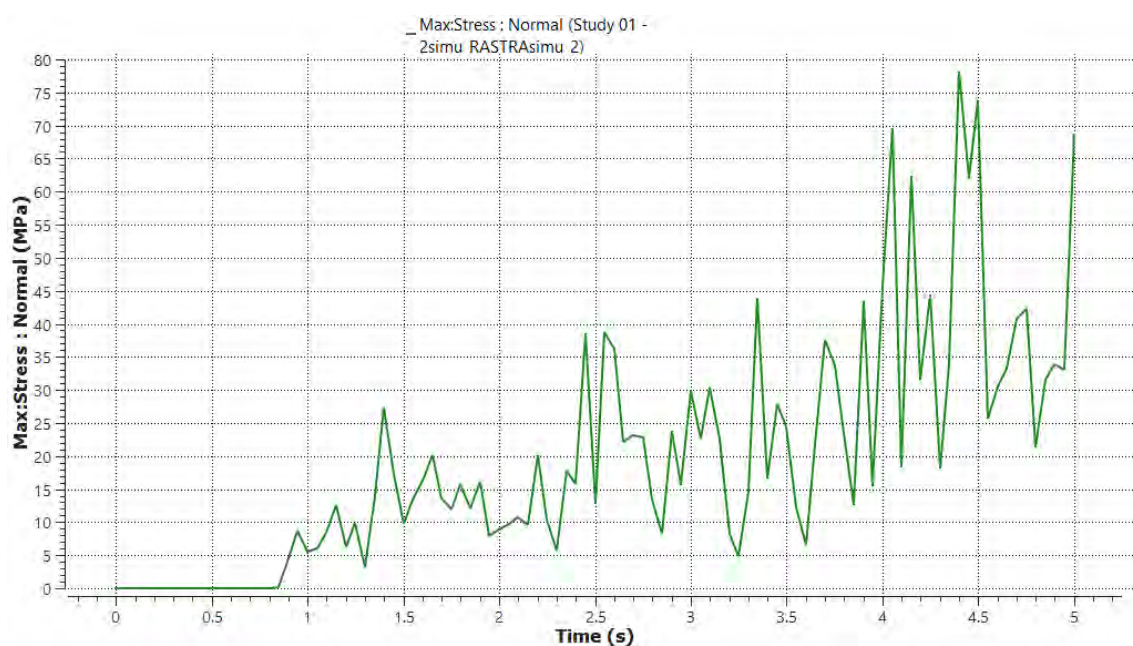
*Nota:* la figura representa la simulación de recorrido de la herramienta.

**Figura 5.40***Esfuerzo normal de la rastra*

*Nota:* la figura representa el esfuerzo normal de la rastra.

**Figura 5.41**

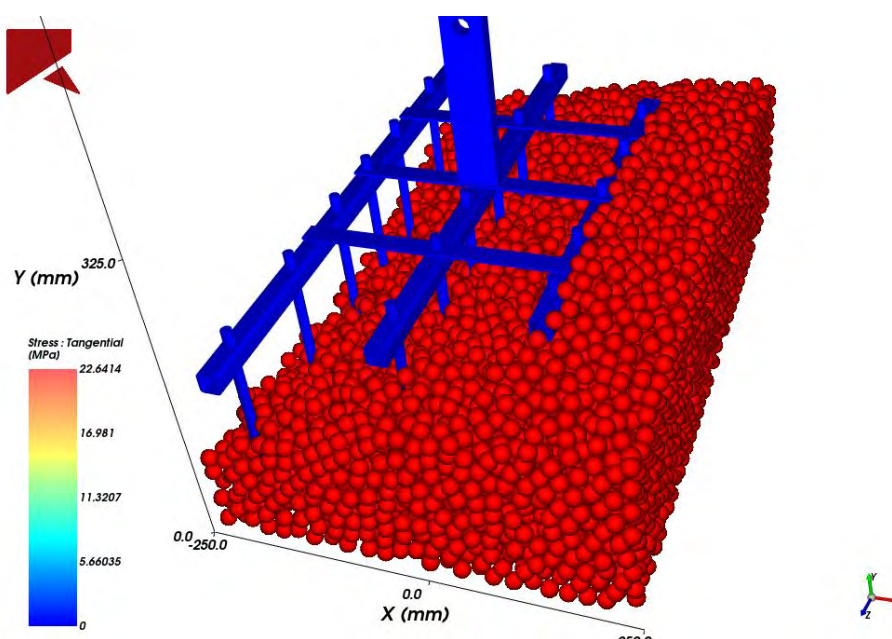
*Gráfica de esfuerzo normal de la rastra*



*Nota: la figura representa el esfuerzo normal de la rastra.*

**Figura 5.42**

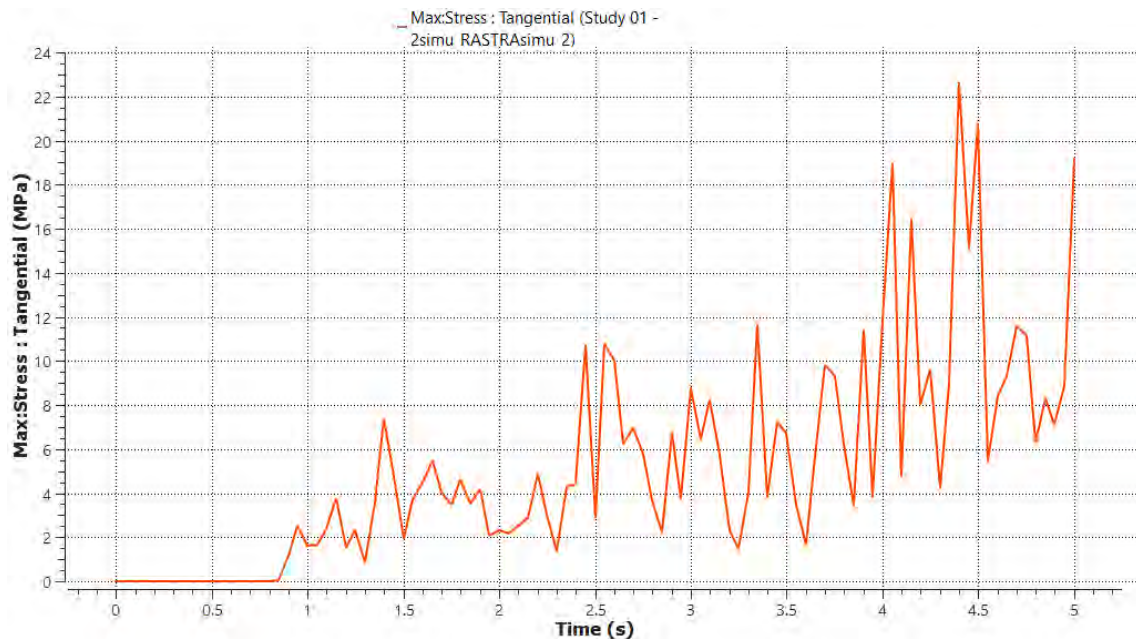
*Esfuerzo tangencial de la rastra*



*Nota: la figura representa el esfuerzo tangencial de la rastra.*

**Figura 5.43**

*Gráfica del esfuerzo tangencial de la rastra*



*Nota:* la figura representa la gráfica del esfuerzo tangencial de la rastra.

Los resultados obtenidos mediante ANSYS Rocky muestran que la rastra está sometido a un esfuerzo normal máximo de 78.0945 MPa y a un esfuerzo tangencial máximo de 22.6414 MPa durante la interacción con el suelo. Resultando el esfuerzo equivalente Von mises 87.388 MPa y el factor de seguridad de 2.861. Por lo tanto, se concluye que el factor de seguridad es aceptable, por ende, la selección del material y el diseño de la geometría es correcta principalmente los espesores del material.

### **5.2.3 Estudio de esfuerzos del aporcador**

La velocidad de trabajo del aporcador es  $1.25 \frac{m}{s}$ , el suelo se presenta mediante partículas esféricas, mientras que el aporcador se modela como superficie rígida de acero ASTM A36. El aporcado es mallado con elementos de 5 mm para el análisis numérico. La simulación se realiza durante 6 segundos, que permite evaluar la interacción entre el suelo y la herramienta, identificando las zonas de mayor esfuerzo normal y tangencial, para verificar la resistencia y seguridad del diseño.

**Figura 5.44**

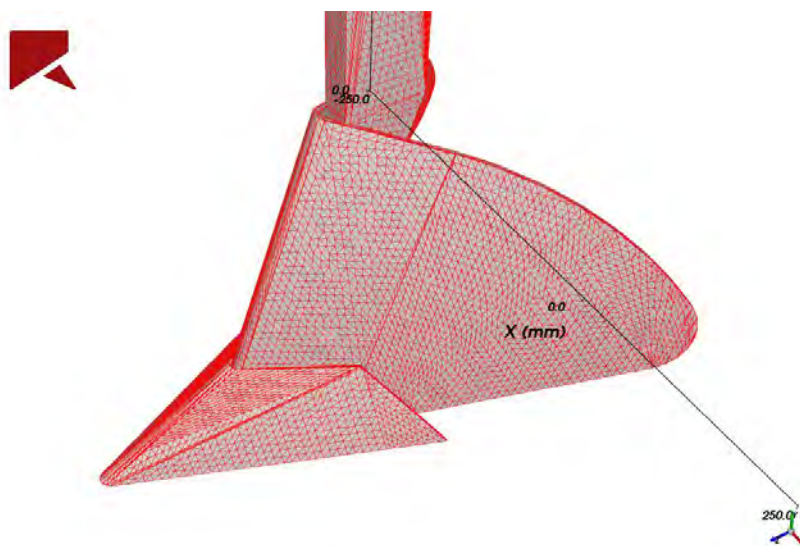
*Geometría del aporcador*



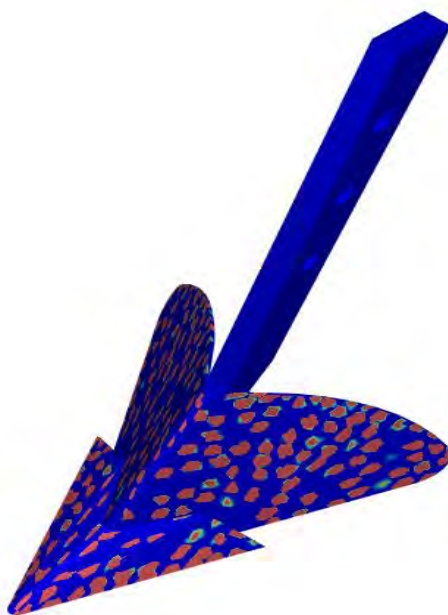
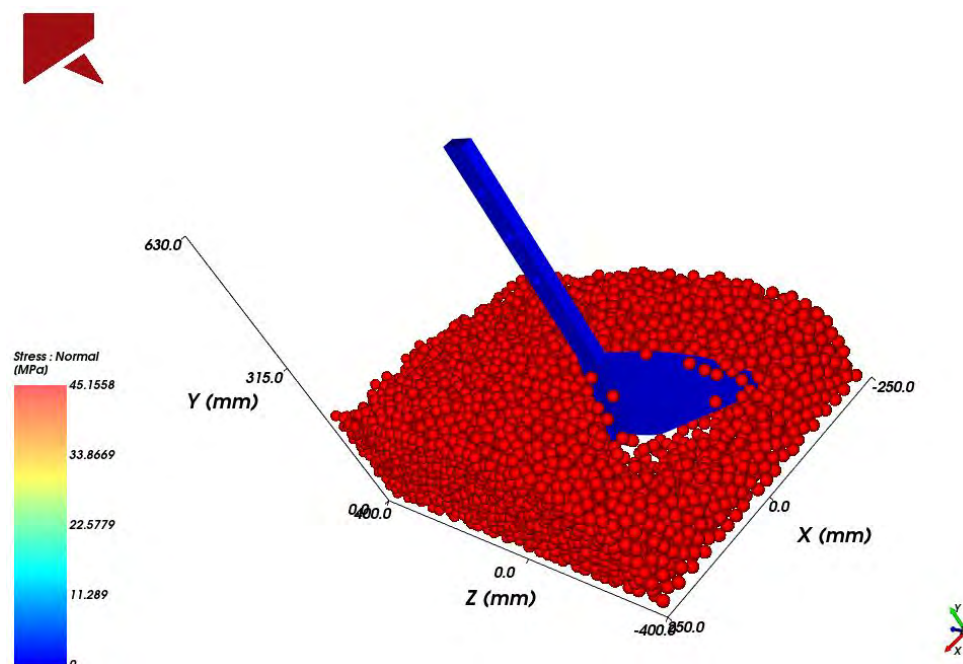
*Nota:* la figura representa la geometría del aporcador.

**Figura 5.45**

*Mallado del aporcador*

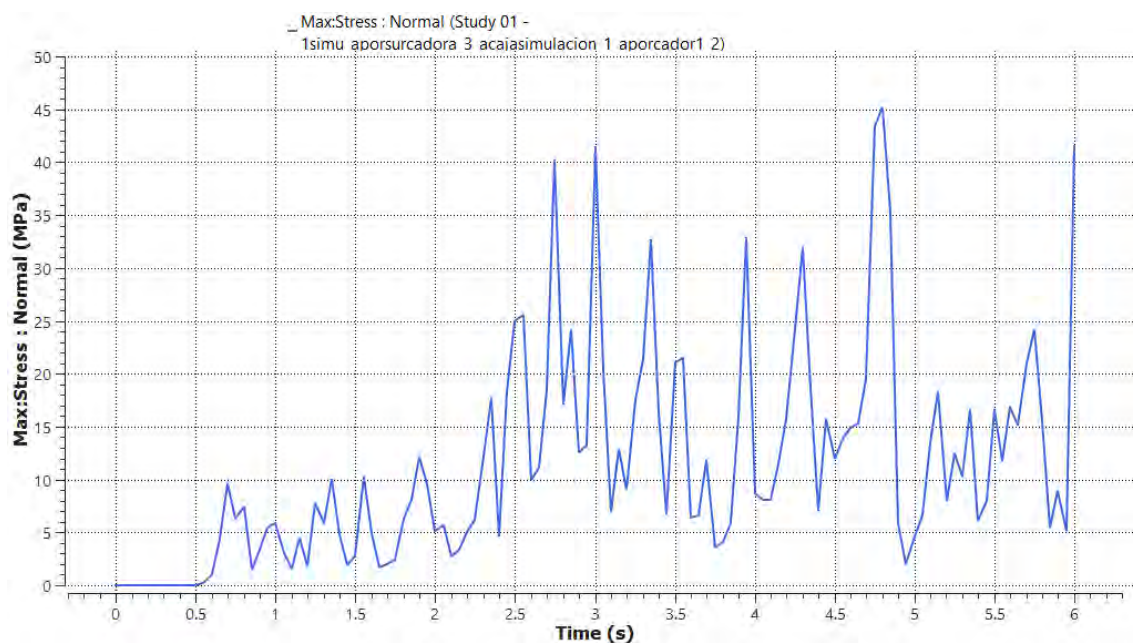


*Nota:* la figura representa el mallado del aporcador.

**Figura 5.46***Simulación de recorrido del aporcador**Nota: la figura representa la simulación de recorrido del aporcador.***Figura 5.47***Esfuerzo normal del aporcador**Nota: la figura representa el esfuerzo normal del aporcador.*

**Figura 5.48**

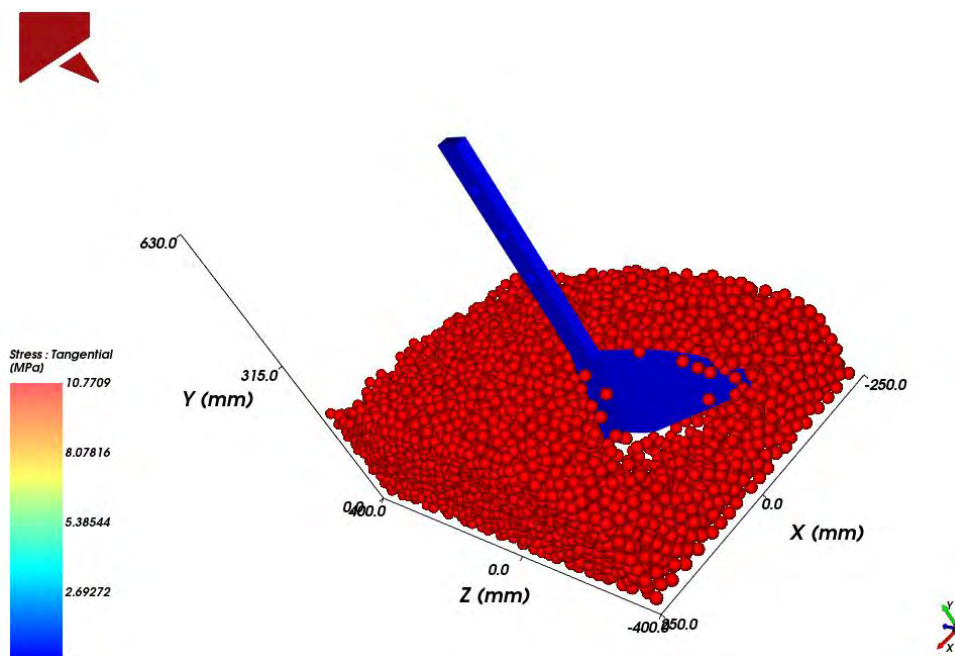
*Gráfica del esfuerzo normal del aporcador*



*Nota:* la figura representa la gráfica del esfuerzo normal del aporcador.

**Figura 5.49**

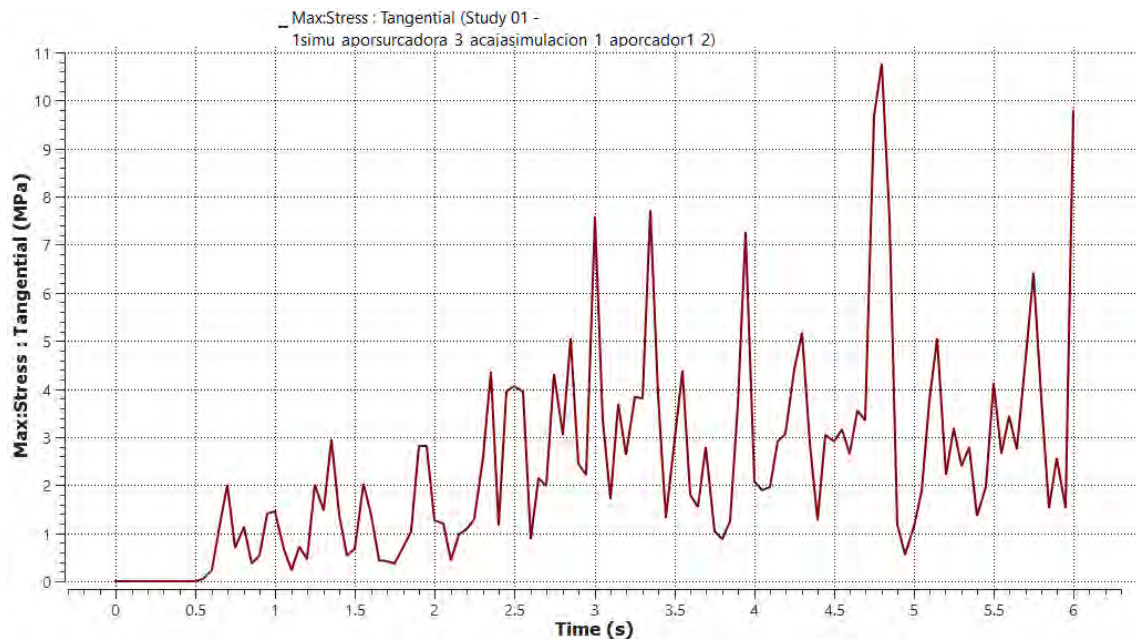
*Esfuerzo tangencial del aporcador*



*Nota:* la figura representa el esfuerzo tangencial del aporcador.

**Figura 5.50**

*Gráfica del esfuerzo tangencial del aporcador*

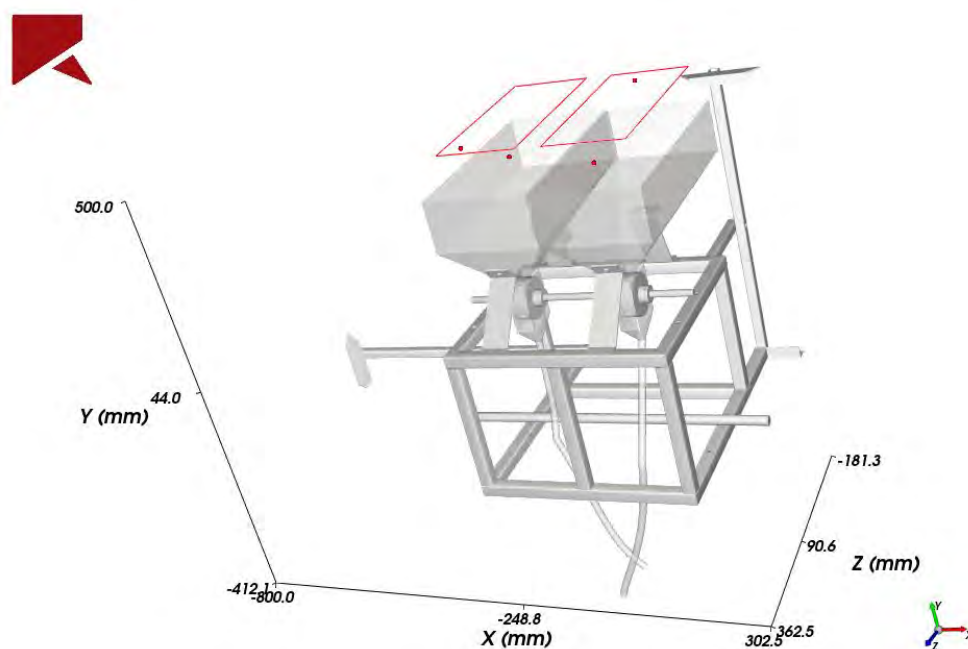


*Nota:* la figura representa la gráfica del esfuerzo tangencial del aporcador.

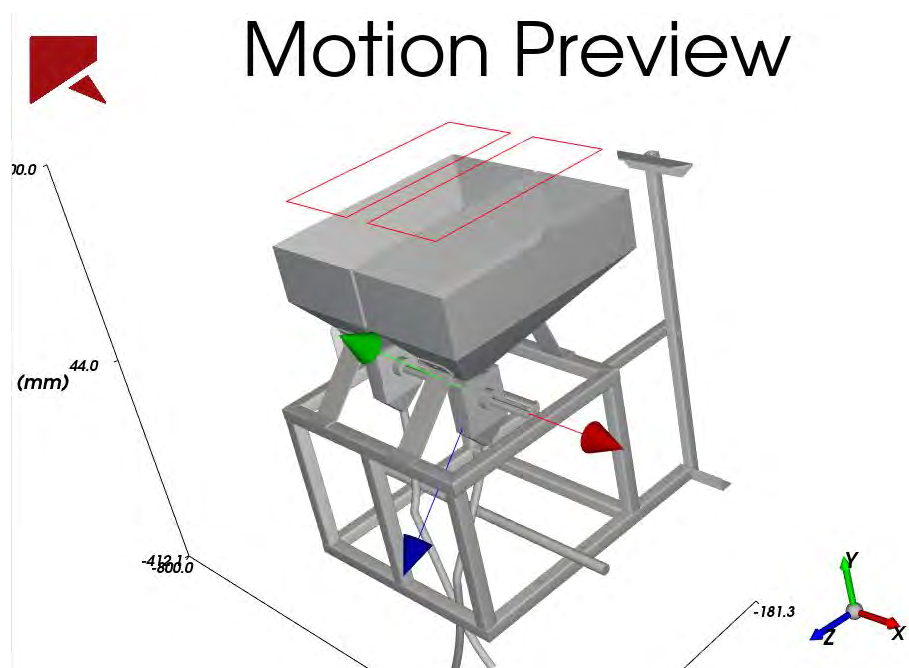
Los resultados obtenidos mediante ANSYS Rocky muestran que el aporcador está sometido a un esfuerzo normal máximo de 45.1558 MPa y a un esfuerzo tangencial máximo de 10.7709 MPa durante la interacción con el suelo. Resultando el esfuerzo equivalente Von mises 48.858 MPa y el factor de seguridad de 5.117. Por lo tanto, se concluye que el factor de seguridad es aceptable, por ende, la selección del material y el diseño de la geometría es correcta principalmente los espesores del material.

#### **5.2.4 Estudio de funcionamiento de los dosificadores de la sembradora**

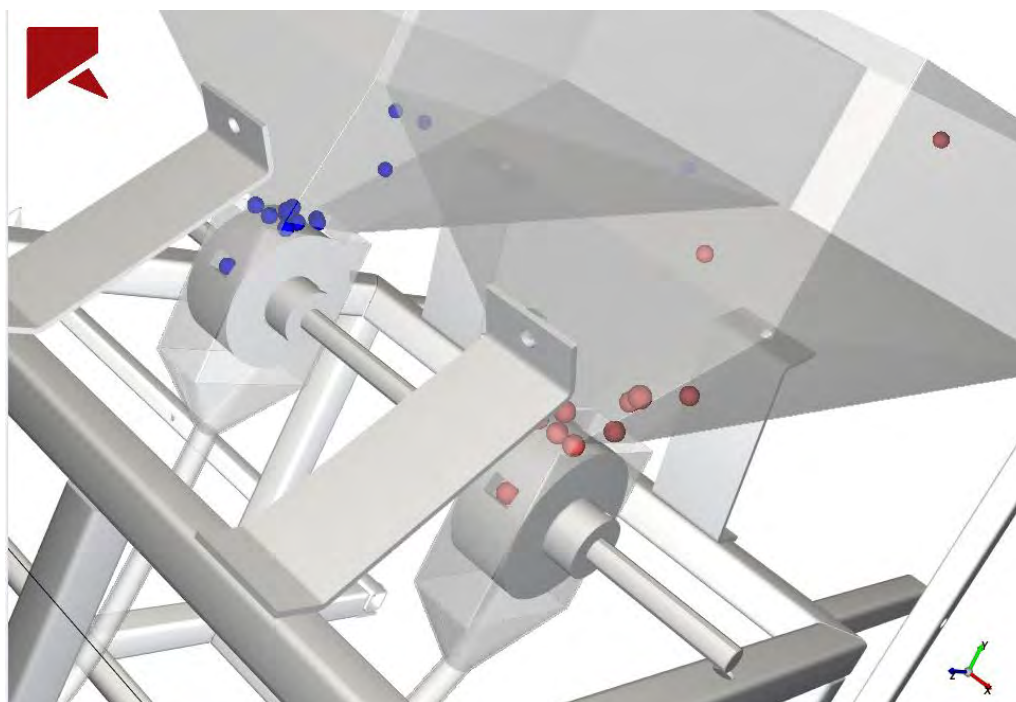
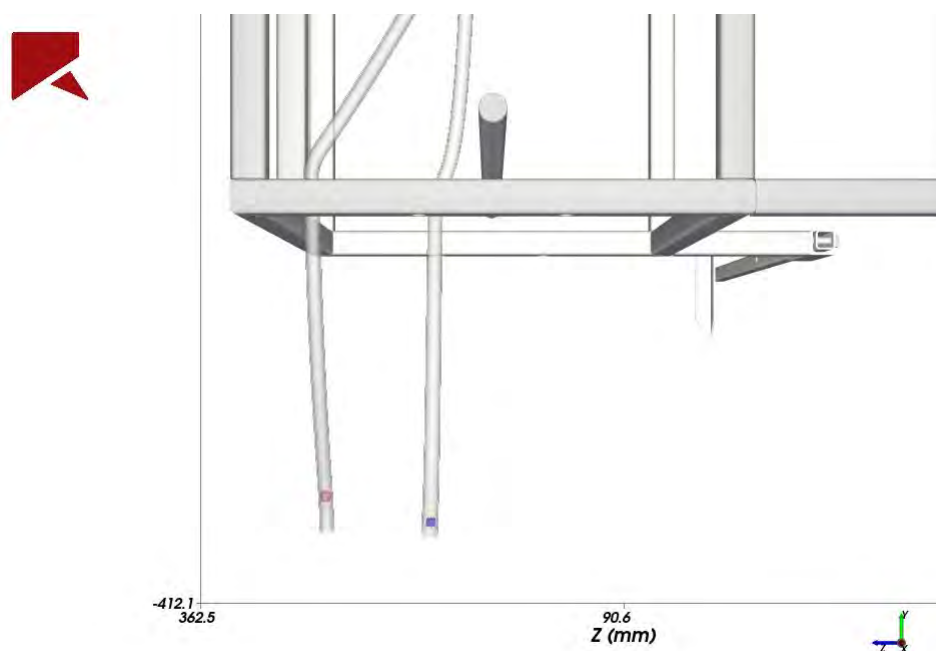
El análisis de los dosificadores de semillas y fertilizante se fundamenta en el que permite simular el movimiento e interacción de partículas individuales. En ANSYS Rocky, las semillas y los gránulos de fertilizante se modelan como partículas con propiedades físicas definidas, tales como tamaño, forma, densidad y coeficientes de fricción.

**Figura 5.51***Geometría simplificada de la sembradora*

*Nota:* la figura representa la geometría simplificada de la sembradora, solo se aprecia los elementos que se consideran importantes.

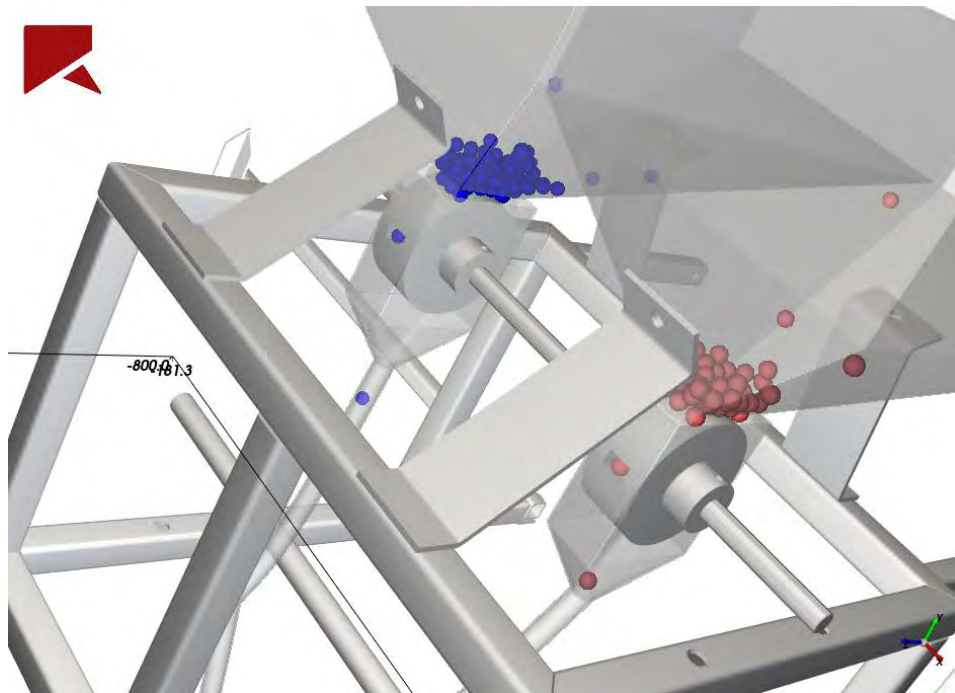
**Figura 5.52***Simulación de la sembradora en el dosificador*

*Nota:* la figura representa la simulación de la sembradora en los dos dosificadores.

**Figura 5.53***Correcto funcionamiento de los dosificadores**Nota: la figura representa el correcto funcionamiento de los dosificadores.***Figura 5.54***Caída de las semillas maíz y fertilizante**Nota: la figura representa la caída de las semillas maíz y fertilizante que son igual.*

**Figura 5.55**

*Flujo continuo de las semillas de maíz y fertilizante*



*Nota:* la figura representa el flujo continuo de las semillas de maíz y fertilizante.

Entonces, se concluye el correcto funcionamiento de los dosificadores y sus elementos auxiliares que demuestran un desempeño adecuado y confiable, confirmando que cumplen con los parámetros de diseño, especificaciones técnicas y criterios de eficiencia requeridos para un funcionamiento continuo y sin incidencias relevantes.

La simulación en ANSYS Rocky demostró que el dosificador proporciona una descarga uniforme y continua de semillas y fertilizante, manteniendo un flujo estable y minimizando la formación de atascamientos o vacíos. Por lo tanto, el diseño propuesto cumple con los requisitos de distribución del material, contribuyendo a una siembra más eficiente y precisa.

## CAPÍTULO VI

### 6 Evaluación económica del diseño

#### 6.1 Evaluación económica del Multicultor

Para la evaluación económica de la máquina Multicultor, es necesario identificar y analizar los costos directos e indirectos, con la finalidad de determinar el costo total de la máquina, rentabilidad y viabilidad económica.

##### 6.1.1 Costos directos

Los costos directos comprenden todos los gastos asociados de manera directa a la fabricación y ensamblaje del Multicultor. Estos incluyen los recursos necesarios para su construcción, tales como los materiales, los componentes comerciales, el uso de máquinas herramienta y la mano de obra directa.

##### a) Costo de materiales

Corresponde al gasto generado por la adquisición de los elementos e insumos necesarios para la fabricación del Multicultor, los cuales serán transformados mediante diversos procesos de manufactura. Estos costos se detallan en la **Tabla 6.1**.

**Tabla 6.1**

*Costos directos de materiales*

| ID                    | Elemento           | Descripción                       | Cantidad | Unidad | Costo Total (Soles) |
|-----------------------|--------------------|-----------------------------------|----------|--------|---------------------|
| <b>1. Multicultor</b> |                    |                                   |          |        | <b>S/ 405.00</b>    |
| 1.1                   | Soporte motor      | Platina 1/8"x2"<br>ASTM A36       | 750      | mm     | S/ 7.00             |
| 1.2                   | Planchas laterales | Plancha espesor<br>3/16" ASTM A36 | 282844   | mm^2   | S/ 150.00           |
| 1.3                   | Manubrio           | Tubo circular<br>33.7x3 mm        | 2500     | mm     | S/ 60.00            |
| 1.4                   | Ejes               | Acero AISI 1045<br>3/4"           | 300      | mm     | S/ 15.00            |
|                       |                    | Acero AISI 1045 1"                | 250      | mm     | S/ 15.00            |

|                  |                      |                                                 |         |      |                 |
|------------------|----------------------|-------------------------------------------------|---------|------|-----------------|
|                  |                      | Acero AISI 1045 1 1/4"                          | 250     | mm   | S/ 20.00        |
|                  |                      | Acero AISI 1045 1 3/4"                          | 550     | mm   | S/ 20.00        |
| 1.5              | Cubierta             | Plancha espesor 1 mm ASTM A36                   | 269042  | mm^2 | S/ 35.00        |
|                  |                      | Conexión herramientas, platina 3/8"x2" ASTM A36 | 304     | mm   | S/ 7.00         |
|                  |                      | Apoyo conexión, platina 3/16"x2" ASTM A36       | 524     | mm   | S/ 7.00         |
| 1.6              | Porta herramienta    | Soporte, plancha espesor 3/16"                  | 2137.5  | mm^2 | S/ 45.00        |
|                  |                      | Seguro, platina 3/16"x1" ASTM A36               | 130     | mm   | S/ 7.00         |
|                  |                      | Pin porta herramienta                           | 1       | UND  | S/ 5.00         |
|                  |                      | Seguro porta herramienta                        | 1       | UND  | S/ 5.00         |
|                  |                      | Platina 1/8"x2" ASTM A36                        | 231     | mm   | S/ 7.00         |
| <b>2. Arado</b>  |                      |                                                 |         |      | <b>S/ 89.50</b> |
| 2.1              | Brazo                | Platina 1/2"x3" ASTM A36                        | 580     | mm   | S/ 12.50        |
| 2.2              | Resguardador         | Angular 25x25x3 mm ASTM A36                     | 473     | mm   | S/ 8.00         |
| 2.3              | Vertedera            | Plancha espesor 3 mm ASTM A36                   | 118000  | mm^2 | S/ 35.00        |
| 2.4              | Cuchilla             | Plancha espesor 1/4" ASTM A653                  | 28023.1 | mm^2 | S/ 30.00        |
| 2.5              | Soporte resguardador | Angular 25x25x3 mm ASTM A36                     | 275     | mm   | S/ 4.00         |
| <b>3. Rastra</b> |                      |                                                 |         |      | <b>S/ 86.00</b> |
| 3.1              | Estructura rastra    | Perfil cuadrado 38x38x3 mm                      | 1920    | mm   | S/ 29.00        |
| 3.2              | Travesaño central    | Platina 1/4"x1 1/2" ASTM A36                    | 325     | mm   | S/ 8.00         |
| 3.3              | Brazo                | Platina 1/2"x3" ASTM A36                        | 400     | mm   | S/ 12.50        |
| 3.4              | Travesaño lateral    | Platina 1/4"x1 1/2" ASTM A36                    | 325     | mm   | S/ 5.50         |
| 3.5              | Varillas             | Barra de diámetro de 1/2"                       | 5400    | mm   | S/ 19.00        |

|                      |                   |                                            |         |      |                  |
|----------------------|-------------------|--------------------------------------------|---------|------|------------------|
| 3,6                  | Soporte           | Plancha espesor 3/16" ASTM A653            | 2137.5  | mm^2 | S/ 12.00         |
| <b>4. Aporcador</b>  |                   |                                            |         |      | <b>S/ 71.50</b>  |
| 4.1                  | Brazo             | Platina 1/2"x3" ASTM A36                   | 600     | mm   | S/ 12.50         |
| 4.2                  | Vertedera         | Plancha espesor 3 mm ASTM A36              | 80633.2 | mm^2 | S/ 25.00         |
| 4.3                  | Punta             | Plancha espesor 1/4" ASTM A653             | 17716.8 | mm^2 | S/ 19.00         |
| 4.4                  | Soporte aporcador | Plancha espesor 1/8" ASTM A36              | 721.688 | mm^2 | S/ 15.00         |
| <b>5. Sembradora</b> |                   |                                            |         |      | <b>S/ 362.90</b> |
|                      |                   | Perfil cuadrado 25x25x2 mm                 | 4900    | mm   | S/ 29.00         |
| 5.1                  | Estructura        | Perfil cuadrado 20x20x2 mm                 | 1600    | mm   | S/ 17.00         |
|                      |                   | Perfil angular 25x25x2 mm                  | 185     | mm   | S/ 4.00          |
| 5.2                  | Eje de la rueda   | Acero AISI 1045 3/4"                       | 540     | mm   | S/ 55.00         |
|                      |                   | Soporte rueda, platina 3/16"x1/2" ASTM A36 | 1600    | mm   | S/ 7.00          |
|                      |                   | Aro rueda, plancha espesor 3/16" ASTM A36  | 36285.4 | mm^2 | S/ 30.00         |
| 5.3                  | Rueda metálica    | Uña de rueda, platina 3/16x2 1/2" ASTM A36 | 600     | mm   | S/ 3.50          |
|                      |                   | Cubo rueda, Acero AISI 1045 1 1/4"         | 128     | mm   | S/ 5.50          |
|                      |                   | Rayo de 1/2" de diámetro                   | 2052    | mm   | S/ 9.90          |
| 5.4                  | Tolvas            | Plancha espesor 1.2 mm ASTM A653           | 453624  | mm^2 | S/ 13.50         |
|                      |                   | Surcador, plancha espesor 1/8" ASTM A 36   | 13494.8 | mm^2 | S/ 9.90          |
| 5.5                  | Surcador          | Seguro, plancha espesor 1/8" ASTM A36      | 900     | mm^2 | S/ 6.60          |
|                      |                   | Brazo, platina 3/8x1" ASTM A36             | 200     | mm   | S/ 4.50          |
|                      |                   | Pin                                        | 1       | UND  | S/ 5.00          |
|                      |                   | Seguro pin                                 | 1       | UND  | S/ 5.00          |
| 5.6                  | Dosificador       | Acero inoxidable 80 mm                     | 142     | mm   | S/ 14.90         |

|              |                       |                                             |         |      |                    |
|--------------|-----------------------|---------------------------------------------|---------|------|--------------------|
| 5.7          | Primer apoyo          | Platina 1/8''x2''<br>ASTM A36               | 185     | mm   | S/ 4.50            |
| 5.8          | Segundo apoyo         | Platina 1/8''x2''<br>ASTM A36               | 170     | mm   | S/ 4.50            |
| 5.9          | Cubierta dosificadora | Plancha espesor 1<br>mm ASTM A653           | 18948   | m^2  | S/ 80.00           |
| 5.10         | Cubierta manguera     | Plancha espesor 1<br>mm ASTM A653           | 12324.5 | mm^2 | S/ 8.50            |
| 5.12         | Suministro de semilla | Tubos o mangueras                           | 1000    | mm   | S/ 6.00            |
| 5.13         | Marcador de surcos    | Perfil angular<br>1''x1''x1/8''<br>ASTM A36 | 300     | mm   | S/ 3.50            |
| 5.14         | Sistema de tapado     | Planchas 3/16''<br>ASTM A36                 | 13942   | mm^2 | S/ 9.90            |
|              |                       | Varillas, barra de<br>diámetro de 1/2''     | 560     | mm   | S/ 4.50            |
| 4.16         | Eje dosificador       | Acero AISI 1045<br>1/2''                    | 437     | mm   | S/ 6.90            |
| 5.17         | Alambre               | 1/8'' de diámetro                           | 500     | mm   | S/ 1.80            |
| 5.18         | Acople sembrador      | Platina 1/2''x3''<br>ASTM A36               | 600     | mm   | S/ 12.50           |
| <b>TOTAL</b> |                       |                                             |         |      | <b>S/ 1,014.90</b> |

*Nota:* la tabla representa un detalle general de los costos directos de materiales contruidos.

#### **b) Costo de componentes comerciales**

Son componentes comerciales disponibles en el mercado que pueden incorporarse directamente al Multicultor sin necesidad de procesos adicionales de fabricación o adaptación. Estos componentes se detallan en la **Tabla 6.2**.

**Tabla 6.2**

*Costos directos de componentes comerciales*

| <b>Id</b>             | <b>Elementos</b>                     | <b>Cant.</b> | <b>Costo Unit.<br/>(Soles)</b> | <b>Costo Tot.<br/>(Soles)</b> |
|-----------------------|--------------------------------------|--------------|--------------------------------|-------------------------------|
| <b>1. Multicultor</b> |                                      |              |                                | <b>S/ 2,980.58</b>            |
| 1.1                   | Motor Honda 5.5 hp                   | 1            | S/ 1,100.00                    | S/ 1,100.00                   |
| 1.2                   | Embrague centrifugo                  | 1            | S/ 180.00                      | S/ 180.00                     |
| 1.3                   | Cable de acelerador y manillar       | 1            | S/ 90.00                       | S/ 90.00                      |
| 1.4                   | Polea de aluminio SPZ diámetro 105mm | 1            | S/ 15.00                       | S/ 15.00                      |
| 1.5                   | Polea de aluminio SPZ diámetro 210mm | 1            | S/ 31.00                       | S/ 31.00                      |
| 1.6                   | Correa trapezoidal SPZ 1420          | 1            | S/ 26.50                       | S/ 26.50                      |

|                 |                                           |   |           |                |
|-----------------|-------------------------------------------|---|-----------|----------------|
| 1.7             | Cadena de rodillos ANSI 40                | 1 | S/ 89.21  | S/ 89.21       |
| 1.8             | Cadena de rodillos ANSI 50                | 1 | S/ 108.00 | S/ 108.00      |
| 1.9             | Cadena de rodillos ANSI 80                | 1 | S/ 90.29  | S/ 90.29       |
| 1.10            | Piñón conductor # 40 de 13 dientes        | 1 | S/ 49.01  | S/ 49.01       |
| 1.11            | Piñón conductor # 50 de 15 dientes        | 1 | S/ 71.78  | S/ 71.78       |
| 1.12            | Piñón conductor # 80 de 11 dientes        | 1 | S/ 150.48 | S/ 150.48      |
| 1.13            | Piñón conducido # 40 de 33 dientes        | 1 | S/ 112.00 | S/ 112.00      |
| 1.14            | Piñón conducido # 50 de 45 dientes        | 1 | S/ 120.00 | S/ 120.00      |
| 1.15            | Piñón conducido # 80 de 33 dientes        | 1 | S/ 136.00 | S/ 136.00      |
| 1.16            | Chumacera de pie 3/4" diámetro            | 2 | S/ 12.00  | S/ 24.00       |
| 1.17            | Chumacera de pie 1" diámetro              | 2 | S/ 14.50  | S/ 29.00       |
| 1.18            | Chumacera de pared 1 1/4" diámetro        | 2 | S/ 27.00  | S/ 54.00       |
| 1.19            | Chumacera de pared 1 3/4" diámetro        | 2 | S/ 33.00  | S/ 66.00       |
| 1.20            | Arandela plana M10 (soporte motor)        | 4 | S/ 0.36   | S/ 1.43        |
| 1.21            | Perno M10 x 1.5 x 45 (soporte motor)      | 4 | S/ 1.46   | S/ 5.84        |
| 1.22            | Tuerca M10 (soporte motor)                | 4 | S/ 0.46   | S/ 1.84        |
| 1.23            | Perno M10 x 1.5 x 40 (chumaceras de pie)  | 8 | S/ 1.27   | S/ 10.16       |
| 1.24            | Perno M12 x 1.75 x 35 (chumacera pared)   | 8 | S/ 1.78   | S/ 14.24       |
| 1.25            | Perno M14 x 2 x 40 (chumacera de pared)   | 8 | S/ 5.95   | S/ 47.60       |
| 1.26            | Arandela plana M10 (chumaceras de pie)    | 8 | S/ 0.36   | S/ 2.88        |
| 1.27            | Arandela plana M14 (chumacera de pared)   | 8 | S/ 0.65   | S/ 5.20        |
| 1.28            | Arandela plana M12 (chumacera de pared)   | 8 | S/ 0.45   | S/ 3.60        |
| 1.29            | Tuerca M10 (chumaceras de pie)            | 8 | S/ 0.46   | S/ 3.68        |
| 1.3             | Tuerca M12 (chumacera de pared)           | 8 | S/ 1.40   | S/ 11.20       |
| 1.31            | Tuerca M14 (chumacera de pared)           | 8 | S/ 1.05   | S/ 8.40        |
| 1.32            | Perno M20 x 2.5 x 70 (porta herramientas) | 2 | S/ 13.91  | S/ 27.82       |
| 1.33            | Tuerca M20 (porta herramientas)           | 2 | S/ 3.00   | S/ 6.00        |
| 1.34            | Rueda 4.00-8 TT TS-01 diámetro 425mm      | 2 | S/ 120.00 | S/ 240.00      |
| 1.35            | Perno M12x30 (rueda)                      | 8 | S/ 1.67   | S/ 13.36       |
| 1.36            | Tuerca M12 (rueda)                        | 8 | S/ 0.66   | S/ 5.28        |
| 1.37            | Arandela plana M12 (rueda)                | 8 | S/ 0.51   | S/ 4.08        |
| 1.38            | Prisionero M8 x 12 (rueda)                | 4 | S/ 1.20   | S/ 4.80        |
| 1.39            | Perno de sujeción cubierta M8x16          | 4 | S/ 0.30   | S/ 1.20        |
| 1.40            | Tuerca de sujeción cubierta M8            | 4 | S/ 0.21   | S/ 0.84        |
| 1.41            | Chaveta cuadrada 6x6x29 mm                | 1 | S/ 1.53   | S/ 1.53        |
| 1.42            | Chaveta cuadrada 6x6x22 mm                | 1 | S/ 1.22   | S/ 1.22        |
| 1.43            | Chaveta plana 8x7x25 mm                   | 2 | S/ 2.48   | S/ 4.96        |
| 1.44            | Chaveta plana 10x8x32 mm                  | 1 | S/ 2.63   | S/ 2.63        |
| 1.45            | Chaveta plana 10x8x41 mm                  | 1 | S/ 2.82   | S/ 2.82        |
| 1.46            | Chaveta plana 14x9x51 mm                  | 1 | S/ 3.50   | S/ 3.50        |
| 1.47            | Seguro rueda mm                           | 1 | S/ 2.20   | S/ 2.20        |
| <b>2. Arado</b> |                                           |   |           | <b>S/ 4.32</b> |
| 2.1             | Perno M10x25                              | 2 | S/ 0.98   | S/ 1.96        |
| 2.2             | Tuerca M10                                | 2 | S/ 0.46   | S/ 0.92        |

|                      |                                    |    |           |                    |
|----------------------|------------------------------------|----|-----------|--------------------|
| 2.3                  | Arandela plana 10N                 | 4  | S/ 0.36   | S/ 1.44            |
| <b>3. Rastra</b>     |                                    |    |           | <b>S/ 61.20</b>    |
| 3.1                  | Tuerca M14                         | 36 | S/ 1.05   | S/ 37.80           |
| 3.2                  | Arandela plana 14M                 | 36 | S/ 0.65   | S/ 23.40           |
| <b>4. Aporcador</b>  |                                    |    |           | <b>S/ 0.00</b>     |
| 4.1                  |                                    | 0  | S/ 0.00   | S/ 0.00            |
| <b>5. Sembradora</b> |                                    |    |           | <b>S/ 418.87</b>   |
| 5.1                  | Perno M8x40 (estructura)           | 4  | S/ 1.06   | S/ 4.24            |
| 5.2                  | Tuerca M8 (estructura)             | 4  | S/ 0.21   | S/ 0.84            |
| 5.3                  | Chumacera de pie 3/4" diámetro     | 2  | S/ 15.00  | S/ 30.00           |
| 5.4                  | Arandela plana M10                 | 16 | S/ 0.36   | S/ 5.76            |
| 5.5                  | Perno chumaceras M10 x 55          | 8  | S/ 3.90   | S/ 31.20           |
| 5.6                  | Tuerca chumaceras M10              | 8  | S/ 0.46   | S/ 3.68            |
| 5.7                  | Chumacera de pie 1/2" de diámetro  | 2  | S/ 9.90   | S/ 19.80           |
| 5.8                  | Cadena de rodillos ANSI 60         | 1  | S/ 80.20  | S/ 80.20           |
| 5.9                  | Piñón conducido # 60 de 10 dientes | 1  | S/ 104.00 | S/ 104.00          |
| 5.10                 | Piñón conductor # 60 de 16 dientes | 1  | S/ 125.00 | S/ 125.00          |
| 5.11                 | Prisionero M5x10 (ruedas)          | 4  | S/ 0.60   | S/ 2.40            |
| 5.12                 | Arandela plana M8 (tolvas)         | 8  | S/ 0.30   | S/ 2.40            |
| 5.13                 | Perno M8 x 20 (tolvas)             | 8  | S/ 0.60   | S/ 4.80            |
| 5.14                 | Tuerca tolvas M8 (tolvas)          | 8  | S/ 0.21   | S/ 1.68            |
| 5.15                 | Chaveta cuadrada 5x5x32            | 1  | S/ 1.37   | S/ 1.37            |
| 5.16                 | Chaveta cuadrada 6x6x32            | 1  | S/ 1.50   | S/ 1.50            |
| <b>TOTAL</b>         |                                    |    |           | <b>S/ 3,464.97</b> |

*Nota:* la tabla representa los costos directos de los componentes comerciales.

### c) Costo de máquinas herramientas

Corresponde a los gastos generados por el uso de las máquinas herramienta empleadas durante las operaciones de fabricación, mecanizado y acabado de los diferentes componentes del Multicultor. Debido a que el proyecto no dispone de un taller propio, se considera el alquiler de un taller mecánico equipado con las máquinas necesarias para llevar a cabo los procesos de corte, torneado, fresado, taladrado, soldadura y demás operaciones requeridas para la fabricación de la máquina. Estos costos se detallan en la **Tabla 6.3**.

**Tabla 6.3***Costos directos de las maquinas herramientas*

| Id.                   | Descripción     | Cant.<br>(Hora) | Costo Unit.<br>(Soles/kg) | Costo Tot.<br>(Soles) |
|-----------------------|-----------------|-----------------|---------------------------|-----------------------|
| <b>1. Multicultor</b> |                 |                 |                           | <b>S/ 900.00</b>      |
| 1.1                   | Taller mecánico | 40              | 22.5                      | S/ 900.00             |
| <b>2. Arado</b>       |                 |                 |                           | <b>S/ 180.00</b>      |
| 2.1                   | Taller mecánico | 8               | 22.5                      | S/ 180.00             |
| <b>3. Rastra</b>      |                 |                 |                           | <b>S/ 180.00</b>      |
| 2.1                   | Taller mecánico | 8               | 22.5                      | S/ 180.00             |
| <b>4. Aporcador</b>   |                 |                 |                           | <b>S/ 180.00</b>      |
| 2.1                   | Taller mecánico | 8               | 22.5                      | S/ 180.00             |
| <b>5. Sembradora</b>  |                 |                 |                           | <b>S/ 720.00</b>      |
| 5.1                   | Taller mecánico | 32              | 22.5                      | S/ 720.00             |
| <b>TOTAL</b>          |                 |                 |                           | <b>S/ 2,160.00</b>    |

*Nota:* la tabla representa los costos directos de las maquinas herramientas.

#### **d) Costos de laborales directos**

Comprenden los gastos relacionados con el personal involucrado directamente en la fabricación y ensamblaje del Multicultor. Estos costos se detallan en la **Tabla 6.4**.

**Tabla 6.4***Costos directos de mano de obra directa*

| Id.                   | Descripción       | Horas de<br>operación | Cant. de<br>operarios | Costo<br>(Soles/Hora) | Costo Tot.<br>(Soles) |
|-----------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>1. Multicultor</b> |                   |                       |                       |                       | <b>S/ 1,040.00</b>    |
| 1.1                   | Operario mecánico | 40                    | 1                     | 16                    | S/ 640.00             |
| 1.2                   | Ayudante mecánico | 40                    | 1                     | 10                    | S/ 400.00             |
| <b>2. Arado</b>       |                   |                       |                       |                       | <b>S/ 208.00</b>      |
| 2.1                   | Operario mecánico | 8                     | 1                     | 16                    | S/ 128.00             |
| 2.2                   | Ayudante mecánico | 8                     | 1                     | 10                    | S/ 80.00              |
| <b>3. Rastra</b>      |                   |                       |                       |                       | <b>S/ 208.00</b>      |
| 3.1                   | Operario mecánico | 8                     | 1                     | 16                    | S/ 128.00             |
| 3.2                   | Ayudante mecánico | 8                     | 1                     | 10                    | S/ 80.00              |
| <b>4. Aporcador</b>   |                   |                       |                       |                       | <b>S/ 208.00</b>      |

|                      |                   |    |   |    |                    |
|----------------------|-------------------|----|---|----|--------------------|
| 4.1                  | Operario mecánico | 8  | 1 | 16 | S/ 128.00          |
| 4.2                  | Ayudante mecánico | 8  | 1 | 10 | S/ 80.00           |
| <b>5. Sembradora</b> |                   |    |   |    | <b>S/ 832.00</b>   |
| 5.1                  | Operario mecánico | 32 | 1 | 16 | S/ 512.00          |
| 5.2                  | Ayudante mecánico | 32 | 1 | 10 | S/ 320.00          |
| <b>TOTAL</b>         |                   |    |   |    | <b>S/ 2,496.00</b> |

*Nota:* la tabla representa los costos directos de mano de obra directa.

### **6.1.2 Costos indirectos**

Son gastos asociados al proceso de fabricación que no pueden asignarse directamente a un producto específico, son esenciales para la construcción del Multicultor. Entre ellos se consideran los costos asociados al diseño, planificación y supervisión.

#### **a) Costos de materiales no aprovechables**

Comprenden los gastos generados por el uso de herramientas y recursos consumidos durante la construcción del Multicultor, los cuales no pueden recuperarse ni reutilizarse posteriormente. Estos costos se detallan en la **Tabla 6.5**.

**Tabla 6.5**

*Costos indirectos de materiales no aprovechables*

| Id.                   | Descripción       | Cantidad<br>(uni/kg) | Costo Unit.<br>(Soles) | Costo Tot.<br>(Soles) |
|-----------------------|-------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|
| <b>1. Multicultor</b> |                   |                      |                        | <b>S/ 126.60</b>      |
| 1.1                   | Disco de corte    | 2                    | S/ 9.90                | S/ 19.80              |
| 1.2                   | Disco de desbaste | 2                    | S/ 15.90               | S/ 31.80              |
| 1.3                   | Electrodo         | 1                    | S/ 25.00               | S/ 25.00              |
| 1.4                   | Otros             | 2                    | S/ 25.00               | S/ 50.00              |
| <b>2. Arado</b>       |                   |                      |                        | <b>S/ 75.80</b>       |
| 2.1                   | Disco de corte    | 1                    | S/ 9.90                | S/ 9.90               |
| 2.2                   | Disco de desbaste | 1                    | S/ 15.90               | S/ 15.90              |
| 2.2                   | Electrodo         | 1                    | S/ 25.00               | S/ 25.00              |
| 2.3                   | Otros             | 1                    | S/ 25.00               | S/ 25.00              |
| <b>3. Rastra</b>      |                   |                      |                        | <b>S/ 75.80</b>       |
| 3.1                   | Disco de Corte    | 1                    | S/ 9.90                | S/ 9.90               |
| 3.2                   | Disco de desbaste | 1                    | S/ 15.90               | S/ 15.90              |
| 3.2                   | Electrodo         | 1                    | S/ 25.00               | S/ 25.00              |
| 3.3                   | Otros             | 1                    | S/ 25.00               | S/ 25.00              |

|                      |                   |   |          |                  |
|----------------------|-------------------|---|----------|------------------|
| <b>4. Aporcador</b>  |                   |   |          | <b>S/ 75.80</b>  |
| 4.1                  | Disco de Corte    | 1 | S/ 9.90  | S/ 9.90          |
| 4.2                  | Disco de desbaste | 1 | S/ 15.90 | S/ 15.90         |
| 4.2                  | Electrodo         | 1 | S/ 25.00 | S/ 25.00         |
| 4.3                  | Otros             | 1 | S/ 25.00 | S/ 25.00         |
| <b>5. Sembradora</b> |                   |   |          | <b>S/ 125.80</b> |
| 5.1                  | Disco de Corte    | 1 | S/ 9.90  | S/ 9.90          |
| 5.2                  | Disco de desbaste | 1 | S/ 15.90 | S/ 15.90         |
| 5.3                  | Electrodo         | 2 | S/ 25.00 | S/ 50.00         |
| 5.4                  | Otros             | 2 | S/ 25.00 | S/ 50.00         |
| <b>TOTAL</b>         |                   |   |          | <b>S/ 479.80</b> |

*Nota:* la tabla representa los costos indirectos de materiales no aprovechables.

#### **b) Costos de laborales indirectos**

Corresponden a los gastos asociados al personal que participa en actividades de investigación, diseño de planos, supervisión, planificación y control de fabricación. Estos costos se detallan en la **Tabla 6.6**.

**Tabla 6.6**

*Costos indirectos de mano de obra indirecta*

| <b>Id.</b>            | <b>Descripción</b>  | <b>Dur.<br/>(Horas)</b> | <b>Costo Unit.<br/>(Soles/Hora)</b> | <b>Costo Tot.<br/>(Soles)</b> |
|-----------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| <b>1. Multicultor</b> |                     |                         |                                     | <b>S/ 1,440.00</b>            |
| 1.1                   | Diseño              | 180                     | 6                                   | S/ 1,080.00                   |
| 1.2                   | Planos y simulación | 60                      | 6                                   | S/ 360.00                     |
| <b>2. Arado</b>       |                     |                         |                                     | <b>S/ 720.00</b>              |
| 2.1                   | Diseño              | 90                      | 6                                   | S/ 540.00                     |
| 2.2                   | Planos y simulación | 30                      | 6                                   | S/ 180.00                     |
| <b>3. Rastra</b>      |                     |                         |                                     | <b>S/ 720.00</b>              |
| 3.1                   | Diseño              | 90                      | 6                                   | S/ 540.00                     |
| 3.2                   | Planos y simulación | 30                      | 6                                   | S/ 180.00                     |
| <b>4. Aporcador</b>   |                     |                         |                                     | <b>S/ 480.00</b>              |
| 4.1                   | Diseño              | 50                      | 6                                   | S/ 300.00                     |
| 4.2                   | Planos y simulación | 30                      | 6                                   | S/ 180.00                     |
| <b>5. Sembradora</b>  |                     |                         |                                     | <b>S/ 960.00</b>              |
| 5.1                   | Diseño              | 100                     | 6                                   | S/ 600.00                     |
| 5.2                   | Planos y simulación | 60                      | 6                                   | S/ 360.00                     |
| <b>TOTAL</b>          |                     |                         |                                     | <b>S/ 4,320.00</b>            |

*Nota:* la tabla representa los costos indirectos de mano de obra indirecta.

## 6.2 Costo total del Multicultor

El costo total del Multicultor se obtiene mediante la suma de los costos directos e indirectos. Además, se considera un 10 % adicional por concepto de imprevistos, con la finalidad de cubrir posibles variaciones en los precios de los materiales, componentes, procesos de fabricación o cualquier gasto, se presenta el costo para cada uno de los implementos diseñados para el Multicultor, así como el precio total del conjunto en la **Tabla 6.7**.

**Tabla 6.7**

*Costo total de la maquina Multicultor*

| Costos                | Descripción                           | Implementos         |                    |                    |                    |                    |
|-----------------------|---------------------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                       |                                       | Multicultor         | Arado              | Rastra             | Aporcador          | Sembradora         |
| Costos Directos       | Costo de materiales                   | S/ 405.00           | S/ 89.50           | S/ 86.00           | S/ 71.50           | S/ 362.90          |
|                       | Costo de componentes comerciales      | S/ 2,980.58         | S/ 4.32            | S/ 61.20           | S/ 0.00            | S/ 418.87          |
|                       | Costo de máquinas herramientas        | S/ 900.00           | S/ 180.00          | S/ 180.00          | S/ 180.00          | S/ 720.00          |
|                       | Costos de labores directos            | S/ 1,040.00         | S/ 208.00          | S/ 208.00          | S/ 208.00          | S/ 832.00          |
|                       | Costos de materiales no aprovechables | S/ 126.60           | S/ 75.80           | S/ 75.80           | S/ 75.80           | S/ 125.80          |
| Costos Indirectos     | Costos de labores indirectos          | S/ 1,440.00         | S/ 720.00          | S/ 720.00          | S/ 480.00          | S/ 960.00          |
| <b>SUB TOTAL</b>      |                                       | <b>S/ 6,892.18</b>  | <b>S/ 1,277.62</b> | <b>S/ 1,331.00</b> | <b>S/ 1,015.30</b> | <b>S/ 3,419.57</b> |
| Imprevistos 10%       |                                       | S/ 689.22           | S/ 127.76          | S/ 133.10          | S/ 101.53          | S/ 341.96          |
| <b>TOTAL (UNIDAD)</b> |                                       | <b>S/ 7,581.39</b>  | <b>S/ 1,405.38</b> | <b>S/ 1,464.10</b> | <b>S/ 1,116.83</b> | <b>S/ 3,761.53</b> |
| <b>TOTAL</b>          |                                       | <b>S/ 15,329.23</b> |                    |                    |                    |                    |

*Nota:* la tabla representa el costo total de la maquina Multicultor.

## 6.3 Estudio de rentabilidad

Para el estudio de rentabilidad de la maquina Multicultor se utiliza los indicadores financieros del VAN y TIR. Previamente, es necesario obtener el flujo neto de caja del proyecto.

### 6.3.1 Análisis de Flujo de caja

Se considera los ingresos generados por el ahorro en mano de obra y los egresos correspondientes a la inversión inicial y los costos de mantenimiento del Multicultor. Este indicador permite determinar la rentabilidad económica del Multicultor y sirve como base para determinar el VAN y la TIR.

#### 6.3.1.1 Tiempos de operación

El análisis de los tiempos de operación permite estimar la duración de las diferentes labores agrícolas. Su determinación se realiza mediante la siguiente ecuación.

$$t_o = \frac{A}{a \times v} \quad \text{Ec. (6.1)}$$

Donde:  $t_o$ ; tiempo de operación (horas), A; área del terreno ( $m^2$ ), a; ancho del implemento (m), v; velocidad de operación ( $\frac{km}{h}$ ).

En la **Tabla 6.8** se presenta el cálculo de los tiempos de operación requeridos para la ejecución de las diferentes labores agrícolas para 1 hectárea de terreno, tanto el método manual y tradicional como el Multicultor, empleando la Ec. (6.1).

**Tabla 6.8**

*Tiempos de operación*

| Método                                                  | Imp.    | Terreno ( $m^2$ ) | Velocidad ( $\frac{km}{h}$ ) | Ancho del implemento (Metros) | Tiempo (Horas) | E (%) | Tiempo real (Horas) |
|---------------------------------------------------------|---------|-------------------|------------------------------|-------------------------------|----------------|-------|---------------------|
| Manual o tradicional                                    | Arado   | 10000             | 2                            | 0.3                           | 16.667         | 0.8   | 20.83               |
|                                                         | Rastra  | 10000             | 2                            | 0.8                           | 6.25           | 0.8   | 7.81                |
|                                                         | Siembra | 10000             | 2                            | 0.8                           | 6.25           | 0.8   | 7.81                |
|                                                         | 1       | 10000             | 2                            | 0.8                           | 6.25           | 0.8   | 7.81                |
|                                                         | aporque | 10000             | 2                            | 0.8                           | 6.25           | 0.8   | 7.81                |
|                                                         | 2       | 10000             | 2                            | 0.8                           | 6.25           | 0.8   | 7.81                |
| Tiempo total de la siembra manual o tradicional (Horas) |         |                   |                              |                               |                |       | <b>52.08</b>        |
| Multicultor                                             | Arado   | 10000             | 4.5                          | 0.3                           | 7.407          | 0.8   | 9.26                |
|                                                         | Rastra  | 10000             | 4.5                          | 0.8                           | 2.778          | 0.8   | 3.47                |

|                                                       |       |     |     |       |     |              |
|-------------------------------------------------------|-------|-----|-----|-------|-----|--------------|
| Siembra                                               | 10000 | 4.5 | 0.8 | 2.778 | 0.8 | 3.47         |
| 1                                                     | 10000 | 4.5 | 0.8 | 2.778 | 0.8 | 3.47         |
| aporque                                               | 10000 | 4.5 | 0.8 | 2.778 | 0.8 | 3.47         |
| 2                                                     | 10000 | 4.5 | 0.8 | 2.778 | 0.8 | 3.47         |
| aporque                                               |       |     |     |       |     |              |
| Tiempo total de la siembra con el Multicultor (Horas) |       |     |     |       |     | <b>23.15</b> |

*Nota:* la tabla representa tiempos de operación tanto manual y del Multicultor.

### 6.3.1.2 Costos de operación

Para cada alternativa se determinó el costo de operación por una hectárea de terreno considerando el tiempo de trabajo y la cantidad de mano de obra requerida para las labores de arado, rastrado, siembra y aporque del cultivo de maíz blanco gigante. Estos costos se presentan en la **Tabla 6.9** y **Tabla 6.10**.

**Tabla 6.9**

*Costo de operación de laboreo manual y tradicional*

| Descripción             | Unid. de Medida | Cant. | Costo Unit. (Soles/Día) | Costo Tot. (Soles) |
|-------------------------|-----------------|-------|-------------------------|--------------------|
| <b>Arado</b>            |                 |       |                         | <b>S/ 480.00</b>   |
| Toros con arado         | Jornal          | 3     | S/ 150.00               | S/ 450.00          |
| Alimentación            | Jornal          | 3     | S/ 10.00                | S/ 30.00           |
| <b>Rastrado</b>         |                 |       |                         | <b>S/ 480.00</b>   |
| Peón                    | Jornal          | 6     | S/ 70.00                | S/ 420.00          |
| Alimentación            | Jornal          | 6     | S/ 10.00                | S/ 60.00           |
| <b>Siembra</b>          |                 |       |                         | <b>S/ 480.00</b>   |
| Toros con arado         | Jornal          | 2     | S/ 150.00               | S/ 300.00          |
| Peón (siembra semillas) | Jornal          | 1     | S/ 70.00                | S/ 70.00           |
| Peón (abonador)         | Jornal          | 1     | S/ 70.00                | S/ 70.00           |
| Alimentación            | Jornal          | 4     | S/ 10.00                | S/ 40.00           |
| <b>Aporque</b>          |                 |       |                         | <b>S/ 1,120.00</b> |
| <b>Primer aporque</b>   |                 |       |                         | <b>S/ 640.00</b>   |
| Peón                    | Jornal          | 8     | S/ 70.00                | S/ 560.00          |
| Alimentación            | Jornal          | 8     | S/ 10.00                | S/ 80.00           |
| <b>Segundo aporque</b>  |                 |       |                         | <b>S/ 480.00</b>   |
| Peón                    | Jornal          | 6     | S/ 70.00                | S/ 420.00          |
| Alimentación            | Jornal          | 6     | S/ 10.00                | S/ 60.00           |
| <b>TOTAL</b>            |                 |       |                         | <b>S/ 2,560.00</b> |

*Nota:* la tabla representa los costos de operación de laboreo manual.

**Tabla 6.10***Costos de operación de laboreo con Multicultor*

| Descripción     | Unid. de Medida | Cant. | Costo Unit. (Soles) | Costo Tot. (Soles) |
|-----------------|-----------------|-------|---------------------|--------------------|
| <b>Arado</b>    |                 |       |                     | <b>S/ 416.67</b>   |
| Multicultor     | Hora            | 9.26  | S/ 45.00            | S/ 416.67          |
| <b>Rastrado</b> |                 |       |                     | <b>S/ 156.25</b>   |
| Multicultor     | Hora            | 3.47  | S/ 45.00            | S/ 156.25          |
| <b>Siembra</b>  |                 |       |                     | <b>S/ 190.97</b>   |
| Multicultor     | Hora            | 3.47  | S/ 55.00            | S/ 190.97          |
| <b>Aporque</b>  |                 |       |                     | <b>S/ 312.50</b>   |
| Primer aporque  |                 |       |                     | S/ 156.25          |
| Multicultor     | Hora            | 3.47  | S/ 45.00            | S/ 156.25          |
| Segundo aporque |                 |       |                     | S/ 156.25          |
| Multicultor     | Hora            | 3.47  | S/ 45.00            | S/ 156.25          |
| <b>TOTAL</b>    |                 |       |                     | <b>S/ 1,076.39</b> |

*Nota:* la tabla representa costos de operación de laboreo con Multicultor.

### 6.3.1.3 Costos de funcionamiento

En la **Tabla 6.11** y **Tabla 6.12**, se describen los costos para cada tipo de laboreo, considerando que el trabajo manual requiere herramientas manuales, mientras que el Multicultor requiere principalmente combustible y aceite para su operación.

**Tabla 6.11***Costo de funcionamiento de laboreo manual y tradicional*

| Descripción     | Cantidad | Costo Unitario (Soles) | Costo Total (Soles) |
|-----------------|----------|------------------------|---------------------|
| <b>Arado</b>    |          |                        | <b>S/ 0.00</b>      |
| Yugo arador     | 0        | S/ 150.00              | S/ 0.00             |
| <b>Rastrado</b> |          |                        | <b>S/ 99.00</b>     |
| Rastrillos      | 3        | S/ 15.00               | S/ 45.00            |
| Picos           | 3        | S/ 18.00               | S/ 54.00            |
| <b>Siembra</b>  |          |                        | <b>S/ 0.00</b>      |
| Yugo surcador   | 0        | S/ 0.00                | S/ 0.00             |
| <b>Aporque</b>  |          |                        | <b>S/ 160.00</b>    |
| Azadas          | 8        | S/ 20.00               | S/ 160.00           |
| <b>TOTAL</b>    |          |                        | <b>S/ 259.00</b>    |

*Nota:* la tabla representa los costos de funcionamiento de laboreo manual.

**Tabla 6.12***Costo de funcionamiento de laboreo con Multicultor*

| Descripción        | Consumo<br>(Galón/Hora) | Costo por<br>galón<br>(Soles) | Costo de<br>labor (Horas) | Costo Total<br>(Soles) |
|--------------------|-------------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------------|
| <b>Arado</b>       |                         |                               |                           | <b>S/ 75.16</b>        |
| Combustible diésel | 0.31                    | 13.99                         | 9.26                      | S/ 40.16               |
| Aceite             | 1                       | 1.75                          | 20.00                     | S/ 35.00               |
| <b>Rastrado</b>    |                         |                               |                           | <b>S/ 15.06</b>        |
| Combustible diésel | 0.31                    | 13.99                         | 3.47                      | S/ 15.06               |
| <b>Siembra</b>     |                         |                               |                           | <b>S/ 15.06</b>        |
| Combustible diésel | 0.31                    | 13.99                         | 3.47                      | S/ 15.06               |
| <b>1° Aporque</b>  |                         |                               |                           | <b>S/ 15.06</b>        |
| Combustible diésel | 0.31                    | 13.99                         | 3.47                      | S/ 15.06               |
| <b>2° Aporque</b>  |                         |                               |                           | <b>S/ 15.06</b>        |
| Combustible diésel | 0.31                    | 13.99                         | 3.47                      | S/ 15.06               |
| <b>TOTAL</b>       |                         |                               |                           | <b>S/ 135.39</b>       |

*Nota:* la tabla representa los costos de funcionamiento de laboreo con Multicultor.

En la **Tabla 6.13** se presenta la suma de los costos de operación y funcionamiento lo que permite obtener el costo total por hectárea. A partir de este valor, se estimó el costo para las 14 hectáreas de cultivo que tiene la comunidad de Urco, determinando el ahorro económico generado por el uso del Multicultor en cada campaña agrícola del cultivo de maíz blanco gigante.

**Tabla 6.13***Comparación de procesos de la siembra tradicional y Multicultor*

| Procesos de la siembra     | Costo de operación                                                            | Costo Total 1 Ha (Soles) | Costo Total 14 Ha (Soles) |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Siembra método tradicional | Costo de contratar laboreo manual + Costo de funcionamiento de laboreo manual | S/ 2,819.00              | S/ 39,466.00              |
| Siembra con Multicultor    | Costo de contratar con Multicultor + Costo de funcionamiento del Multicultor  | S/ 1,211.78              | S/ 16,964.92              |
| <b>Ahorro por campaña</b>  |                                                                               | <b>S/ 1,607.22</b>       | <b>S/ 22,501.08</b>       |

*Nota:* la tabla representa la comparación de procesos de la siembra tradicional y Multicultor.

Con base en el ahorro económico obtenido en cada campaña agrícola, se determinó el flujo de caja neto generado por la implementación del Multicultor en el cultivo de maíz blanco gigante. Los resultados se presentan en la **Tabla 6.14**.

**Tabla 6.14**

*Flujo de caja neto de tres campañas de siembra de maíz blanco gigante*

| Estado económico             | Campañas (14 Hectáreas de terreno) |                     |                     |                     |
|------------------------------|------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                              | 0                                  | 1                   | 2                   | 3                   |
| Ingreso (Ahorro por campaña) | S/ 0.00                            | S/ 22,501.08        | S/ 22,501.08        | S/ 22,501.08        |
| Egresos                      | S/ 15,329.23                       | S/ 3,000.00         | S/ 3,000.00         | S/ 3,000.00         |
| Inversión                    | S/ 15,329.23                       | S/ 0.00             | S/ 0.00             | S/ 0.00             |
| Mantenimiento                | S/ 0.00                            | S/ 3,000.00         | S/ 3,000.00         | S/ 3,000.00         |
| <b>Flujo de caja neto</b>    | <b>-S/ 15,329.23</b>               | <b>S/ 19,501.08</b> | <b>S/ 19,501.08</b> | <b>S/ 19,501.08</b> |

*Nota:* la tabla representa el flujo de caja neto de tres campañas de siembra.

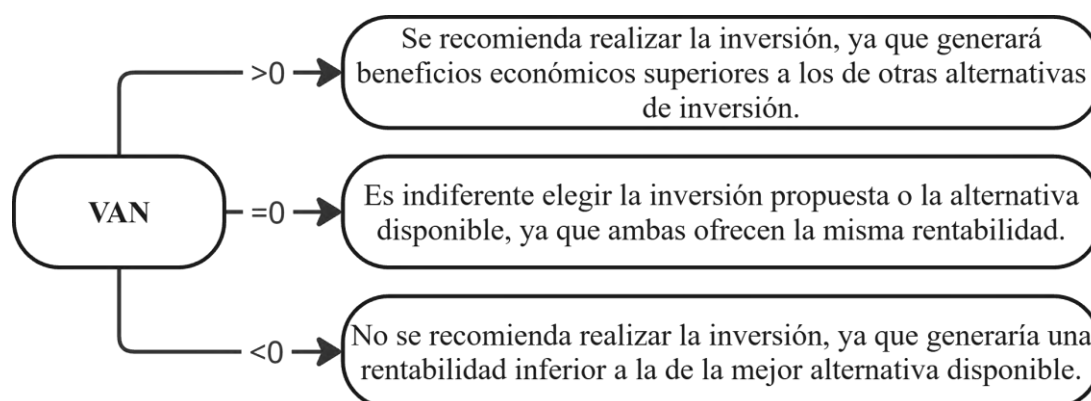
En la **Tabla 6.14** se presenta el flujo de caja neto para 14 hectáreas de cultivo de maíz blanco gigante para la comunidad de Urco. En la campaña 0 se registra la inversión inicial requerida para la fabricación de la máquina, mientras que en las campañas 1, 2 y 3 los ingresos corresponden al ahorro económico generado por la reducción de los costos de laboreo. Asimismo, se consideran los egresos asociados al mantenimiento anual del Multicultor. La diferencia entre los ingresos y los egresos permite obtener el flujo de caja neto de cada campaña, el cual constituye la base para la evaluación de la viabilidad económica del proyecto.

### 6.3.2 Valor actual neto (VAN)

Permite evaluar la viabilidad económica de una inversión mediante la actualización de los flujos de caja proyectados. Se determina con la siguiente ecuación.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} \quad \text{Ec. (6.2)}$$

Donde;  $I_0$ : inversión realiza en el momento inicial,  $F_t$ : flujo de caja en cada periodo,  $n$ : cantidad de periodos,  $k$ : tasa de descuento financiero, 15% para mediana empresa según SBS.

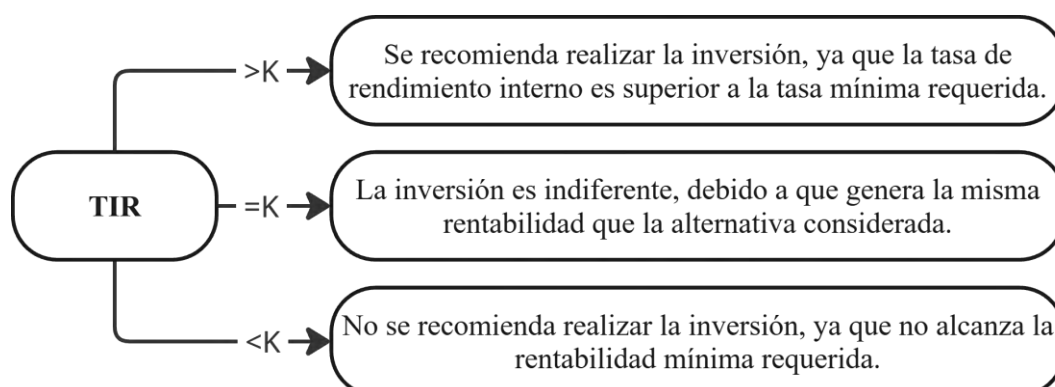
**Figura 6.1***Criterio de selección según el VAN*

*Nota:* la imagen representa criterio de selección del VAN. Tomado de (*Economipedia*, 2026)

### 6.3.2.1 Tasa interna de retorno (TIR)

La (TIR) es la tasa de descuento que hace que el (VAN) sea igual a cero, equilibrando los ingresos y egresos del proyecto. Su cálculo se realiza a partir de los flujos de caja proyectados y se determina mediante la siguiente ecuación.

$$VAN = 0 = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} \quad \text{Ec. (6.3)}$$

**Figura 6.2***Criterio de selección según TIR*

*Nota:* la imagen representa criterio de selección según TIR, tomado de (*Economipedia*, 2026).

### 6.3.2.2 Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI)

Es un indicador que estima el tiempo requerido para recuperar la inversión inicial a valor presente, expresado en años, meses o días, mediante la ecuación siguiente.

$$PRI = \frac{I_0}{F_t} \quad \text{Ec. (6.4)}$$

Donde:  $I_0$ : Inversión inicial o desembolso original en el periodo  $F_t$ : Flujo de caja neto generado de manera constante por periodo.

En la **Tabla 6.15** se determina el tiempo total requerido para cada actividad, expresado en horas y días de trabajo, considerando el rendimiento del Multicultor. También, se establecieron las fechas recomendadas para la ejecución de cada labor de acuerdo con el calendario agrícola del maíz blanco gigante en la comunidad de Urco.

**Tabla 6.15**

*Fechas recomendadas de labores agrícolas*

| Actividad  | Tiempo total (Horas) | Tiempo total (días) | Fecha recomendada  |
|------------|----------------------|---------------------|--------------------|
| Arado      | 129.63               | 16.20               | Julio – Agosto     |
| Rastrado   | 48.61                | 6.08                | Agosto             |
| Siembra    | 48.61                | 6.08                | Agosto – Setiembre |
| 1° Aporque | 48.61                | 6.08                | Noviembre          |
| 2° Aporque | 48.61                | 6.08                | Diciembre – Enero  |

*Nota:* la tabla representa los tiempos y fechas recomendadas de labores agrícolas.

Entonces, la inversión del Multicultor es de 15329.23 soles y el flujo de caja neto para 14 hectáreas es de 19501.08 soles por campaña de cultivo de maíz blanco gigante, sustituyendo los valores en la Ec. (6.2), Ec. (6.3) y Ec. (6.4) el VAN, TIR y PRI, resulta:

Para 1 campaña de cultivo de maíz blanco gigante:

$$VAN = -15329.23 + \frac{19501.08}{(1 + 0.15)^1} = 1628.23 \text{ Soles}$$

$$0 = -15329.23 + \frac{19501.08}{(1 + TIR)^1}$$

$$TIR = 27\%$$

Para 2 campaña de cultivo de maíz blanco gigante:

$$VAN = -15329.23 + \frac{19501.08}{(1 + 0.15)^1} + \frac{19501.08}{(1 + 0.15)^2} = 16373.84 \text{ Soles}$$

$$0 = -15329.23 + \frac{19501.08}{(1 + TIR)^1} + \frac{19501.08}{(1 + TIR)^2}$$

$$TIR = 93\%$$

$$PRI = \frac{15329.23}{19501.08} = 0.786$$

Considerando 1 campaña de 41 días para realizar las actividades agrícolas entre ellas el arado, rastrado, siembra y aporcado en la comunidad de Urco, resulta:

$$\text{Tiempo de recuperación} = 0.786 \times 41 = 32.2 \text{ días}$$

Por lo tanto, la evaluación económica del diseño del Multicultor arroja un valor actual neto (VAN) positivo de S/ 1628.23 en un periodo de una campaña, una tasa interna de retorno (TIR) del 27% > k = 15% y el tiempo de recuperación de la inversión (PRI) en 32.2 días, valores que superan los criterios mínimos de aceptación financiera. Entonces, el proyecto resulta económicamente viable y rentable.

## CONCLUSIONES

- El diseño del Multicultor propuesto representa una oportunidad de gran impacto para mejorar las condiciones de trabajo de los productores de la comunidad de Urco, optimizando las labores de arado, rastra, siembra y aporcado en sus parcelas. A través de este proyecto, se resuelve de manera eficiente la falta de mano de obra disponible y mejora la salud ocupacional al prevenir lesiones en los trabajadores, el diseño garantiza un tránsito preciso que evita el maltrato a las plantas de maíz blanco gigante, haciendo la actividad más rentable. Asimismo, la validación mediante el software ANSYS permitió comprobar la resistencia estructural y el correcto comportamiento mecánico de los componentes diseñados, demostrando numéricamente la viabilidad técnica para una futura fabricación de la máquina utilizando materiales y tecnología accesibles en nuestra región.
- Mediante la norma alemana VDI, se logró determinar el modelo conceptual de la máquina Multicultor, identificando y evaluando diferentes alternativas de solución de acuerdo con los requerimientos y las condiciones de trabajo del cultivo de maíz blanco gigante llegando a elegir un Multicultor a gasolina con transmisión mixta (fajas y cadenas) y ruedas neumáticas, diseñado para intercambiar herramientas de labranza arado de vertedera, rastra de púas, reja surcadora y sembradora de maíz blanco gigante con ruedas metálicas que acciona mediante piñones y cadenas, dosificadores de rodillos para semilla y abono, con una surcadora de apertura y una paleta tapadora.
- Se determinaron los principales parámetros de diseño del Multicultor para las actividades de cultivo de maíz blanco gigante en la comunidad de Urco. El análisis permitió establecer un ángulo máximo de vuelco de  $23^\circ$  del Multicultor de la sembradora  $26^\circ$ , garantizando un diseño que proporciona la estabilidad y maniobrabilidad necesarias para desenvolverse en las condiciones topográficas de la

zona. Asimismo, se seleccionó un motor de 9 hp con potencia disponible de 4.5 hp con pérdidas de altitud y por pérdidas mecánicas, un sistema de transmisión de cuatro etapas, conformado por una etapa de banda – polea y tres etapas de piñón – cadena, con relación de transmisión de primera etapa de 2:1 con velocidad angular de entrada 2500 rpm y de salida 1250 rpm y el torque de  $20.6 \text{ N} \times m$ , segunda etapa de 2.5:1 con velocidad angular de salida 500 rpm y el toque de  $51.86 \text{ N} \times m$ , tercera etapa de 3:1 con velocidad angular de salida 166.67 rpm y el toque de  $154.58 \text{ N} \times m$  y la cuarta etapa de 3:1 con velocidad angular de salida 56 rpm y el toque de  $463.74 \text{ N} \times m$ . Además, se determinaron las dimensiones y geometrías adecuadas de los implementos de trabajo para realizar operaciones de arado, rastrado, siembra y aporcado de manera efectiva.

- Se seleccionaron adecuadamente los elementos mecánicos del Multicultor. Seleccionando una faja de tipo SPZ con poleas de 105 mm y 210 mm de diámetros en la primera etapa de transmisión. Las cadenas seleccionadas son ANSI N° 40 con numero de dientes del piñón conductor 13 y 33 del piñón conducido en la segunda etapa de transmisión, N° 50 con numero de dientes del piñón conductor 15 y 45 del piñón conducido en la tercera etapa de transmisión y N° 80 con numero de dientes del piñón conductor 11 y 33 del piñón conducido en la cuarta etapa de transmisión para Multicultor y para la sembradora ANSI N° 60 con numero de dientes del piñón conductor 16 y 10 del piñón conducido, los diámetros comerciales seleccionados para Multicultor son 19.05 mm para el eje superior, 25.4 mm para el eje intermedio, 31.75 mm para el eje inferior, 41.75 mm para el eje de ruedas y para la sembradora del eje 1 19.05 mm y del eje 2 12.7 mm, factores de seguridad por resistencia para los ejes son de 5.8, 5.3, 5.6 y 6.3, respectivamente y para los implementos considerando el punto más crítico en el brazo, fueron 1.54 para el arado, 3.96 para la rastra, 3.7 para el aporcador y para

la sembradora del eje 1 de 5.46 y del eje 2 de 18.83. Estos valores validan analíticamente que todos los componentes comerciales y fabricados resistirán las cargas críticas del terreno de Urco sin riesgo de falla mecánica.

- Se realizó el modelado del Multicultor mediante el software ANSYS 2021R2, se efectuó el análisis por elementos finitos en los ejes, determinando el esfuerzo equivalente de Von Mises y el factor de seguridad, los cuales fueron comparados con los resultados obtenidos de manera analítica resultando en el eje superior (57.64 MPa y 57.269 MPa) y (5.8 y 5.9369), eje intermedia (55.35 MPa y 55.673 MPa) y (5.3 y 6.1071), eje inferior (60.45 MPa y 60.261 MPa) y (5.6 y 5.6421), eje de ruedas (54.81 MPa y 54.464 MPa) y (6.3 y 6.2427) respectivamente, evidenciando una adecuada correlación entre ambos métodos, la deformación del eje superior 0.041 mm, del eje intermedia 0.023 mm, del eje inferior 0.017 mm y del eje de ruedas 0.044 mm, en la estructura del Multicultor el esfuerzo de Von Mises es de 150.61 MPa, una deformación máxima de 4.85 mm y un factor de seguridad de 1.6599. De igual manera, se aplicó el análisis por elementos discretos en los implementos, evaluando los esfuerzos normales y tangenciales generados durante la interacción con el suelo en 5 segundos, resultando para el arado de 142.737 MPa y 41.7973 MPa, el factor de seguridad de 1.562. Para la rastra 78.0945 MPa y 22.6414 MPa, el factor de seguridad de 2.861. Para el aporcador 45.1558 MPa y 10.7709 MPa, el factor de seguridad de 5.117, demostraron que los coeficientes de seguridad se encuentran dentro de los rangos admisibles y que los esfuerzos máximos no superan el límite de fluencia de los materiales seleccionados, validando la resistencia, rigidez estructural y estabilidad del diseño propuesto. Finalmente, en la sembradora se analizó el funcionamiento de los dosificadores, verificando la correcta distribución y flujo de semillas y los fertilizantes durante la operación.

- El análisis financiero demostró la viabilidad económica y la rentabilidad del Multicultor diseñado como alternativa tecnológica para la comunidad de Urco, obteniéndose un costo total de S/ 15329.2 y los indicadores económicos obtenidos para un periodo de evaluación de una campaña agrícola resultaron un VAN de S/ 1628.23, TIR de 27% y (PRI) en 32.2 días, por lo que la inversión inicial se recupera antes de completar el tiempo total de trabajo, estimado en 41 días. El análisis de costos demuestra que la máquina presenta un valor accesible en comparación con equipos similares del mercado, los indicadores financieros confirman la viabilidad económica del Multicultor como una alternativa tecnificada y rentable para las labores agrícolas del maíz blanco gigante en la comunidad de Urco.

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda construir el Multicultor para comprobar experimentalmente el desempeño y de los implementos (arado, rastra, sembradora y aporcador) en condiciones reales de trabajo.
- Se recomienda adaptar el diseño a diferentes tipos de suelos y cultivos para ampliar su viabilidad en otras zonas agrícolas.
- Se recomienda incorporar nuevos implementos agrícolas, para ampliar la versatilidad del Multicultor y aumentar su utilidad.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aceros Arequipa S.A. (2020). *Página Oficial Aceros Arequipa | Acero líder en calidad y seguridad*. <https://acerosarequipa.com/pe/es/>
- Alva Davila, F. (2008). *DISEÑO DE ELEMENTOS DE MAQUINAS I*.
- Barriga Gamarra, B. (2018). *PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA «MÉTODOS DE DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA»*.
- Budynas, R. G., & Nisbett, Keith J. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley 8 edición*.
- Chavetas DIN. (2024). *Chavetas din | PDF*. <https://es.slideshare.net/slideshow/chavetas-din/42696960#1>
- DISUMTEC. (2025). *Correa trapezoidal SPZ | Comprar online al mejor precio*. <https://www.disumtec.com/es/correas-y-poleas/3800000378-correa-trapezoidal-spz.html>
- Economipedia. (2026). <https://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html>
- Faires, V. M. (1998). *DISEÑO DE ELEMENTOS DE MAQUINAS*.
- GM, M. (2025). *Barras de acero inoxidable ASTM A276: 304 y 316 - Grupo Marcela*. <https://grupomarcela.com.pe/productos/acero-inoxidable/barras-de-acero-inoxidable/>
- Gonzalez Jaramillo, Victor H. (1986). *ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE IMPLEMENTOS DE LABRANZA ACOPLADOS A UN MOTOCULTOR"*.
- GPS. (2025). *Coordenadas Geograficas, GPS*. <https://www.coordenadas-gps.com/>
- Honda. (2025). *Ficha-tecnica-9HP-GX270H2*. <https://pf.honda.com.pe/producto/gx270-9hp/>
- Honda manual. (2025). *OWNER'S MANUAL MANUEL DE L'UTILISATEUR MANUAL DEL PROPIETARIO GX240 · GX270 · GX340 · GX390*. <https://cdn.powerequipment.honda.com/engines/pdf/manuals/00X37Z5F6111.pdf>
- Hori A, J. (2009). *DISEÑO DE ELEMENTOS DE MAQUINAS 5 Edición*.
- INDECOPI. (2005). *Resolución N° 012981-2005-OSD-INDECOPI Maíz Blanco Gigante Cusco*.
- INIA. (2013). *MINISTERIO DE AGRICULTURA INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA Manual Técnico MAÍZ BLANCO URUBAMBA (Blanco Gigante Cusco)*.
- INTERMEC S.A. (2013a). *TRANSMISIÓN DE POTENCIA PIÑONES Y CADENAS Sexta edición*.

- INTERMEC S.A. (2013b). *TRANSMISIÓN DE POTENCIA POLEAS EN «V»*.
- Laguna Blanca, A. (1996). *MAQUINARIA AGRÍCOLA constitución, funcionamiento, regulaciones y cuidados*.
- Maroni, J. R., & Madera, R. (1989). *Manual práctico de máquinas para la labranza*.
- MITAS. (2016). *Neumáticos Agrícolas Guía técnica*. [www.mitas-tyres.com](http://www.mitas-tyres.com)
- Mora Bagua, C. J., & Copa Mullo, E. (2017). *ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ARADO DE DISCOS PARA SER ACOPLADO AL MOTOCULTOR YTO DF-15L PARA LA ZONA DE ECUADOR.»*
- Mott, R. L. (2004). *Diseño de elementos de máquinas 4 edición*. Pearson/Prentice Hall.
- NTP 259. (1987). *NTP 259: Tractor agrícola: prevención del vuelco*.
- OCEANO/CENTRUM. (1999). *Enciclopedia práctica de la agricultura y la ganadería*. [https://archive.org/details/enciclopediapr0000unse\\_h5p2](https://archive.org/details/enciclopediapr0000unse_h5p2)
- Ortiz Berrocal, L. (1998). *Elasticidad*.
- Ortiz Cañavate, J. (2003). *Las máquinas agrícolas y su aplicación*.
- Polanco Puertas, M. F. (2007). *MAQUINARIA Y MECANIZACIÓN AGRÍCOLA*.
- Rovira, Antonio. (2015). *Motores de combustión interna*. UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Rubio Valle, A. E. (2018). *DISEÑO Y OPTIMIZACION DE UN ARADO REVERSIBLE POR GRAVEDAD*.
- SKF. (1907). *Página de inicio del Grupo SKF | SKF*. <https://www.skf.com/pe>
- Torres Marquez, D. A. (2023). *PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA «DISEÑO MECÁNICO DE MÁQUINA SEMBRADORA DE SEMILLAS DE MAÍZ AMILÁCEO BLANCO A TRACCIÓN ANIMAL CON UNA CAPACIDAD DE 0,25 ha/h EN EL CENTRO POBLADO DE COTARMA, DISTRITO DE PICHIRHUA, PROVINCIA DE ABANCAY, APURÍMAC»*.
- Vanegas Useche, L. V. (2018). *Diseño de Elementos de Máquinas*. *Diseño de Elementos de Máquinas*. <https://doi.org/10.22517/9789587223019>

**ANEXOS**

## A. Figuras y tablas para el diseño

### Anexo A.1

*Valores medios de la resistencia específica para distintos tipos de suelos*

| Clase de suelo          | Resistencia del suelo<br>( $\frac{N}{cm^2}$ ) |
|-------------------------|-----------------------------------------------|
| Arcillo-limoso          | $\mu = 7 + 0.049 \times v^2$                  |
| Arenoso                 | $\mu = 2 + 0.013 \times v^2$                  |
| Franco-arenoso          | $\mu = 2.8 + 0.013 \times v^2$                |
| Limo arenoso            | $\mu = 3 + 0.032 \times v^2$                  |
| Franco                  | $\mu = 3 + 0.020 \times v^2$                  |
| Franco-arcilloso-limoso | $\mu = 4.8 + 0.024 \times v^2$                |
| Franco-arcilloso        | $\mu = 6 + 0.049 \times v^2$                  |

*Nota:* la tabla muestra valores de resistencia específica, obtenido de (Ortiz Cañavate, 2003).

### Anexo A.2

*La velocidad de operación y eficiencia para implementos de acuerdo al tipo de trabajo*

| Operación            | Velocidad<br>(km/h) | Eficiencia<br>% |
|----------------------|---------------------|-----------------|
| Arado                | 4 – 6,5             | 75 – 90         |
| Rastrillada          | 4,5 – 8,8           | 80 – 90         |
| Pulida               | 4,5 – 8,0           | 80 – 90         |
| Rastra de púas       | 3,5 – 5,5           | 70 – 90         |
| Surcada              | 5,5 – 8,0           | 80 – 90         |
| Packers              | 6 – 9,0             | 80 – 90         |
| Nivelación           | 5 – 7,0             | 80 – 90         |
| Sembradora de maíz   | 4 – 6,5             | 65 – 80         |
| Sembradora de chorro | 3 – 4,5             | 65 – 80         |

*Nota:* La tabla muestra la velocidad y eficiencia, obtenido de (Polanco Puertas, 2007).

### Anexo A.3

*Valores típicos del coeficiente de desgaste k*

| VALORES TÍPICOS DEL COEFICIENTE DE DESGASTE K |                    |
|-----------------------------------------------|--------------------|
| NO METAL EN METAL                             |                    |
| Limpia                                        | $5 \times 10^{-6}$ |
| Pobre                                         | $5 \times 10^{-6}$ |
| Promedio                                      | $5 \times 10^{-6}$ |
| Excelente                                     | $2 \times 10^{-6}$ |

*Nota:* la figura representa valores del coeficiente k, tomado de (Gonzalez Jaramillo, 1986).

## Anexo A.4

### Factores de servicio para transmisiones por cadena

| Tipo de carga                                                                                                               | Tipo de impulsor    |                           |                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------------|------------------------------------------------------|
|                                                                                                                             | Impulsor hidráulico | Motor eléctrico o turbina | Motor de combustión interna con transmisión mecánica |
| Uniforme (agitadores, ventiladores, transportadores con carga ligera y uniforme)                                            | 1.0                 | 1.0                       | 1.2                                                  |
| Choque moderado (máquinas herramienta, grúas, transportadores pesados, mezcladoras de alimento y molinos)                   | 1.2                 | 1.3                       | 1.4                                                  |
| Choque pesado (prensas de troquelado, molinos de martillos, transportadores alternos, accionamientos de molino de rodillos) | 1.4                 | 1.5                       | 1.7                                                  |

*Nota:* la figura representa factores de servicio por cadena, tomado de (Mott, 2004).

## Anexo A.5

### Especificaciones para las cadenas de rodillos ANSI

| ANSI N° | PASO Pulgs | CARGA DE ROTURA Lbs. | PESO PROMEDIO EN lbs/pie. | VELOCIDAD MAXIMA, PIES/MIN |       |             |
|---------|------------|----------------------|---------------------------|----------------------------|-------|-------------|
|         |            |                      |                           | TIPO DE LUBRICACION        |       |             |
|         |            |                      |                           | MANUAL                     | GOTEO | SALPICADURA |
| 25      | 1/4        | 875                  | 0.09                      | 500                        | 2 500 | 3 500       |
| 35      | 3/8        | 2 100                | 0.21                      | 370                        | 1 700 | 2 800       |
| 40      | 1/2        | 3 700                | 0.42                      | 300                        | 1 300 | 2 300       |
| 50      | 5/8        | 6 100                | 0.68                      | 250                        | 1 000 | 2 000       |
| 60      | 3/4        | 8 500                | 1.00                      | 220                        | 850   | 1 800       |
| 80      | 1          | 14 500               | 1.73                      | 170                        | 650   | 1 500       |
| 100     | 1 1/4      | 24 000               | 2.50                      | 150                        | 520   | 1 300       |
| 120     | 1 1/2      | 34 000               | 3.69                      | 130                        | 430   | 1 200       |
| 140     | 1 3/4      | 46 000               | 5.00                      | 115                        | 370   | 1 100       |
| 160     | 2          | 58 000               | 6.50                      | 100                        | 330   | 1 000       |
| 180     | 2 1/4      | 76 000               | 9.06                      | 95                         | 300   | 950         |
| 200     | 2 1/2      | 95 000               | 10.65                     | 85                         | 260   | 900         |

*Nota:* la tabla representa especificaciones ANSI, tomado de (Alva Davila, 2008).

## Anexo A.6

### Tamaño mínimo del cordón soldadura de filete h

| Espesor del material de la parte unida más gruesa, pulg | Tamaño de la soldadura, pulg |
|---------------------------------------------------------|------------------------------|
| *Hasta $\frac{1}{4}$ inclusive                          | $\frac{1}{8}$                |
| Mayor que $\frac{1}{4}$ Hasta $\frac{1}{2}$             | $\frac{3}{16}$               |
| Mayor que $\frac{1}{2}$ Hasta $\frac{3}{4}$             | $\frac{1}{4}$                |
| †Mayor que $\frac{3}{4}$ Hasta $1\frac{1}{2}$           | $\frac{5}{16}$               |
| Mayor que $1\frac{1}{2}$ Hasta $2\frac{1}{4}$           | $\frac{3}{8}$                |
| Mayor que $2\frac{1}{4}$ Hasta 6                        | $\frac{1}{2}$                |
| Mayor que 6                                             | $\frac{5}{8}$                |

*Nota:* la figura representa el tamaño mínimo del cordón soldadura, tomado de (Budynas & Nisbett, 2008).

## Anexo A.7

### *Esfuerzos permisibles por el código AISC para metal de aporte*

| Tipo de carga     | Tipo de soldadura  | Esfuerzo permisible | $n^*$     |
|-------------------|--------------------|---------------------|-----------|
| Tensión           | A tope             | $0.60S_y$           | 1.67      |
| Aplastamiento     | A tope             | $0.90S_y$           | 1.11      |
| Flexión           | A tope             | $0.60-0.66S_y$      | 1.52-1.67 |
| Compresión simple | A tope             | $0.60S_y$           | 1.67      |
| Cortante          | A tope o de filete | $0.30S_u$           |           |

*Nota:* la figura representa Esfuerzos permisibles por el código AISC para metal de aporte, tomado de (Budynas & Nisbett, 2008).

## Anexo A.8

### *Propiedades mínimas del material de aporte*

| Número de electrodo AWS* | Resistencia a la tensión, kpsi (MPa) | Resistencia a la fluencia, kpsi (MPa) | Elongación porcentual |
|--------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| E60xx                    | 62 (427)                             | 50 (345)                              | 17-25                 |
| E70xx                    | 70 (482)                             | 57 (393)                              | 22                    |
| E80xx                    | 80 (551)                             | 67 (462)                              | 19                    |
| E90xx                    | 90 (620)                             | 77 (531)                              | 14-17                 |
| E100xx                   | 100 (689)                            | 87 (600)                              | 13-16                 |
| E120xx                   | 120 (827)                            | 107 (737)                             | 14                    |

*Nota:* la tabla representa propiedades, tomado de (Budynas & Nisbett, 2008).

## Anexo A.9

### *Parámetros en el factor de la condición superficial de Marin*

| Acabado superficial          | Factor $a$     |               | Exponente $b$ |
|------------------------------|----------------|---------------|---------------|
|                              | $S_{utr}$ kpsi | $S_{utr}$ MPa |               |
| Esmerilado                   | 1.34           | 1.58          | -0.085        |
| Maquinado o laminado en frío | 2.70           | 4.51          | -0.265        |
| Laminado en caliente         | 14.4           | 57.7          | -0.718        |
| Como sale de la forja        | 39.9           | 272.          | -0.995        |

*Nota:* la figura representa parámetros, tomado de (Budynas & Nisbett, 2008).

## Anexo A.10

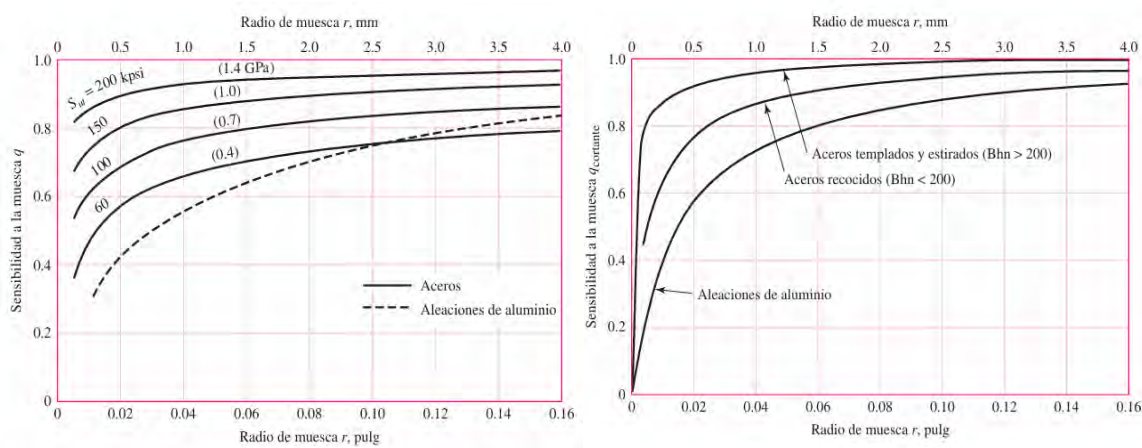
### Factores de concentración de esfuerzo

|                                                   | Flexión | Torsión | Axial |
|---------------------------------------------------|---------|---------|-------|
| Filete de hombro: agudo ( $r/d = 0.02$ )          | 2.7     | 2.2     | 3.0   |
| Filete de hombro: bien redondeado ( $r/d = 0.1$ ) | 1.7     | 1.5     | 1.9   |
| Cuñero fresado ( $r/d = 0.02$ )                   | 2.2     | 3.0     | —     |
| Cuñero de patín o trapezoidal                     | 1.7     | —       | —     |
| Ranura para anillo de retención                   | 5.0     | 3.0     | 5.0   |

*Nota:* la tabla representa factores, tomado de (Budynas G & Nisbett keith, 2008).

## Anexo A.11

### Sensibilidad a la muesca



*Nota:* la figura representa la sensibilidad a la muesca, tomado de (Budynas & Nisbett, 2008).

## Anexo A.12

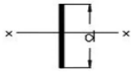
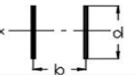
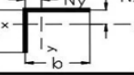
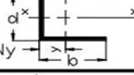
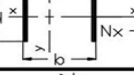
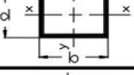
### Valores de resistencia a la rodadura RR

| Valores de resistencia a la rodadura RR |                                          |                                                    |                                                             |                                                             |
|-----------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Superficie                              | Llantas de<br>cero liso<br>[Kg]<br>[Ton] | Llantas de<br>acero con<br>orugas<br>[Kg]<br>[Ton] | Neumáticos<br>de caucho de<br>alta presión<br>[Kg]<br>[Ton] | Neumáticos de<br>caucho de baja<br>presión<br>[Kg]<br>[Ton] |
| Concreto                                | 20                                       | 27                                                 | 18                                                          | 23                                                          |
| Asfalto                                 | 25 – 35                                  | 30 – 35                                            | 20 – 33                                                     | 25 – 30                                                     |
| Tierra compactada con<br>mantenimiento  | 30 – 50                                  | 30 – 40                                            | 20 – 35                                                     | 25 – 35                                                     |
| Tierra con poco<br>mantenimiento        | 50 – 75                                  | 40 – 55                                            | 50 – 70                                                     | 35 – 50                                                     |
| Tierra, lodosa sin<br>mantenimiento     | 100 – 125                                | 70 – 90                                            | 90 – 110                                                    | 75 – 100                                                    |
| Arena suelta y grava                    | 140 – 160                                | 80 – 100                                           | 130 – 145                                                   | 110 – 130                                                   |
| Tierra muy lodosa y<br>suave            | 175 – 200                                | 100 – 120                                          | 150 – 200                                                   | 140 – 170                                                   |

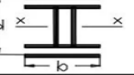
*Nota:* la figura representa resistencia a la rodadura RR, tomado de (Torres Marquez, 2023).

### Anexo A.13

#### Propiedades del cordón de soldadura tratado como línea

| SECCION                                                                             | $N_x, N_y$                                               | FLEXION<br>$Z_w$ respecto x-x                                     | TORSION<br>$J_w$                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
|    | $N_x = \frac{d}{2}$                                      | $\frac{d^2}{6}$                                                   | $\frac{d^3}{12}$                                |
|    | $N_x = \frac{d}{2}$                                      | $\frac{d^2}{3}$                                                   | $\frac{d(3b^2 + d^2)}{6}$                       |
|    | $N_x = \frac{d}{2}$                                      | $bd$                                                              | $\frac{b(3d^2 + b^2)}{6}$                       |
|    | $N_y = \frac{b^2}{2(b+d)}$<br>$N_x = \frac{d^2}{2(b+d)}$ | $\frac{4bd + d^2}{6}$ (sup.)<br>$\frac{d^2(4b+d)}{6(2b+d)}$ (inf) | $\frac{(b+d)^4 - 6b^2d^2}{12(b+d)}$             |
|    | $N_y = \frac{b^2}{2b+d}$                                 | $bd + \frac{d^2}{6}$                                              | $\frac{(2b+d)^3}{12} - \frac{b^2(b+d)^2}{2b+d}$ |
|    | $N_x = \frac{d^2}{2d+b}$                                 | $\frac{2bd + d^2}{3}$ (sup.)<br>$\frac{d^2(2b+d)}{3(b+d)}$ (inf)  | $\frac{(b+2d)^3}{12} - \frac{d^2(b+d)^2}{b+2d}$ |
|   | $N_x = \frac{d}{2}$                                      | $bd + \frac{d^2}{3}$                                              | $\frac{(b+d)^3}{6}$                             |
|  | $N_x = \frac{d^2}{b+2d}$                                 | $\frac{2bd + d^2}{3}$ (sup.)<br>$\frac{d^2(2b+d)}{3(b+d)}$ (inf)  | $\frac{(b+2d)^3}{12} - \frac{d^2(b+d)^2}{b+2d}$ |

| SECCION                                                                             | $N_x, N_y$                  | FLEXION<br>$Z_w$ respecto x-x                                      | TORSION<br>$J_w$                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
|  | $N_x = \frac{d^2}{2(b+d)}$  | $\frac{4bd + d^2}{3}$ (SUP.)<br>$\frac{4bd^2 + d^3}{6b+3d}$ (INF.) | $\frac{d^3(4b+d)}{6(b+d)} + \frac{b^3}{6}$ |
|  | $N_x = \frac{d}{2}$         | $bd + \frac{d^2}{3}$                                               | $\frac{b^3 + 3bd^2 + d^3}{6}$              |
|  | $N_x = \frac{d}{2}$         | $2bd + \frac{d^2}{3}$                                              | $\frac{2b^3 + 6bd^2 + d^3}{6}$             |
|  | $N_x = \frac{d}{2}$         | $\frac{\pi d^2}{4}$                                                | $\frac{\pi d^3}{4}$                        |
|  | $N_x = \frac{d}{2}$         | $\frac{\pi d^2}{2} + \pi D^2$                                      | $J_{wz} = \frac{\pi d^3}{2}$               |
|  | $N_x = \frac{d}{2}$         | $\frac{Ld}{6}$                                                     | $\frac{L^3}{12}$                           |
|  | $N_x = \frac{L}{2\sqrt{2}}$ | $\frac{L^2}{3\sqrt{2}}$                                            | $\frac{5L^3}{12}$                          |
|  | $N_x = \frac{L}{\sqrt{2}}$  | $\frac{2L^2}{3\sqrt{2}}$                                           | $\frac{5L^3}{12}$                          |

Nota: la figura representa Propiedades del cordón de soldadura tratado como línea, tomado de (Alva Davila, 2008).

## Anexo A.14

### Coeficientes de rodamiento de bolas

| Tipos de rodamientos                                                                           | $\frac{F_a}{F_r} \leq e$ |   | $\frac{F_a}{F_r} > e$ |   | $e$ |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---|-----------------------|---|-----|------|
|                                                                                                | X                        | Y | X                     | Y |     |      |
| Rodamientos rígidos de bolas<br>Series EL, R, 160, 60, 62, 63, 64<br>$\frac{F_a}{C_a} = 0.025$ |                          |   |                       |   | 2   | 0.22 |
| $\frac{F_a}{C_a} = 0.04$                                                                       | 1                        | 0 | 0.56                  |   | 1.8 | 0.34 |
| $\frac{F_a}{C_a} = 0.07$                                                                       |                          |   |                       |   | 1.6 | 0.27 |
| $\frac{F_a}{C_a} = 0.13$                                                                       |                          |   |                       |   | 1.4 | 0.31 |
| $\frac{F_a}{C_a} = 0.25$                                                                       |                          |   |                       |   | 1.2 | 0.27 |
| $\frac{F_a}{C_a} = 0.5$                                                                        |                          |   |                       |   | 1   | 0.44 |

*Nota:* la figura representa coeficientes de rodamiento de bolas, tomado de (Hori A, 2009).

## Anexo A.15

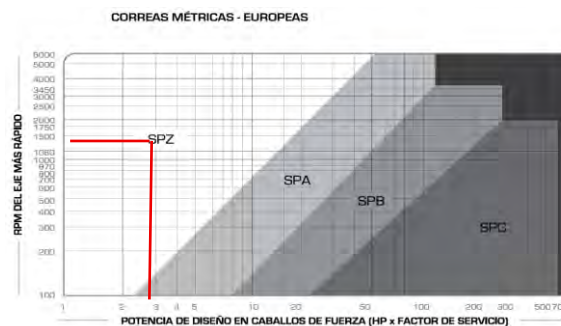
### Duración nominal requerida para los rodamientos de diferentes clases de maquinas

| Clases de máquinas                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Duración en horas de funcionamiento $L_n$ |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Instrumentos y aparatos de poco uso:<br>Aparatos de demostración dispositivos para maniobra de puertas correderas.....                                                                                                                                                                                | 500                                       |
| Máquinas para servicio corto o intermitente cuando eventuales perturbaciones en el servicio son de poca importancia:<br>Máquinas herramientas manuales, aparatos de elevación para talleres, máquinas movidas a mano en general, máquinas agrícolas, grúas de montaje, aparatos domésticos.....       | 4000-8000                                 |
| Máquinas para servicio intermitente cuando eventuales perturbaciones en el servicio son de mucha importancia:<br>Máquinas auxiliares para centrales de fuerza, equipos de transporte para fabricación continua en cadena, ascensores, grúas para carga general, máquinas herramienta de poco uso..... | 8000-12000                                |
| Máquinas para 8 horas de servicio diario, no totalmente utilizadas:<br>Motores eléctricos estacionarios, engranes para usos generales.....                                                                                                                                                            | 12000-20000                               |
| Máquinas para 8 horas de servicio diario, totalmente utilizadas:<br>Máquinas para talleres industriales en general, grúas para trabajo continuo, ventiladores, transmisiones intermedias.....                                                                                                         | 20000-30000                               |
| Máquinas para servicios continuos (24 horas diarias):<br>Separadoras centrifugas, compresores, bombas, ascensores de mina, motores eléctricos estacionarios, máquinas de servicio continuo en navios de guerra.....                                                                                   | 40000-60000                               |
| Máquinas para 24 horas diarias de servicio con gran seguridad:<br>Máquinas para la fabricación de celulosa y papel, máquinas para servicio público de fuerza motriz, bombas de mina, bombas de abastecimientos públicos de agua, máquinas de servicio continuo en buques mercantes.....               | 100000-200000                             |

*Nota:* la figura representa la duración nominal, tomado de (Hori A, 2009).

## Anexo A.16

### Tablas para seleccionar el tipo o perfil de la correa



*Nota:* la imagen representa el tipo de la correa, tomado de (INTERMEC S.A., 2013b).

## Anexo A.17

### Velocidad máxima y diámetro mínimo de la polea conductora

| MATERIAL           |        | VELOCIDAD |
|--------------------|--------|-----------|
| Fundición gris     | GG 20  | 33 m/s    |
| Fundición nodular  | GGG 40 | 41 m/s    |
| Aluminio           | A329   | 33 m/s    |
| Fundición de acero | 1020   | 45 m/s    |
| Acero laminado     | 1020   | 61 m/s    |

m/s= metros por segundo

*Nota:* la imagen representa la velocidad y diámetro, tomado de (INTERMEC S.A., 2013b).

## Anexo A.18

### Capacidad de transmisión por canal

| TABLA DE CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN POR CANAL (EN HP) |                                                      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       | CORREAS TPO<br>SPZ |
|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|--------------------|
| RPM de<br>Eje más<br>Rápido                         | Diámetro exterior de la Polea Motriz (en milímetros) |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |                    |
|                                                     | 70                                                   | 75   | 80   | 85   | 90   | 100  | 105  | 115  | 130   | 135   | 140   |                    |
| 100                                                 | 0.15                                                 | 0.18 | 0.19 | 0.22 | 0.23 | 0.29 | 0.31 | 0.36 | 0.43  | 0.45  | 0.50  |                    |
| 500                                                 | 0.62                                                 | 0.70 | 0.78 | 0.89 | 0.99 | 1.16 | 1.30 | 1.53 | 1.78  | 1.94  | 2.10  |                    |
| 750                                                 | 0.83                                                 | 0.94 | 1.05 | 1.22 | 1.37 | 1.63 | 1.80 | 2.12 | 2.49  | 2.71  | 2.94  |                    |
| 800                                                 | 0.92                                                 | 1.04 | 1.16 | 1.34 | 1.47 | 1.83 | 1.95 | 2.35 | 2.76  | 2.97  | 3.25  |                    |
| 900                                                 | 1.01                                                 | 1.13 | 1.30 | 1.45 | 1.62 | 2.02 | 2.17 | 2.57 | 3.05  | 3.30  | 3.59  |                    |
| 960                                                 | 1.06                                                 | 1.22 | 1.34 | 1.53 | 1.72 | 2.10 | 2.32 | 2.73 | 3.26  | 3.46  | 3.74  |                    |
| 1000                                                | 1.08                                                 | 1.23 | 1.43 | 1.60 | 1.78 | 2.18 | 2.41 | 2.88 | 3.38  | 3.61  | 3.90  |                    |
| 1100                                                | 1.18                                                 | 1.34 | 1.52 | 1.74 | 1.94 | 2.35 | 2.53 | 3.14 | 3.68  | 3.97  | 4.25  |                    |
| 1200                                                | 1.26                                                 | 1.47 | 1.63 | 1.85 | 2.10 | 2.56 | 2.76 | 3.30 | 3.88  | 4.25  | 4.62  |                    |
| 1300                                                | 1.34                                                 | 1.53 | 1.78 | 1.98 | 2.22 | 2.74 | 2.99 | 3.54 | 4.20  | 4.56  | 4.96  |                    |
| 1400                                                | 1.44                                                 | 1.65 | 1.83 | 2.10 | 2.39 | 2.90 | 3.14 | 3.77 | 4.53  | 4.76  | 5.29  |                    |
| 1440                                                | 1.44                                                 | 1.69 | 1.89 | 2.18 | 2.43 | 3.02 | 3.23 | 3.93 | 4.60  | 4.89  | 5.42  |                    |
| 1500                                                | 1.51                                                 | 1.76 | 1.94 | 2.27 | 2.57 | 3.12 | 3.42 | 4.00 | 4.70  | 5.06  | 5.54  |                    |
| 1550                                                | 1.53                                                 | 1.81 | 2.07 | 2.38 | 2.69 | 3.28 | 3.53 | 4.27 | 5.00  | 5.45  | 5.90  |                    |
| 1600                                                | 1.67                                                 | 1.95 | 2.20 | 2.50 | 2.79 | 3.45 | 3.73 | 4.46 | 5.29  | 5.68  | 6.12  |                    |
| 1600                                                | 1.73                                                 | 1.99 | 2.29 | 2.61 | 2.92 | 3.59 | 3.93 | 4.64 | 5.51  | 5.85  | 6.37  |                    |
| 1620                                                | 1.79                                                 | 2.11 | 2.37 | 2.74 | 3.05 | 3.72 | 4.08 | 4.91 | 5.77  | 6.21  | 6.70  |                    |
| 2000                                                | 1.87                                                 | 2.18 | 2.50 | 2.86 | 3.17 | 3.91 | 4.28 | 5.14 | 6.01  | 6.54  | 7.08  |                    |
| 2100                                                | 1.95                                                 | 2.23 | 2.57 | 2.98 | 3.35 | 4.03 | 4.43 | 5.34 | 6.35  | 6.83  | 7.20  |                    |
| 2200                                                | 2.00                                                 | 2.36 | 2.62 | 3.08 | 3.46 | 4.22 | 4.67 | 5.59 | 6.43  | 7.07  | 7.56  |                    |
| 2300                                                | 2.08                                                 | 2.42 | 2.73 | 3.20 | 3.53 | 4.44 | 4.86 | 5.87 | 6.67  | 7.19  | 7.80  |                    |
| 2400                                                | 2.13                                                 | 2.46 | 2.88 | 3.36 | 3.74 | 4.57 | 4.94 | 6.04 | 7.05  | 7.58  | 8.25  |                    |
| 2500                                                | 2.22                                                 | 2.61 | 2.97 | 3.43 | 3.84 | 4.66 | 5.05 | 6.09 | 7.26  | 7.77  | 8.23  |                    |
| 2600                                                | 2.26                                                 | 2.68 | 3.04 | 3.47 | 3.88 | 4.79 | 5.19 | 6.23 | 7.40  | 7.92  | 8.39  |                    |
| 2700                                                | 2.35                                                 | 2.76 | 3.08 | 3.58 | 4.08 | 4.95 | 5.45 | 6.45 | 7.52  | 8.19  | 8.60  |                    |
| 2800                                                | 2.39                                                 | 2.77 | 3.16 | 3.71 | 4.16 | 5.12 | 5.61 | 6.71 | 7.76  | 8.40  | 9.04  |                    |
| 2880                                                | 2.43                                                 | 2.85 | 3.25 | 3.77 | 4.23 | 5.30 | 5.78 | 6.94 | 7.88  | 8.51  | 9.28  |                    |
| 2900                                                | 2.46                                                 | 2.89 | 3.29 | 3.84 | 4.26 | 5.31 | 5.79 | 6.93 | 8.08  | 8.64  | 9.29  |                    |
| 3000                                                | 2.51                                                 | 2.99 | 3.35 | 3.84 | 4.44 | 5.44 | 5.91 | 7.08 | 8.17  | 8.83  | 9.59  |                    |
| 3100                                                | 2.59                                                 | 2.97 | 3.48 | 3.95 | 4.49 | 5.54 | 6.06 | 7.10 | 8.35  | 9.04  | 9.84  |                    |
| 3200                                                | 2.63                                                 | 3.04 | 3.54 | 4.09 | 4.59 | 5.59 | 6.15 | 7.29 | 8.50  | 9.33  | 9.97  |                    |
| 3300                                                | 2.69                                                 | 3.12 | 3.59 | 4.19 | 4.64 | 5.75 | 6.39 | 7.55 | 8.69  | 9.29  | 10.09 |                    |
| 3400                                                | 2.70                                                 | 3.15 | 3.62 | 4.28 | 4.83 | 5.87 | 6.39 | 7.56 | 9.01  | 9.60  | 10.42 |                    |
| 3500                                                | 2.76                                                 | 3.28 | 3.69 | 4.37 | 4.95 | 6.08 | 6.58 | 7.73 | 9.13  | 9.66  | 10.56 |                    |
| 3600                                                | 2.83                                                 | 3.29 | 3.79 | 4.43 | 4.96 | 6.15 | 6.67 | 7.96 | 9.30  | 9.94  | 10.61 |                    |
| 3700                                                | 2.90                                                 | 3.33 | 3.82 | 4.46 | 5.13 | 6.22 | 6.75 | 8.17 | 9.38  | 9.95  | 10.75 |                    |
| 3800                                                | 2.95                                                 | 3.47 | 3.90 | 4.51 | 5.16 | 6.33 | 6.83 | 8.18 | 9.65  | 10.37 | 11.02 |                    |
| 3900                                                | 2.93                                                 | 3.49 | 3.99 | 4.87 | 5.29 | 6.42 | 7.05 | 8.26 | 9.69  | 10.45 | 10.87 |                    |
| 4000                                                | 3.01                                                 | 3.56 | 4.13 | 4.69 | 5.38 | 6.57 | 7.16 | 8.60 | 9.93  | 10.42 | 11.22 |                    |
| 4200                                                | 3.13                                                 | 3.65 | 4.24 | 4.83 | 5.67 | 6.76 | 7.34 | 8.84 | 10.13 | 10.60 | 11.53 |                    |
| 4400                                                | 3.20                                                 | 3.79 | 4.31 | 4.96 | 5.70 | 6.96 | 7.65 | 8.97 | 10.39 | 10.93 | 11.72 |                    |
| 4500                                                | 3.20                                                 | 3.83 | 4.41 | 5.11 | 5.75 | 7.08 | 7.81 | 9.00 | 10.43 | 11.03 | 11.78 |                    |
| 4600                                                | 3.31                                                 | 3.90 | 4.50 | 5.16 | 5.87 | 7.23 | 7.97 | 9.18 | 10.66 | 11.21 | 11.93 |                    |
| 4800                                                | 3.40                                                 | 3.93 | 4.53 | 5.38 | 6.04 | 7.29 | 7.93 | 9.35 | 10.66 | 11.51 | 12.19 |                    |
| 5000                                                | 3.38                                                 | 4.08 | 4.64 | 5.44 | 6.09 | 7.54 | 8.15 | 9.43 | 10.94 | 11.39 | 12.25 |                    |
| 5400                                                | 3.43                                                 | 4.16 | 4.72 | 5.51 | 6.17 | 7.80 | 8.35 | 9.78 | 10.89 | 11.58 | —     |                    |
| 5600                                                | 3.51                                                 | 4.13 | 4.75 | 5.56 | 6.37 | 7.82 | 8.30 | 9.69 | 11.04 | —     | —     |                    |
| 5800                                                | 3.55                                                 | 4.20 | 4.87 | 5.67 | 6.52 | 7.87 | 8.31 | 9.62 | —     | —     | —     |                    |
| 6000                                                | 3.59                                                 | 4.22 | 4.92 | 5.77 | 6.59 | 7.93 | 8.42 | 9.74 | —     | —     | —     |                    |
| 6200                                                | 3.60                                                 | 4.32 | 4.99 | 5.77 | 6.57 | 7.79 | 8.46 | —    | —     | —     | —     |                    |
| 6400                                                | 3.61                                                 | 4.32 | 4.96 | 5.82 | 6.60 | 7.98 | 8.53 | —    | —     | —     | —     |                    |
| 6600                                                | 3.62                                                 | 4.27 | 5.00 | 5.71 | 6.59 | 7.87 | —    | —    | —     | —     | —     |                    |
| 6800                                                | —                                                    | 4.31 | 5.02 | 5.85 | 6.62 | —    | —    | —    | —     | —     | —     |                    |

*Nota:* la tabla representa capacidad de transmisión, tomado de (INTERMEC S.A., 2013b).

## Anexo A.19

### Longitud estándar para la faja

| Ref. de la correa | Longitud Primitiva (mm) | Ref. de la correa | Longitud Primitiva (mm) | Ref. de la correa | Longitud Primitiva (mm) | Ref. de la correa | Longitud Primitiva (mm) | Ref. de la correa | Longitud Primitiva (mm) | Ref. de la correa | Longitud Primitiva (mm) |
|-------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|
| SPZ 487           | 487                     | SPZ 850           | 850                     | SPZ 1137          | 1137                    | SPZ 1420          | 1420                    | SPZ 1812          | 1812                    | SPZ 2262          | 2262                    |
| SPZ 500           | 500                     | SPZ 862           | 862                     | SPZ 1140          | 1140                    | SPZ 1425          | 1425                    | SPZ 1837          | 1837                    | SPZ 2280          | 2280                    |
| SPZ 512           | 512                     | SPZ 875           | 875                     | SPZ 1147          | 1147                    | SPZ 1437          | 1437                    | SPZ 1850          | 1850                    | SPZ 2287          | 2287                    |
| SPZ 530           | 530                     | SPZ 887           | 887                     | SPZ 1150          | 1150                    | SPZ 1450          | 1450                    | SPZ 1862          | 1862                    | SPZ 2300          | 2300                    |
| SPZ 562           | 562                     | SPZ 900           | 900                     | SPZ 1162          | 1162                    | SPZ 1462          | 1462                    | SPZ 1887          | 1887                    | SPZ 2360          | 2360                    |
| SPZ 575           | 575                     | SPZ 912           | 912                     | SPZ 1171          | 1171                    | SPZ 1470          | 1470                    | SPZ 1900          | 1900                    | SPZ 2400          | 2400                    |
| SPZ 580           | 580                     | SPZ 922           | 922                     | SPZ 1180          | 1180                    | SPZ 1487          | 1487                    | SPZ 1912          | 1912                    | SPZ 2410          | 2410                    |
| SPZ 587           | 587                     | SPZ 925           | 925                     | SPZ 1187          | 1187                    | SPZ 1500          | 1500                    | SPZ 1937          | 1937                    | SPZ 2430          | 2430                    |
| SPZ 600           | 600                     | SPZ 937           | 937                     | SPZ 1200          | 1200                    | SPZ 1512          | 1512                    | SPZ 1950          | 1950                    | SPZ 2437          | 2437                    |
| SPZ 612           | 612                     | SPZ 940           | 940                     | SPZ 1212          | 1212                    | SPZ 1520          | 1520                    | SPZ 1962          | 1962                    | SPZ 2500          | 2500                    |

*Nota:* la tabla representa longitud estándar para la faja, tomado de (DISUMTEC, 2025).

## Anexo A.20

### Arco de contacto y factor de corrección

| $\frac{(D-d)}{C}$ | Arco de contacto (Grados) | Factor de corrección |
|-------------------|---------------------------|----------------------|
| 0.00              | 180                       | 1.00                 |
| 0.10              | 174                       | 0.99                 |
| 0.20              | 169                       | 0.97                 |
| 0.30              | 163                       | 0.96                 |
| 0.40              | 157                       | 0.94                 |
| 0.50              | 151                       | 0.93                 |
| 0.60              | 145                       | 0.91                 |
| 0.70              | 139                       | 0.89                 |
| 0.80              | 133                       | 0.87                 |
| 0.90              | 127                       | 0.85                 |
| 1.00              | 120                       | 1.82                 |
| 1.10              | 113                       | 1.80                 |
| 1.20              | 106                       | 1.77                 |
| 1.30              | 99                        | 1.73                 |
| 1.40              | 91                        | 1.70                 |
| 1.50              | 83                        | 1.65                 |

*Nota:* la tabla representa arco contacto y factor de corrección, tomado de (INTERMEC S.A., 2013b).

Para un valor de 0.26, se interpola a continuación:

| INTERPOLACIÓN |      |          |
|---------------|------|----------|
| 0.20          | 169° | 0.97     |
| 0.26          | Y    | $f_{cb}$ |
| 0.30          | 163° | 0.96     |

$$Y = 169 + \frac{(0.26 - 0.20)(163 - 169)}{(0.30 - 0.20)} = 165.4^\circ$$

$$f_{cb} = 0.97 + \frac{(165.4 - 169)(0.96 - 0.97)}{(169 - 163)} = 0.964$$

## Anexo A.21

Tabla de capacidad de cadenas estándar sencilla de rodillos N° 40

| TABLA DE CAPACIDAD                                                                                                                                       |                            |                    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        |  |                |  |        |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|--|----------------|--|--------|--|
| CADENA ESTANDAR SENCILLA DE RODILLOS NO. 40 PASO 1/2"                                                                                                    |                            |                    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        |  |                |  |        |  |
| No. de dientes<br>piñon conductor                                                                                                                        | R.P.M. DEL PIÑON CONDUCTOR |                    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        |  |                |  |        |  |
|                                                                                                                                                          | 10                         | 25                 | 50   | 100  | 200  | 300  | 400  | 500  | 700  | 800  | 1000 | 1200               | 1400 | 1600 | 1800 | 2100 | 2400 | 2700 | 3000 | 3500 | 4000 | 5000 | 6000 | 7000 | 8000   |  |                |  |        |  |
| 9                                                                                                                                                        | 0.04                       | 0.10               | 0.19 | 0.35 | 0.65 | 0.93 | 1.21 | 1.48 | 2.00 | 2.51 | 2.75 | 3.25               | 3.73 | 4.12 | 3.45 | 2.74 | 2.24 | 1.88 | 1.60 | 1.27 | 1.04 | 0.75 | 0.57 | 0.45 | 0.37   |  |                |  |        |  |
| 10                                                                                                                                                       | 0.05                       | 0.11               | 0.21 | 0.39 | 0.73 | 1.04 | 1.35 | 1.65 | 2.24 | 2.81 | 3.09 | 3.64               | 4.16 | 4.71 | 4.04 | 3.21 | 2.63 | 2.20 | 1.88 | 1.49 | 1.22 | 0.87 | 0.66 | 0.53 | 0.43   |  |                |  |        |  |
| 11                                                                                                                                                       | 0.05                       | 0.12               | 0.23 | 0.43 | 0.80 | 1.16 | 1.50 | 1.83 | 2.48 | 3.11 | 3.42 | 4.03               | 4.63 | 5.22 | 4.66 | 3.70 | 3.03 | 2.54 | 2.17 | 1.72 | 1.41 | 1.01 | 0.77 | 0.61 | 0.50   |  |                |  |        |  |
| 12                                                                                                                                                       | 0.06                       | 0.14               | 0.25 | 0.47 | 0.88 | 1.27 | 1.65 | 2.01 | 2.73 | 3.42 | 3.76 | 4.43               | 5.09 | 5.74 | 5.31 | 4.22 | 3.45 | 2.89 | 2.47 | 1.96 | 1.60 | 1.15 | 0.87 | 0.69 | 0.57   |  |                |  |        |  |
| 13                                                                                                                                                       | 0.06                       | 0.15               | 0.28 | 0.52 | 0.96 | 1.39 | 1.80 | 2.20 | 2.97 | 3.73 | 4.10 | 4.83               | 5.55 | 6.26 | 5.99 | 4.76 | 3.89 | 3.26 | 2.79 | 2.21 | 1.81 | 1.23 | 0.96 | 0.78 | 0.64   |  |                |  |        |  |
| 14                                                                                                                                                       | 0.07                       | 0.16               | 0.30 | 0.56 | 1.04 | 1.50 | 1.95 | 2.38 | 3.22 | 4.04 | 4.44 | 5.23               | 6.01 | 6.78 | 6.70 | 5.31 | 4.35 | 3.65 | 3.11 | 2.47 | 2.02 | 1.46 | 1.10 | 0.87 | 0.71   |  |                |  |        |  |
| 15                                                                                                                                                       | 0.07                       | 0.17               | 0.32 | 0.60 | 1.12 | 1.62 | 2.10 | 2.56 | 3.47 | 4.35 | 4.78 | 5.64               | 6.47 | 7.30 | 7.43 | 5.89 | 4.82 | 4.04 | 3.45 | 2.74 | 2.24 | 1.60 | 1.22 | 0.97 | 0.79   |  |                |  |        |  |
| 16                                                                                                                                                       | 0.08                       | 0.19               | 0.35 | 0.65 | 1.20 | 1.74 | 2.25 | 2.75 | 3.72 | 4.66 | 5.13 | 6.04               | 6.94 | 7.83 | 8.18 | 6.49 | 5.31 | 4.45 | 3.80 | 3.02 | 2.47 | 1.77 | 1.34 | 1.07 | 0.87   |  |                |  |        |  |
| 17                                                                                                                                                       | 0.08                       | 0.20               | 0.37 | 0.69 | 1.29 | 1.85 | 2.40 | 2.93 | 3.97 | 4.98 | 5.48 | 6.45               | 7.41 | 8.36 | 8.96 | 7.11 | 5.82 | 4.88 | 4.14 | 3.31 | 2.71 | 1.94 | 1.47 | 1.17 | 0.96   |  |                |  |        |  |
| 18                                                                                                                                                       | 0.09                       | 0.21               | 0.39 | 0.73 | 1.37 | 1.97 | 2.55 | 3.12 | 4.22 | 5.30 | 5.82 | 6.86               | 7.89 | 8.89 | 9.76 | 7.75 | 6.34 | 5.31 | 4.54 | 3.60 | 2.95 | 2.11 | 1.60 | 1.27 | 0      |  |                |  |        |  |
| 19                                                                                                                                                       | 0.09                       | 0.22               | 0.42 | 0.76 | 1.45 | 2.09 | 2.71 | 3.31 | 4.48 | 5.62 | 6.17 | 7.27               | 8.36 | 9.42 | 10.5 | 8.40 | 6.89 | 5.76 | 4.92 | 3.91 | 3.20 | 2.29 | 1.74 | 1.38 | 0      |  |                |  |        |  |
| 20                                                                                                                                                       | 0.10                       | 0.24               | 0.44 | 0.82 | 1.53 | 2.21 | 2.86 | 3.50 | 4.73 | 5.94 | 6.53 | 7.69               | 8.83 | 9.96 | 11.1 | 9.07 | 7.43 | 6.22 | 5.31 | 4.22 | 3.45 | 2.47 | 1.88 | 1.49 | 0      |  |                |  |        |  |
| 21                                                                                                                                                       | 0.11                       | 0.25               | 0.46 | 0.87 | 1.62 | 2.33 | 3.02 | 3.69 | 4.99 | 6.26 | 6.86 | 8.11               | 9.31 | 10.5 | 11.7 | 9.76 | 7.99 | 6.70 | 5.72 | 4.54 | 3.31 | 2.66 | 2.02 | 1.60 | 0      |  |                |  |        |  |
| 22                                                                                                                                                       | 0.11                       | 0.26               | 0.49 | 0.91 | 1.70 | 2.45 | 3.17 | 3.88 | 5.25 | 6.58 | 7.23 | 8.52               | 9.79 | 11.0 | 12.3 | 10.5 | 8.57 | 7.19 | 6.13 | 4.87 | 3.89 | 2.85 | 2.17 | 1.72 | 0      |  |                |  |        |  |
| 23                                                                                                                                                       | 0.12                       | 0.27               | 0.51 | 0.96 | 1.78 | 2.57 | 3.33 | 4.07 | 5.51 | 6.90 | 7.59 | 8.94               | 10.3 | 11.6 | 12.9 | 11.2 | 9.16 | 7.68 | 6.55 | 5.20 | 4.26 | 3.05 | 2.32 | 1.84 | 0      |  |                |  |        |  |
| 24                                                                                                                                                       | 0.13                       | 0.29               | 0.54 | 1.00 | 1.87 | 2.69 | 3.48 | 4.26 | 5.76 | 7.23 | 7.95 | 9.36               | 10.8 | 12.1 | 13.5 | 11.9 | 9.76 | 8.18 | 6.99 | 5.54 | 4.54 | 3.25 | 2.47 | 1.96 | 0      |  |                |  |        |  |
| 25                                                                                                                                                       | 0.13                       | 0.30               | 0.56 | 1.05 | 1.95 | 2.81 | 3.64 | 4.45 | 6.02 | 7.55 | 8.30 | 9.78               | 11.2 | 12.7 | 14.1 | 12.7 | 10.4 | 8.70 | 7.43 | 5.89 | 4.82 | 3.45 | 2.63 | 0    | 0      |  |                |  |        |  |
| 26                                                                                                                                                       | 0.14                       | 0.31               | 0.59 | 1.09 | 2.04 | 2.93 | 3.80 | 4.64 | 6.28 | 7.88 | 8.66 | 10.2               | 11.7 | 13.2 | 14.7 | 13.5 | 11.0 | 9.23 | 7.88 | 6.25 | 4.52 | 3.66 | 2.79 | 0    | 0      |  |                |  |        |  |
| 28                                                                                                                                                       | 0.15                       | 0.34               | 0.63 | 1.18 | 2.20 | 3.18 | 4.11 | 5.03 | 6.81 | 8.54 | 9.39 | 11.1               | 12.7 | 14.3 | 15.9 | 15.0 | 12.3 | 10.3 | 8.80 | 6.99 | 5.72 | 4.09 | 3.11 | 0    | 0      |  |                |  |        |  |
| 30                                                                                                                                                       | 0.16                       | 0.37               | 0.68 | 1.27 | 2.38 | 3.42 | 4.43 | 5.42 | 7.33 | 9.20 | 10.1 | 11.9               | 13.7 | 15.4 | 17.2 | 16.7 | 13.6 | 11.4 | 9.76 | 7.75 | 6.34 | 4.54 | 3.45 | 0    | 0      |  |                |  |        |  |
| 32                                                                                                                                                       | 0.17                       | 0.39               | 0.73 | 1.36 | 2.55 | 3.67 | 4.75 | 5.81 | 7.86 | 9.86 | 10.8 | 12.8               | 14.7 | 16.5 | 18.4 | 18.4 | 15.0 | 12.8 | 10.8 | 8.64 | 6.99 | 5.00 | 0    | 0    | 0      |  |                |  |        |  |
| 35                                                                                                                                                       | 0.19                       | 0.43               | 0.81 | 1.50 | 2.81 | 4.04 | 5.24 | 6.40 | 8.66 | 10.9 | 11.9 | 14.1               | 16.2 | 18.2 | 20.3 | 21.0 | 17.2 | 14.4 | 12.3 | 9.76 | 7.99 | 5.72 | 0    | 0    | 0      |  |                |  |        |  |
| 40                                                                                                                                                       | 0.22                       | 0.50               | 0.93 | 1.74 | 3.24 | 4.67 | 6.05 | 7.39 | 10.0 | 12.5 | 13.8 | 16.3               | 19.7 | 21.1 | 23.4 | 25.7 | 21.0 | 17.6 | 15.0 | 11.9 | 9.76 | 6.99 | 0    | 0    | 0      |  |                |  |        |  |
| 45                                                                                                                                                       | 0.25                       | 0.57               | 1.06 | 1.97 | 3.68 | 5.30 | 6.87 | 8.40 | 11.4 | 14.2 | 15.7 | 18.6               | 21.2 | 23.9 | 26.6 | 30.5 | 25.1 | 21.0 | 17.9 | 14.2 | 11.7 | 0    | 0    | 0    | 0      |  |                |  |        |  |
| Lubricación Tipo A                                                                                                                                       |                            | Lubricación Tipo B |      |      |      |      |      |      |      |      |      | Lubricación Tipo C |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        |  |                |  |        |  |
| Cuando se trata de cadenas de hilera múltiple de este paso, multiplique por la capacidad por:                                                            |                            |                    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        |  |                |  |        |  |
| No. DE HILERAS                                                                                                                                           |                            |                    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | FACTOR |  | No. DE HILERAS |  | FACTOR |  |
| 2.....                                                                                                                                                   |                            |                    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 1.7    |  | 6.....         |  | 3.9    |  |
| 3.....                                                                                                                                                   |                            |                    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 2.5    |  | 8.....         |  | 4.8    |  |
| 4.....                                                                                                                                                   |                            |                    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 3.3    |  |                |  |        |  |
| La información contenida en estas tablas esta basada en los estándares de la ASOCIACIÓN AMERICANA DE FABRICANTES DE CADENAS (American Chain Association) |                            |                    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        |  |                |  |        |  |
| INFORMACIÓN INTERMEC                                                                                                                                     |                            |                    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        |  |                |  |        |  |

Nota: la figura representa cadenas de rodillos N° 40, tomado de (INTERMEC S.A., 2013a).

Para una revolución de 1250 rpm en la Tabla no se encuentra normalizado la potencia de diseño, se realiza una interpolación mostrada, para obtener la potencia mínima, que nos da un valor de 5.01 hp. Por lo tanto, supera a la potencia de diseño.

| INTERPOLACIÓN |      |
|---------------|------|
| 4.83          | 1200 |
| X             | 1250 |
| 5.55          | 1400 |

$$X = 4.83 + \frac{(1250 - 1200)(5.55 - 4.83)}{(1400 - 1200)} = 5.01$$



Para una revolución de 166.67 rpm en la Tabla 12 no se encuentra normalizado la potencia de diseño, se realizó una interpolación mostrada en la Tabla 5, para obtener la potencia mínima, que nos da un valor de 5.32 hp. Por lo tanto, supera a la potencia de diseño.

| INTERPOLACIÓN |        |
|---------------|--------|
| 4.84          | 150    |
| X             | 166.67 |
| 6.28          | 200    |

$$X = 4.84 + \frac{(166.67 - 150)(6.28 - 4.84)}{(200 - 150)} = 5.32$$

## Anexo A.24

*Tabla de capacidad de cadenas estándar sencilla de rodillos N° 60*

[illegible]

*Nota:* la figura representa capacidad de rodillos N° 60, tomado de (INTERMEC S.A., 2013a).

Anexo A.25

Tamaño de chaveta en función del diámetro del eje

| Ø Eje<br>d<br>(mm)<br>desde-<br>hasta | Medidas<br>chaveta<br><br>b x h<br>mm | Medidas del chavetero en el cubo |                                         |                                      |                                         | Medidas del chavetero<br>en el eje para chavetas<br>paralelas y de cuña |                                         | Medidas de los<br>ejes en el cubo<br>de la rueda |                 |
|---------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------|
|                                       |                                       | Chaveta paralela<br>S/DIN 6885/1 |                                         | Chaveta de cuña<br>S/DIN 6886 y 6887 |                                         | t <sub>i</sub><br>m/m                                                   | Tol.<br>admisible<br>(en altura)<br>m/m | Ø m/m<br>desde- hasta                            | Tol. H-7<br>m/m |
|                                       |                                       | d + t <sub>2</sub><br>m/m        | Tol.<br>Admisible<br>(en altura)<br>m/m | d + t <sub>2</sub><br>m/m            | Tol.<br>admisible<br>(en altura)<br>m/m |                                                                         |                                         |                                                  |                 |
| 17-22                                 | 6x6                                   | d+2,6                            | +0,1                                    | d+2,1                                | +0,1                                    | 3,5                                                                     | +0,2                                    | 10-18                                            | +0,018<br>0     |
| 22-30                                 | 8x7                                   | d+3,0                            |                                         | d+2,4                                |                                         | 4,1                                                                     |                                         |                                                  |                 |
| 30-38                                 | 10x8                                  | d+3,4                            | +0,2                                    | d+2,8                                | +0,2                                    | 4,7                                                                     |                                         | 30-50                                            | +0,025<br>0     |
| 38-44                                 | 12x8                                  | d+3,2                            |                                         | d+2,6                                |                                         | 4,9                                                                     |                                         |                                                  |                 |
| 44-50                                 | 14x9                                  | d+3,6                            |                                         | d+2,9                                |                                         | 5,5                                                                     |                                         | 50-80                                            | +0,030<br>0     |
| 50-58                                 | 16x10                                 | d+3,9                            |                                         | d+3,2                                |                                         | 6,2                                                                     |                                         |                                                  |                 |
| 58-65                                 | 18x11                                 | d+4,3                            |                                         | d+3,5                                |                                         | 6,8                                                                     |                                         | 80-120                                           | +0,035<br>0     |
| 65-75                                 | 20x12                                 | d+4,7                            |                                         | d+3,8                                |                                         | 7,4                                                                     |                                         |                                                  |                 |
| 75-85                                 | 22x14                                 | d+5,6                            |                                         | d+4,8                                |                                         | 8,5                                                                     |                                         | 120-180                                          | +0,040<br>0     |
| 85-95                                 | 25x14                                 | d+5,4                            |                                         | d+4,6                                |                                         | 8,7                                                                     |                                         |                                                  |                 |
| 95-110                                | 28x16                                 | d+6,2                            |                                         | d+5,4                                |                                         | 9,9                                                                     |                                         | 180-250                                          | +0,046<br>0     |
| 110-130                               | 32x18                                 | d+7,1                            |                                         | d+6,1                                |                                         | 11,1                                                                    |                                         |                                                  |                 |
| 130-150                               | 36x20                                 | d+7,9                            |                                         | d+6,9                                |                                         | 12,3                                                                    | +0,3                                    | 250-315                                          | +0,052<br>0     |
| 150-170                               | 40x22                                 | d+8,7                            |                                         | d+7,7                                |                                         | 13,5                                                                    |                                         |                                                  |                 |
| 170-200                               | 45x25                                 | d+9,9                            |                                         | d+8,9                                |                                         | 15,3                                                                    |                                         | 315-400                                          | +0,057<br>0     |
| 200-230                               | 51x28                                 | d+11,2                           |                                         | d+10,1                               |                                         | 17                                                                      |                                         |                                                  |                 |
| 230-260                               | 56x32                                 | d+12,9                           |                                         | d+11,8                               |                                         | 19,3                                                                    |                                         | 400-500                                          | +0,063<br>0     |
| 260-290                               | 63x32                                 | d+12,8                           | +0,3                                    | d+11,5                               | +0,3                                    | 19,6                                                                    |                                         |                                                  |                 |

Nota: la tabla representa tamaño chaveta en función al eje, tomado de (Chavetas DIN, 2024).

Anexo A.26

Coeficientes para esfuerzos y torsión en secciones rectangulares

| a/b      | 1     | 1.5   | 2     | 3     | 4     | 6     | 8     | 10    | ∞     |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\alpha$ | 0.208 | 0.231 | 0.246 | 0.267 | 0.282 | 0.299 | 0.307 | 0.313 | 0.333 |
| $\beta$  | 0.141 | 0.196 | 0.229 | 0.263 | 0.281 | 0.299 | 0.307 | 0.313 | 0.333 |
| $\gamma$ | 1.000 | 0.854 | 0.79  | 0.753 | 0.745 | 0.743 | 0.743 | 0.743 | 0.743 |

Nota: la figura representa los coeficientes de esfuerzos. Tomado de (Vanegas Useche, 2018).

Anexo A.27

Serie de roscas extrafinas

| ESPECIFICACIONES MÉTRICAS PARA PERNOS Y TORNILLOS |          |                                            |                                               |                                             |                                           |
|---------------------------------------------------|----------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------|
| CLASE<br>SAE (mm)                                 | TAMAÑO   | Carga de<br>Prueba<br>S <sub>p</sub> (MPa) | Límite de<br>Fluencia<br>S <sub>y</sub> (MPa) | Límite de<br>Rotura<br>S <sub>u</sub> (MPa) | Material                                  |
| 4.6                                               | M5-M36   | 225                                        | 240                                           | 400                                         | Acero de mediano<br>o bajo carbono        |
| 4.8                                               | M1.6-M16 | 310                                        | 340                                           | 420                                         | Acero de mediano<br>o bajo carbono        |
| 5.8                                               | M5-M24   | 380                                        | 420                                           | 520                                         | Acero de mediano<br>o bajo carbono        |
| 8.8                                               | M16-M36  | 600                                        | 660                                           | 830                                         | Acero de mediano<br>o bajo carbono, T y R |
| 9.8                                               | M1.6-M16 | 650                                        | 720                                           | 900                                         | Acero de mediano<br>o bajo carbono, T y R |
| 10.9                                              | M5-M36   | 830                                        | 940                                           | 1 040                                       | Acero de mediano<br>o bajo carbono, T y R |
| 12.9                                              | M1.6-M36 | 970                                        | 1 100                                         | 1 220                                       | Acero de aleación,<br>T y R.              |

Nota: la tabla representa serie de roscas extrafinas, tomado de (Alva Davila, 2008).

B. Catálogos y fichas técnicas

Anexo B.1

Especificaciones técnicas del motor Honda

| GX270H2                     |                                        |   |
|-----------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| MOTOR                       | Tipo de motor                          | 4 tiempos (monocilíndrico)                                                          |
|                             | Sistema de Válvulas                    | DHV                                                                                 |
|                             | Desplazamiento (CC)                    | 270                                                                                 |
|                             | Potencia Máxima (HP/rpm)               | 9 / 3 600                                                                           |
|                             | Potencia Nominal (HP/rpm)              | 8.4 / 3 600                                                                         |
|                             | Máximo torque neto (N.m/rpm)           | 18.3 / 2 500                                                                        |
|                             | Tipo de filtro de aire                 | Dual                                                                                |
|                             | Capacidad de tanque de combustible (L) | 5.3                                                                                 |
|                             | Consumo de combustible L/H             | 2.6                                                                                 |
|                             | Tipo de Combustible                    | Gasolina de 80                                                                      |
|                             | Aceite recomendado                     | SAE 10W-30 API - HONDA                                                              |
| DIMENSIONES                 | Longitud (mm.)                         | 381                                                                                 |
|                             | Ancho (mm.)                            | 428                                                                                 |
|                             | Altura (mm.)                           | 410                                                                                 |
|                             | Peso Seco (kg.)                        | 25.2                                                                                |
| EXTRAS                      | Accesorios incluidos                   | -                                                                                   |
|                             | Garantía                               | 2 Años                                                                              |
| CARACTERÍSTICAS ADICIONALES | Diámetro de carrera                    | 77 x 58                                                                             |
|                             | Relación de compresión                 | 8.5 : 1                                                                             |
|                             | Tipo de eje                            | Horizontal recto                                                                    |
|                             | Sistema de ventilación                 | Aire Forzado                                                                        |
|                             | Sistema de encendido                   | CDI                                                                                 |
|                             | Tiempo de ignición                     | B.T.D.C. 10°                                                                        |
|                             | Bujías                                 | BRF6ES (NGK) / WATSPHU (DENSO)                                                      |
|                             | Sistema de lubricación                 | Salpicaduras                                                                        |
|                             | Sistema de arranque                    | A cuerda (retroced)                                                                 |
|                             | Sistema de parada                      | Circuito primario (ignición a tierra)                                               |
| CURVAS DE DESEMPEÑO         | Capacidad de aceite de motor (cc)      | 1 100                                                                               |
|                             | Sistema de alerta de aceite            | Si                                                                                  |
|                             |                                        |  |

Nota: la tabla representa especificaciones técnicas, tomado de (Honda, 2025).

Anexo B.2

Datos técnicos de neumáticos para pequeños tractores agrícolas

| Dimensión | Tipo de banda de rodadura | Tipo | Llanta (permitida)     | Cámara  | Ancho (mm) | Diámetro total (mm) | Radio estático en carga (mm) | Circunferencia de rodadura (mm) |  |
|-----------|---------------------------|------|------------------------|---------|------------|---------------------|------------------------------|---------------------------------|--|
| 4.00-8    | TS-01                     | TT   | 3.00Dx8                | 4.00-8  | 114        | 425                 | 195                          | 1 250                           |  |
| 4.0-10    | TS-03                     | TT   | 3.50Bx10<br>(3.00Bx10) | 4.0-10  | 114        | 463                 | 214                          | 1 370                           |  |
| 5.0-10    | TS-03                     | TT   | 4Jx10<br>(3.50Bx10)    | 5.0-10  | 140        | 512                 | 234                          | 1 520                           |  |
| 5.0-10    | TS-03                     | TT   | 4Jx10<br>(3.50Bx10)    | 5.0-10  | 140        | 512                 | 234                          | 1 520                           |  |
| 5.00-12   | TS-02                     | TT   | 4.00Ex12<br>(3.00Dx12) | 5.00-12 | 145        | 580                 | 260                          | 1 705                           |  |
| 5.00-12   | TS-02                     | TT   | 4.00Ex12<br>(3.00Dx12) | 5.00-12 | 145        | 580                 | 260                          | 1 705                           |  |

Nota: la imagen representa un catálogo de neumático, tomado de (MITAS, 2016).

## Anexo B.3

### Barras redondas lisas y pulidas ASTM A36 y SAE 1045

# Barras Redondas Lisas y Pulidas

## CALIDADES: ASTM A36 Y SAE1045

**DENOMINACIONES:**  
REDONDO PULIDO A36  
REDONDO PULIDO SAE1045  
REDONDO PULIDO SAE1018

**DESCRIPCIÓN:**  
Producto laminado en caliente de sección circular, de superficie lisa y pulida (según requerimiento).

**USOS:**

| CALIDAD  | USOS                                                                                                                                           |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ASTM A36 | Estructuras metálicas, puertas, ventanas, ejes, cerros, barras de transferencia para pavimento rígido, etc. También para forjado y mecanizado. |
| SAE 1045 | Pernos y tuercas por recalcado en caliente o mecanizado (ejes, ejes, pasadores, etc).                                                          |

**NORMAS TÉCNICAS:**  
ASTM A36/A36M-19  
J403 JUN2014  
ASTM A6 / A6M - 22

**TOLERANCIAS DIMENSIONALES:**  
• Barras de diámetros  $\leq 1 \frac{1}{8}"$ : ISO 1035/4 y NTP 241.105  
• Barras de diámetros  $> 1 \frac{1}{8}"$ : ASTM A6 y NTP 241.105

**PRESENTACIÓN:**  
• Se comercializa en longitudes de 6 metros. En otras longitudes solo a pedido del cliente.  
• Las barras de diámetros mayores a 1", son suministradas en estado laminado en caliente y posteriormente pulidas (según requerimiento del cliente).  
• Se suministran en paquetes de 1 t.  
• La calidad 1045 se identifica en los extremos, pintando la mitad de la sección con color negro.  
• La calidad A36 se identifica en los extremos, pintando la mitad de la sección con color verde y la otra mitad con color negro.

**DIMENSIONES Y PESOS NOMINALES en Kg/m:**

| DIÁMETRO NOMINAL (in.) | PESO METRICO (kg/m) | PESO DE LA BARRA (kg/6m) |
|------------------------|---------------------|--------------------------|
| 1/8                    | 0.16                | 1.36                     |
| 1/4                    | 0.99                | 5.97                     |
| 5/8                    | 1.55                | 9.32                     |
| 1/2                    | 2.34                | 14.01                    |
| 3/4                    | 3.05                | 18.27                    |

| DIÁMETRO NOMINAL (in.) | PESO METRICO (kg/m) | PESO DE LA BARRA (kg/6m) |
|------------------------|---------------------|--------------------------|
| 1                      | 3.98                | 23.87                    |
| 1 1/4                  | 6.22                | 37.29                    |
| 1 1/2                  | 7.52                | 45.12                    |
| 2                      | 15.91               | 95.46                    |
| 2 1/4                  | 24.96               | 149.82                   |

**REDONDO PULIDO:**

| DIÁMETRO NOMINAL (in.) | PESO METRICO (kg/m) | PESO DE LA BARRA (kg/6m) |
|------------------------|---------------------|--------------------------|
| 1 1/4                  | 6.22                | 37.29                    |
| 1 1/2                  | 7.52                | 45.12                    |
| 1/4                    | 12.18               | 73.09                    |
| 2                      | 15.91               | 95.46                    |
| 2 1/2                  | 24.96               | 149.82                   |

**COMPOSICIÓN QUÍMICA EN LA CUCHARA (%):**

| NORMA    | %C máx.     | %Mn         | %Si máx. | %P máx. | %S máx. |
|----------|-------------|-------------|----------|---------|---------|
| ASTM A36 | 0.26        | 0.60 - 0.90 | 0.40     | 0.04    | 0.05    |
| SAE 1045 | 0.42 - 0.50 | 0.60 - 0.90 | -        | 0.030   | 0.050   |

(\*) Para diámetros mayores que 3/4".

**PROPIEDADES MECÁNICAS:**

| NORMA                   | LÍMITE DE FLUENCIA (MPa (kg/cm²)) | RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (MPa (kg/cm²)) | ALARGAMIENTO (EN 200 mm) (%) |
|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------|------------------------------|
| ASTM A36                | 250 (2,530)                       | 400 - 550 (4,080 - 5,620)                | 20.0                         |
| SAE 1045 <sup>(*)</sup> | 340 - 540 (3,400 - 5,400)         | 650 - 805 (6,700 - 8,200)                | 12.0                         |

(\*) Valores Típicos.

**TOLERANCIAS DIMENSIONALES:**  
Barras de diámetro  $> 1"$  ASTM A 6/A 6M.

| NORMA TÉCNICA | DIÁMETRO NOMINAL (in.)        | DIÁMETRO DE PLACMA (in.) | DEVIACIÓN DE RECTITUD (in. (mm)) | LONGITUD (ft.) |
|---------------|-------------------------------|--------------------------|----------------------------------|----------------|
| ASTM          | 1" $\leq$ D $\leq$ 1 1/4"     | ±0.25                    | 0.38                             |                |
| ASTM          | 1 1/4" $\leq$ D $\leq$ 1 1/2" | ±0.38                    | 0.41                             |                |
| ASTM          | 1 1/2" $\leq$ D $\leq$ 1 3/4" | ±0.30                    | 0.46                             |                |
| ASTM          | 1 3/4" $\leq$ D $\leq$ 2"     | ±0.36                    | 0.53                             | ±0.10          |
| ASTM          | 2" $\leq$ D $\leq$ 2 1/2"     | ±0.40                    | 0.58                             |                |
| ASTM          | 2 1/2" $\leq$ D $\leq$ 3"     | ±0.46                    | 0.63                             |                |

*Nota:* la figura representa barras redondas y pulidas, tomado de (Aceros Arequipa S.A, 2020).

## Anexo B.4

### Planchas de laminado en caliente

# Laminados en Caliente

## BOBINAS Y PLANCHAS LAC

**DENOMINACIÓN:**  
BLAC, PLAC, PESTRUC

**DESCRIPCIÓN:**  
Planchas de acero laminadas en caliente, calidad comercial o estructural, sin acetar, sin decapar, con bordes de laminación, tienen espesores menores o iguales a 5.9 mm.

**USOS:**  
Se usa en la fabricación de tubos, perfiles plegados, asimismo luego de su corte en planchas, se emplea en la construcción de silos, carrocerías y construcción en general.

**NORMAS TÉCNICAS:**  
- ASTM A36/A36M-19  
- ASTM A568/A568M-25  
- ASTM A6/A6M-24b  
- JIS G 3193-2019

**COMPOSICIÓN QUÍMICA (%):**

| CALIDAD ASTM | %C        | %Mn MÁX. | %P MÁX. | %S MÁX. | %Si MÁX. |
|--------------|-----------|----------|---------|---------|----------|
| A36          | 0.25 máx. | -        | 0.030   | 0.030   | 0.40     |

**DIMENSIONES NOMINALES:**

| BOBINAS ASTM A36 (mm) |       |  |
|-----------------------|-------|--|
| Espesor               | Ancho |  |
| 1.20                  |       |  |
| 1.35                  |       |  |
| 1.50                  |       |  |
| 1.75                  |       |  |
| 1.90                  |       |  |
| 2.00                  |       |  |
| 2.20                  |       |  |
| 2.30                  |       |  |
| 2.40                  |       |  |
| 2.60                  |       |  |
| 2.80                  |       |  |
| 3.00                  |       |  |
| 3.30                  |       |  |
| 3.60                  |       |  |
| 4.00                  |       |  |
| 4.40                  |       |  |
| 4.80                  |       |  |
| 5.00                  |       |  |
| 5.90                  |       |  |
| 6.00                  |       |  |
| 6.40                  |       |  |
| 6.80                  |       |  |
| 7.00                  |       |  |
| 7.50                  |       |  |
| 8.00                  |       |  |
| 8.50                  |       |  |
| 9.00                  |       |  |
| 9.50                  |       |  |
| 10.00                 |       |  |
| 10.50                 |       |  |
| 11.00                 |       |  |
| 11.50                 |       |  |
| 12.00                 |       |  |

| PLANCHAS ASTM A36 (mm) |       |       |
|------------------------|-------|-------|
| Espesor                | Ancho | Largo |
| 1.20                   |       |       |
| 1.35                   |       |       |
| 1.50                   |       |       |
| 1.75                   |       |       |
| 1.90                   |       |       |
| 2.00                   |       |       |
| 2.20                   |       |       |
| 2.30                   |       |       |
| 2.40                   |       |       |
| 2.60                   |       |       |
| 2.80                   |       |       |
| 3.00                   |       |       |
| 3.30                   |       |       |
| 3.60                   |       |       |
| 4.00                   |       |       |
| 4.40                   |       |       |
| 4.80                   |       |       |
| 5.00                   |       |       |
| 5.90                   |       |       |
| 6.00                   |       |       |
| 6.40                   |       |       |
| 6.80                   |       |       |
| 7.00                   |       |       |
| 7.50                   |       |       |
| 8.00                   |       |       |
| 8.50                   |       |       |
| 9.00                   |       |       |
| 9.50                   |       |       |
| 10.00                  |       |       |
| 10.50                  |       |       |
| 11.00                  |       |       |
| 11.50                  |       |       |
| 12.00                  |       |       |

**PROPIEDADES MECÁNICAS:**

| CALIDAD     | NORMA    | LÍMITE DE FLUENCIA (MPa (kg/cm²)) | RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (MPa (kg/cm²)) | ALARGAMIENTO EN 200 mm (%) | DOBLADO A 180°  |
|-------------|----------|-----------------------------------|------------------------------------------|----------------------------|-----------------|
| Estructural | ASTM A36 | 250 mín. (25.50 mín.)             | 400 - 550 (40.80 - 56.10)                | 20 mín.                    | Sin flaqueo (*) |

(\*) El ensayo de doblado es opcional.

**TOLERANCIAS DIMENSIONALES:**  
Espesor de Planchas: JIS G3193, ASTM A6  
Ancho Bobinas: JIS G3193  
Ancho Planchas: JIS G3193, ASTM A6  
Falta de aplanado (máx. en mm) JIS G3193, ASTM A568, ASTM A6

QCSA01-F256/03/JUN 25

*Nota:* la imagen representa bobinas y planchas, tomado de (Aceros Arequipa S.A, 2020).

## Anexo B.5

### Platinas ASTM A36

| Platinas                                                                                                                                                                   |              |       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-------|
| CALIDAD: ASTM A36                                                                                                                                                          |              |       |
| <b>DENOMINACIÓN:</b><br>PLAT A36.                                                                                                                                          |              |       |
| <b>DESCRIPCIÓN:</b><br>Producto de acero que ha sido laminado en caliente en sus cuatro superficies, con una sección transversal rectangular. Tiene las superficies lisas. |              |       |
| <b>USOS:</b><br>En la fabricación de estructuras metálicas, puertas, ventanas, rejas, piezas forjadas y otros.                                                             |              |       |
| <b>NORMAS TÉCNICAS:</b><br>• Propiedades Mecánicas: ASTM A36/A36M y NTP 350.400<br>• Tolerancias Dimensionales: ASTM A6/AS6 y NTP 241.105                                  |              |       |
| <b>PRESENTACIÓN:</b><br>Se comercializa en barras de 6 metros de longitud. Se suministra en paquetes de 1 t.                                                               |              |       |
| <b>DIMENSIONES Y PESOS NOMINALES en kg/m:</b><br><b>SISTEMA INGLÉS:</b>                                                                                                    |              |       |
| DIMENSIONES NOMINALES (pulg)                                                                                                                                               | PESO NOMINAL |       |
|                                                                                                                                                                            | kg/m         | kg/ft |
| 1/8" x 1/2"                                                                                                                                                                | 0.52         | 1.52  |
| 1/8" x 3/4"                                                                                                                                                                | 0.48         | 2.61  |
| 1/8" x 1"                                                                                                                                                                  | 0.64         | 3.84  |
| 1/8" x 1 1/4"                                                                                                                                                              | 0.93         | 4.90  |
| 1/8" x 1 1/2"                                                                                                                                                              | 0.95         | 5.70  |
| 1/8" x 2"                                                                                                                                                                  | 2.27         | 7.62  |
| 3/16" x 1/2"                                                                                                                                                               | 0.63         | 2.61  |
| 3/16" x 5/8"                                                                                                                                                               | 0.61         | 3.66  |
| 3/16" x 1"                                                                                                                                                                 | 0.74         | 4.44  |
| 3/16" x 1 1/4"                                                                                                                                                             | 1.18         | 5.91  |
| 3/16" x 1 1/2"                                                                                                                                                             | 1.42         | 6.53  |
| 3/16" x 2"                                                                                                                                                                 | 1.90         | 11.40 |
| 3/16" x 2 1/2"                                                                                                                                                             | 2.37         | 14.22 |
| 3/16" x 3"                                                                                                                                                                 | 3.35         | 17.13 |
| 1/4" x 5/8"                                                                                                                                                                | 0.80         | 4.90  |
| 1/4" x 3/4"                                                                                                                                                                | 0.95         | 5.70  |
| 1/4" x 1"                                                                                                                                                                  | 1.26         | 7.62  |
| 1/4" x 1 1/4"                                                                                                                                                              | 1.58         | 9.48  |
| 1/4" x 1 1/2"                                                                                                                                                              | 1.90         | 11.40 |
| 1/4" x 2"                                                                                                                                                                  | 3.15         | 15.19 |
| 1/4" x 2 1/2"                                                                                                                                                              | 3.16         | 18.96 |
| 1/4" x 3"                                                                                                                                                                  | 3.80         | 22.50 |

| SISTEMA MÉTRICO:           |              |        |
|----------------------------|--------------|--------|
| DIMENSIONES NOMINALES (mm) | PESO NOMINAL |        |
|                            | kg/m         | kg/6m  |
| 12 x 205                   | 18.84        | 113.04 |

| DIMENSIONES NOMINALES (pulg) | PESO NOMINAL |        |
|------------------------------|--------------|--------|
|                              | kg/m         | kg/ft  |
| 1/8" x 4"                    | 5.96         | 30.36  |
| 3/8" x 1"                    | 1.92         | 11.52  |
| 3/8" x 1 1/4"                | 2.38         | 14.28  |
| 3/8" x 1 1/2"                | 2.45         | 17.10  |
| 3/8" x 2"                    | 1.80         | 22.80  |
| 3/8" x 2 1/2"                | 4.14         | 28.44  |
| 3/8" x 3"                    | 5.70         | 34.20  |
| 3/8" x 4"                    | 7.40         | 48.60  |
| 1/2" x 1 1/2"                | 3.79         | 22.34  |
| 1/2" x 2"                    | 5.66         | 36.36  |
| 1/2" x 2 1/2"                | 6.13         | 37.86  |
| 1/2" x 3"                    | 7.60         | 45.60  |
| 1/2" x 4"                    | 10.13        | 60.78  |
| 5/8" x 4"                    | 12.84        | 75.86  |
| 3/4" x 4"                    | 15.19        | 91.14  |
| 1" x 4"                      | 20.28        | 121.58 |
| 3/8" x 5"                    | 9.49         | 56.95  |
| 3/8" x 6"                    | 11.39        | 68.34  |
| 1/2" x 5"                    | 12.84        | 75.87  |
| 1/2" x 6"                    | 15.19        | 91.16  |
| 5/8" x 5"                    | 15.83        | 94.96  |
| 5/8" x 6"                    | 18.99        | 112.55 |
| 3/4" x 5"                    | 18.99        | 113.55 |
| 3/4" x 6"                    | 22.73        | 136.74 |
| 1" x 5"                      | 26.17        | 155.84 |
| 1" x 6"                      | 30.39        | 182.32 |

| SISTEMA MÉTRICO:           |              |        |
|----------------------------|--------------|--------|
| DIMENSIONES NOMINALES (mm) | PESO NOMINAL |        |
|                            | kg/m         | kg/6m  |
| 12 x 205                   | 18.84        | 113.04 |

  
**PROPIEDADES MECÁNICAS:**  
 • Límite de Fluencia = 250 Mpa (2,530 kg/cm<sup>2</sup>) mínimo.  
 • Resistencia a la Tracción = 450 - 550 Mpa (4,080-5,620 kg/cm<sup>2</sup>).  
 • Alargamiento en 200 mm:  
   1/8" y 3/16" = 15.0 % mínimo.  
   1/4" = 17.5 % mínimo.  
   5/16", 3/8", 5/8", 3/4" y 1" = 20.0 % mínimo.  
 • Doblando a 180° = Bueno.  
 • Soldabilidad = Buena.
   |  |

OC0401-F184/04/SEP 20

*Nota:* la figura representa platinas ASTM A36, tomado de (Aceros Arequipa S.A, 2020).

## Anexo B.6

### Tubo para estructuras ASTM A500 LAC y GALV

# Tubo ASTM A500 LAC y GALV

## PARA ESTRUCTURAS

SISTEMA INGLÉS:

| Designación nominal |       | PESO NOMINAL (lb/ft) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------------|-------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                     |       | 1.2                  | 1.5   | 1.8   | 2     | 2.5   | 3     | 4     | 5     | 6     | 8     | 10    |
| 1 1/2"              | 20x20 | 4.60                 | 5.82  | 7.04  | 8.26  | 10.40 | 12.60 | 15.70 | 18.90 | 22.10 | 28.50 | 35.00 |
|                     | 24x24 | 5.20                 | 6.42  | 7.64  | 8.86  | 11.00 | 13.20 | 16.30 | 19.50 | 22.70 | 29.10 | 35.60 |
|                     | 30x30 | 6.40                 | 7.62  | 8.84  | 10.06 | 12.20 | 14.40 | 17.50 | 20.70 | 23.90 | 30.30 | 36.80 |
|                     | 36x36 | 7.60                 | 8.82  | 10.04 | 11.26 | 13.40 | 15.60 | 18.70 | 21.90 | 25.10 | 31.50 | 38.00 |
|                     | 42x42 | 8.80                 | 10.02 | 11.24 | 12.46 | 14.60 | 16.80 | 19.90 | 23.10 | 26.30 | 32.70 | 39.20 |
|                     | 48x48 | 10.00                | 11.22 | 12.44 | 13.66 | 15.80 | 18.00 | 21.10 | 24.30 | 27.50 | 33.90 | 40.40 |
|                     | 54x54 | 11.20                | 12.42 | 13.64 | 14.86 | 17.00 | 19.20 | 22.30 | 25.50 | 28.70 | 35.10 | 41.60 |
|                     | 60x60 | 12.40                | 13.62 | 14.84 | 16.06 | 18.20 | 20.40 | 23.50 | 26.70 | 29.90 | 36.30 | 42.80 |
|                     | 66x66 | 13.60                | 14.82 | 16.04 | 17.26 | 19.40 | 21.60 | 24.70 | 27.90 | 31.10 | 37.50 | 44.00 |
|                     | 72x72 | 14.80                | 16.02 | 17.24 | 18.46 | 20.60 | 22.80 | 25.90 | 29.10 | 32.30 | 38.70 | 45.20 |
| 2"                  | 20x20 | 5.20                 | 6.42  | 7.64  | 8.86  | 11.00 | 13.20 | 16.30 | 19.50 | 22.70 | 29.10 | 35.60 |
|                     | 24x24 | 5.80                 | 7.02  | 8.24  | 9.46  | 11.60 | 13.80 | 16.90 | 20.10 | 23.30 | 29.70 | 36.20 |
|                     | 30x30 | 7.00                 | 8.22  | 9.44  | 10.66 | 12.80 | 15.00 | 18.10 | 21.30 | 24.50 | 30.90 | 37.40 |
|                     | 36x36 | 8.20                 | 9.42  | 10.64 | 11.86 | 14.00 | 16.20 | 19.30 | 22.50 | 25.70 | 32.10 | 38.60 |
|                     | 42x42 | 9.40                 | 10.62 | 11.84 | 13.06 | 15.20 | 17.40 | 20.50 | 23.70 | 26.90 | 33.30 | 39.80 |
|                     | 48x48 | 10.60                | 11.82 | 13.04 | 14.26 | 16.40 | 18.60 | 21.70 | 24.90 | 28.10 | 34.50 | 41.00 |
|                     | 54x54 | 11.80                | 13.02 | 14.24 | 15.46 | 17.60 | 19.80 | 22.90 | 26.10 | 29.30 | 35.70 | 42.20 |
|                     | 60x60 | 13.00                | 14.22 | 15.44 | 16.66 | 18.80 | 21.00 | 24.10 | 27.30 | 30.50 | 36.90 | 43.40 |
|                     | 66x66 | 14.20                | 15.42 | 16.64 | 17.86 | 20.00 | 22.20 | 25.30 | 28.50 | 31.70 | 38.10 | 44.60 |
|                     | 72x72 | 15.40                | 16.62 | 17.84 | 19.06 | 21.20 | 23.40 | 26.50 | 29.70 | 32.90 | 39.30 | 45.80 |
| 2 1/2"              | 20x20 | 5.80                 | 7.02  | 8.24  | 9.46  | 11.60 | 13.80 | 16.90 | 20.10 | 23.30 | 29.70 | 36.20 |
|                     | 24x24 | 6.40                 | 7.62  | 8.84  | 10.06 | 12.20 | 14.40 | 17.50 | 20.70 | 23.90 | 30.30 | 36.80 |
|                     | 30x30 | 7.60                 | 8.82  | 10.04 | 11.26 | 13.40 | 15.60 | 18.70 | 21.90 | 25.10 | 31.50 | 38.00 |
|                     | 36x36 | 8.80                 | 10.02 | 11.24 | 12.46 | 14.60 | 16.80 | 19.90 | 23.10 | 26.30 | 32.70 | 39.20 |
|                     | 42x42 | 10.00                | 11.22 | 12.44 | 13.66 | 15.80 | 18.00 | 21.10 | 24.30 | 27.50 | 33.90 | 40.40 |
|                     | 48x48 | 11.20                | 12.42 | 13.64 | 14.86 | 17.00 | 19.20 | 22.30 | 25.50 | 28.70 | 35.10 | 41.60 |
|                     | 54x54 | 12.40                | 13.62 | 14.84 | 16.06 | 18.20 | 20.40 | 23.50 | 26.70 | 29.90 | 36.30 | 42.80 |
|                     | 60x60 | 13.60                | 14.82 | 16.04 | 17.26 | 19.40 | 21.60 | 24.70 | 27.90 | 31.10 | 37.50 | 44.00 |
|                     | 66x66 | 14.80                | 16.02 | 17.24 | 18.46 | 20.60 | 22.80 | 25.90 | 29.10 | 32.30 | 38.70 | 45.20 |
|                     | 72x72 | 16.00                | 17.22 | 18.44 | 19.66 | 21.80 | 24.00 | 27.10 | 30.30 | 33.50 | 39.90 | 46.40 |
| 3"                  | 20x20 | 6.40                 | 7.62  | 8.84  | 10.06 | 12.20 | 14.40 | 17.50 | 20.70 | 23.90 | 30.30 | 36.80 |
|                     | 24x24 | 7.00                 | 8.22  | 9.44  | 10.66 | 12.80 | 15.00 | 18.10 | 21.30 | 24.50 | 30.90 | 37.40 |
|                     | 30x30 | 8.20                 | 9.42  | 10.64 | 11.86 | 14.00 | 16.20 | 19.30 | 22.50 | 25.70 | 32.10 | 38.60 |
|                     | 36x36 | 9.40                 | 10.62 | 11.84 | 13.06 | 15.20 | 17.40 | 20.50 | 23.70 | 26.90 | 33.30 | 39.80 |
|                     | 42x42 | 10.60                | 11.82 | 13.04 | 14.26 | 16.40 | 18.60 | 21.70 | 24.90 | 28.10 | 34.50 | 41.00 |
|                     | 48x48 | 11.80                | 13.02 | 14.24 | 15.46 | 17.60 | 19.80 | 22.90 | 26.10 | 29.30 | 35.70 | 42.20 |
|                     | 54x54 | 13.00                | 14.22 | 15.44 | 16.66 | 18.80 | 21.00 | 24.10 | 27.30 | 30.50 | 36.90 | 43.40 |
|                     | 60x60 | 14.20                | 15.42 | 16.64 | 17.86 | 20.00 | 22.20 | 25.30 | 28.50 | 31.70 | 38.10 | 44.60 |
|                     | 66x66 | 15.40                | 16.62 | 17.84 | 19.06 | 21.20 | 23.40 | 26.50 | 29.70 | 32.90 | 39.30 | 45.80 |
|                     | 72x72 | 16.60                | 17.82 | 19.04 | 20.26 | 22.40 | 24.60 | 27.70 | 30.90 | 34.10 | 40.50 | 47.00 |
| 3 1/2"              | 20x20 | 7.00                 | 8.22  | 9.44  | 10.66 | 12.80 | 15.00 | 18.10 | 21.30 | 24.50 | 30.90 | 37.40 |
|                     | 24x24 | 7.60                 | 8.82  | 10.04 | 11.26 | 13.40 | 15.60 | 18.70 | 21.90 | 25.10 | 31.50 | 38.00 |
|                     | 30x30 | 8.80                 | 10.02 | 11.24 | 12.46 | 14.60 | 16.80 | 19.90 | 23.10 | 26.30 | 32.70 | 39.20 |
|                     | 36x36 | 10.00                | 11.22 | 12.44 | 13.66 | 15.80 | 18.00 | 21.10 | 24.30 | 27.50 | 33.90 | 40.40 |
|                     | 42x42 | 11.20                | 12.42 | 13.64 | 14.86 | 17.00 | 19.20 | 22.30 | 25.50 | 28.70 | 35.10 | 41.60 |
|                     | 48x48 | 12.40                | 13.62 | 14.84 | 16.06 | 18.20 | 20.40 | 23.50 | 26.70 | 29.90 | 36.30 | 42.80 |
|                     | 54x54 | 13.60                | 14.82 | 16.04 | 17.26 | 19.40 | 21.60 | 24.70 | 27.90 | 31.10 | 37.50 | 44.00 |
|                     | 60x60 | 14.80                | 16.02 | 17.24 | 18.46 | 20.60 | 22.80 | 25.90 | 29.10 | 32.30 | 38.70 | 45.20 |
|                     | 66x66 | 16.00                | 17.22 | 18.44 | 19.66 | 21.80 | 24.00 | 27.10 | 30.30 | 33.50 | 39.90 | 46.40 |
|                     | 72x72 | 17.20                | 18.42 | 19.64 | 20.86 | 23.00 | 25.20 | 28.30 | 31.50 | 34.70 | 41.10 | 47.60 |
| 4"                  | 20x20 | 7.60                 | 8.82  | 10.04 | 11.26 | 13.40 | 15.60 | 18.70 | 21.90 | 25.10 | 31.50 | 38.00 |
|                     | 24x24 | 8.20                 | 9.42  | 10.64 | 11.86 | 14.00 | 16.20 | 19.30 | 22.50 | 25.70 | 32.10 | 38.60 |
|                     | 30x30 | 9.40                 | 10.62 | 11.84 | 13.06 | 15.20 | 17.40 | 20.50 | 23.70 | 26.90 | 33.30 | 39.80 |
|                     | 36x36 | 10.60                | 11.82 | 13.04 | 14.26 | 16.40 | 18.60 | 21.70 | 24.90 | 28.10 | 34.50 | 41.00 |
|                     | 42x42 | 11.80                | 13.02 | 14.24 | 15.46 | 17.60 | 19.80 | 22.90 | 26.10 | 29.30 | 35.70 | 42.20 |
|                     | 48x48 | 13.00                | 14.22 | 15.44 | 16.66 | 18.80 | 21.00 | 24.10 | 27.30 | 30.50 | 36.90 | 43.40 |
|                     | 54x54 | 14.20                | 15.42 | 16.64 | 17.86 | 20.00 | 22.20 | 25.30 | 28.50 | 31.70 | 38.10 | 44.60 |
|                     | 60x60 | 15.40                | 16.62 | 17.84 | 19.06 | 21.20 | 23.40 | 26.50 | 29.70 | 32.90 | 39.30 | 45.80 |
|                     | 66x66 | 16.60                | 17.82 | 19.04 | 20.26 | 22.40 | 24.60 | 27.70 | 30.90 | 34.10 | 40.50 | 47.00 |
|                     | 72x72 | 17.80                | 19.02 | 20.24 | 21.46 | 23.60 | 25.80 | 28.90 | 32.10 | 35.30 | 41.70 | 48.20 |

SISTEMA MÉTRICO:

| Designación nominal | Peso nominal (kg/m) | Dimensiones nominales (mm) |
|---------------------|---------------------|----------------------------|
| 20x20               | 18.5                | 20.3 - 20.3                |
| 24x24               | 24.5                | 24.3 - 24.3                |
| 30x30               | 29.5                | 30.3 - 30.3                |
| 36x36               | 37.0                | 36.3 - 36.3                |
| 42x42               | 42.5                | 42.3 - 42.3                |
| 48x48               | 49.0                | 48.3 - 48.3                |
| 54x54               | 55.5                | 54.3 - 54.3                |
| 60x60               | 63.0                | 60.3 - 60.3                |
| 66x66               | 70.5                | 66.3 - 66.3                |
| 72x72               | 78.0                | 72.3 - 72.3                |
| 78x78               | 86.0                | 78.3 - 78.3                |
| 84x84               | 94.0                | 84.3 - 84.3                |
| 90x90               | 102.0               | 90.3 - 90.3                |
| 96x96               | 110.0               | 96.3 - 96.3                |
| 102x102             | 118.0               | 102.3 - 102.3              |
| 108x108             | 126.0               | 108.3 - 108.3              |
| 114x114             | 134.0               | 114.3 - 114.3              |
| 120x120             | 142.0               | 120.3 - 120.3              |
| 126x126             | 150.0               | 126.3 - 126.3              |
| 132x132             | 158.0               | 132.3 - 132.3              |
| 138x138             | 166.0               | 138.3 - 138.3              |
| 144x144             | 174.0               | 144.3 - 144.3              |
| 150x150             | 182.0               | 150.3 - 150.3              |
| 156x156             | 190.0               | 156.3 - 156.3              |
| 162x162             | 198.0               | 162.3 - 162.3              |
| 168x168             | 206.0               | 168.3 - 168.3              |
| 174x174             | 214.0               | 174.3 - 174.3              |
| 180x180             | 222.0               | 180.3 - 180.3              |
| 186x186             | 230.0               | 186.3 - 186.3              |
| 192x192             | 238.0               | 192.3 - 192.3              |
| 198x198             | 246.0               | 198.3 - 198.3              |
| 204x204             | 254.0               | 204.3 - 204.3              |
| 210x210             | 262.0               | 210.3 - 210.3              |
| 216x216             | 270.0               | 216.3 - 216.3              |
| 222x222             | 278.0               | 222.3 - 222.3              |
| 228x228             | 286.0               | 228.3 - 228.3              |
| 234x234             | 294.0               | 234.3 - 234.3              |
| 240x240             | 302.0               | 240.3 - 240.3              |
| 246x246             | 310.0               | 246.3 - 246.3              |
| 252x252             | 318.0               | 252.3 - 252.3              |
| 258x258             | 326.0               | 258.3 - 258.3              |
| 264x264             | 334.0               | 264.3 - 264.3              |
| 270x270             | 342.0               | 270.3 - 270.3              |
| 276x276             | 350.0               | 276.3 - 276.3              |
| 282x282             | 358.0               | 282.3 - 282.3              |
| 288x288             | 366.0               | 288.3 - 288.3              |
| 294x294             | 374.0               | 294.3 - 294.3              |
| 300x300             | 382.0               | 300.3 - 300.3              |
| 306x306             | 390.0               | 306.3 - 306.3              |
| 312x312             | 398.0               | 312.3 - 312.3              |
| 318x318             | 406.0               | 318.3 - 318.3              |
| 324x324             | 414.0               | 324.3 - 324.3              |
| 330x330             | 422.0               | 330.3 - 330.3              |
| 336x336             | 430.0               | 336.3 - 336.3              |
| 342x342             | 438.0               | 342.3 - 342.3              |
| 348x348             | 446.0               | 348.3 - 348.3              |
| 354x354             | 454.0               | 354.3 - 354.3              |
| 360x360             | 462.0               | 360.3 - 360.3              |
| 366x366             | 470.0               | 366.3 - 366.3              |
| 372x372             | 478.0               | 372.3 - 372.3              |
| 378x378             | 486.0               | 378.3 - 378.3              |
| 384x384             | 494.0               | 384.3 - 384.3              |
| 390x390             | 502.0               | 390.3 - 390.3              |
| 396x396             | 510.0               | 396.3 - 396.3              |
| 402x402             | 518.0               | 402.3 - 402.3              |
| 408x408             | 526.0               | 408.3 - 408.3              |
| 414x414             | 534.0               | 414.3 - 414.3              |
| 420x420             | 542.0               | 420.3 - 420.3              |
| 426x426             | 550.0               | 426.3 - 426.3              |
| 432x432             | 558.0               | 432.3 - 432.3              |
| 438x438             | 566.0               | 438.3 - 438.3              |
| 444x444             | 574.0               | 444.3 - 444.3              |
| 450x450             | 582.0               | 450.3 - 450.3              |
| 456x456             | 590.0               | 456.3 - 456.3              |
| 462x462             | 598.0               | 462.3 - 462.3              |
| 468x468             | 606.0               | 468.3 - 468.3              |
| 474x474             | 614.0               | 474.3 - 474.3              |
| 480x480             | 622.0               | 480.3 - 480.3              |
| 486x486             | 630.0               | 486.3 - 486.3              |
| 492x492             | 638.0               | 492.3 - 492.3              |
| 498x498             | 646.0               | 498.3 - 498.3              |
| 504x504             | 654.0               | 504.3 - 504.3              |
| 510x510             | 662.0               | 510.3 - 510.3              |
| 516x516             | 670.0               | 516.3 - 516.3              |
| 522x522             | 678.0               | 522.3 - 522.3              |
| 528x528             | 686.0               | 528.3 - 528.3              |
| 534x534             | 694.0               | 534.3 - 534.3              |
|                     |                     |                            |

## Anexo B.7

### Ángulos estructurales ASTM A36

## Ángulos Estructurales

### CALIDAD: ASTM A36

**DENOMINACIÓN:**  
L A36.

**DESCRIPCIÓN:**  
Producto de acero laminado en caliente cuya sección transversal está formada por dos alas de igual longitud, en ángulo recto.

**USOS:**  
En la fabricación de estructuras de acero para plantas industriales, almacenes, techados de grandes luces, industrial naval, carrocerías, torres de transmisión. También se utiliza para la fabricación de puertas, ventanas, rejas, etc.

**NORMAS TÉCNICAS:**  
- Propiedades Mecánicas: ASTM A36 / A36M y NTP 350.400  
- Tolerancias Dimensionales:  
- Sistema Inglés: ASTM A6 / A6M y NTP 241.105.  
- Sistema Métrico: ISO 657 / V y NTP 241.105.

**PRESENTACIÓN:**  
Se comercializa en longitudes de 6 metros. Se suministra en paquetes de 1 t.

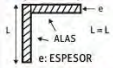
**DIMENSIONES Y PESOS NOMINALES en kg/m:**

**SISTEMA MÉTRICO:**

| DIMENSIONES (mm) | PESO ESTIMADO (kg/m) |
|------------------|----------------------|
| 20 x 20 x 2.0    | 0.50                 |
| 20 x 20 x 2.3    | 0.58                 |
| 20 x 20 x 2.5    | 0.74                 |
| 20 x 20 x 3.0    | 0.87                 |
| 25 x 25 x 2.0    | 0.75                 |
| 25 x 25 x 2.3    | 0.86                 |
| 25 x 25 x 2.5    | 0.93                 |
| 25 x 25 x 3.0    | 1.11                 |
| 25 x 25 x 4.0    | 1.41                 |
| 25 x 25 x 5.0    | 1.77                 |
| 25 x 25 x 6.0    | 2.07                 |
| 30 x 30 x 2.0    | 0.91                 |
| 30 x 30 x 2.3    | 1.04                 |
| 30 x 30 x 2.5    | 1.13                 |
| 30 x 30 x 3.0    | 1.34                 |
| 30 x 30 x 4.0    | 1.96                 |
| 30 x 30 x 5.0    | 2.35                 |
| 30 x 30 x 6.0    | 2.54                 |
| 38 x 38 x 2.0    | 1.16                 |

**COMPOSICIÓN QUÍMICA (%):**

| Elemento      | Carbono | Fósforo | Enxofre | Cobalto |
|---------------|---------|---------|---------|---------|
| ASTM A36/A36M | 0.26    | 0.040   | 0.04    | 0.05    |



**PROPIEDADES MECÁNICAS:**  
 • Límite de Fluencia = 250 Mpa (2.530 kg/cm²) mínimo.  
 • Resistencia a la Tracción = 400-550 Mpa (4,080 - 5,620 kg/cm²) (\*).  
 • Alargamiento en 200 mm:  
 2.0 mm, 2.5 mm, 3.0 mm, 1/8", 3/32", 4.5 mm y 3/16" = 15.0 % mínimo.  
 6.0 mm = 17.0% mínimo.  
 1/4" = 17.5% mínimo.  
 5/16", 3/8" y 1/2" = 20.0% mínimo.  
 (\*) Para los espesores de 2.0 mm a 2.5 mm, la resistencia a la tracción mínima es de 340 Mpa.  
 • Soldabilidad = Buena

**TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y DE FORMA:**

**SISTEMA INGLÉS:**

| Grado de Tolerancia | Alas (mm)   | Alas (in) | Alas (mm) | Alas (in) | Alas (mm) | Alas (in) | Alas (mm) | Alas (in) |
|---------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| ASTM A36/A36M       | 1.14, 1.12" | 1.14"     | 1.12"     | 1.12"     | 1.12"     | 1.12"     | 1.12"     | 1.12"     |
| ASTM A36/A36M       | 1.12"       | 1.12"     | 1.12"     | 1.12"     | 1.12"     | 1.12"     | 1.12"     | 1.12"     |
| ASTM A36/A36M       | 1.12"       | 1.12"     | 1.12"     | 1.12"     | 1.12"     | 1.12"     | 1.12"     | 1.12"     |

(1) La máxima diferencia entre alas 75%, 50% y 50% de la tolerancia total de longitud de alas, respectivamente según la dimensión del ángulo. Fuera de Escala entre alas: máxima permitida +1.5".  
 (2) El peso métrico no deberá variar más de +3.0%/-2.5% del peso nominal.

**SISTEMA MÉTRICO:**

| Grado de Tolerancia | Alas (mm)   | Alas (mm) | Alas (mm) | Alas (mm) |
|---------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|
| ASTM A36/A36M       | 1.14, 1.12" | 1.14"     | 1.12"     | 1.12"     |
| ASTM A36/A36M       | 1.12"       | 1.12"     | 1.12"     | 1.12"     |
| ASTM A36/A36M       | 1.12"       | 1.12"     | 1.12"     | 1.12"     |

LONGITUD DE ALAS (L) hasta 50 mm inclusive: ±1.00 mm

OC0401-F18106/MSD 23

Nota: la figura representa ángulos estructurales, tomado de (Aceros Arequipa S.A, 2020).

## Anexo B.8

### Planchas anti desgaste NM400 - NM450 - NM500

## Planchas Antidesgaste

### NM400 - NM450 - NM500

**DENOMINACIÓN:**  
PLACWR NM400, NM450, NM500

**DESCRIPCIÓN:**  
Aceros NM antidesgaste poseen excelente resistencia al desgaste por abrasión debido a su concepto de aleación, acotando rango de dureza y su temple completo en el espesor. Adicionalmente su aleación posee cromo lo cual le confiere una resistencia al desgaste mejorada en medios corrosivos.

**USOS:**  
Chutes, tolvas, canaletas, cribas, zarandas, tolvas de cangilones, elementos de máquinas trituradoras, cuchillas para motoniveladoras, cucharas/cargadores frontales, en la industria, ciclones, baldes para chatarra, contenedores, carros compactadores, rodillos, deslizaderas, tolvas de cangilones, etc.

**NORMAS TÉCNICAS:**  
UNE-EN 10149:2014, UNE-EN 10029:2011, GB/T241186 -2009, ASTM A653/A653M - 20

**PRESENTACIÓN:**  
Las planchas vienen enzunchadas sin ninguna protección en paquetes de 8.0t como máximo.

**DIMENSIONES ESTÁNDAR:**

| DIMENSIONES (mm) | 440 mm   | 640 mm   | 1040 mm  | 1500 x 6,000 mm | 2,000 x 10,000 mm |
|------------------|----------|----------|----------|-----------------|-------------------|
| 1/4"             | 148.19   | 883.15   | 883.15   | 883.15          | 2,243.14          |
| 5/16"            | 185.24   | 1,111.44 | 1,111.44 | 1,111.44        | 2,812.14          |
| 3/8"             | 222.29   | 1,339.72 | 1,339.72 | 1,339.72        | 3,381.14          |
| 1/2"             | 259.34   | 1,567.99 | 1,567.99 | 1,567.99        | 3,950.14          |
| 5/8"             | 296.39   | 1,796.27 | 1,796.27 | 1,796.27        | 4,519.14          |
| 3/4"             | 333.44   | 2,024.55 | 2,024.55 | 2,024.55        | 5,088.14          |
| 1"               | 370.49   | 2,252.82 | 2,252.82 | 2,252.82        | 5,657.14          |
| 1 1/4"           | 444.57   | 2,667.45 | 2,667.45 | 2,667.45        | 6,772.14          |
| 1 1/2"           | 518.64   | 3,082.08 | 3,082.08 | 3,082.08        | 7,887.14          |
| 2"               | 624.79   | 3,678.72 | 3,678.72 | 3,678.72        | 9,473.14          |
| 2 1/2"           | 730.94   | 4,275.36 | 4,275.36 | 4,275.36        | 11,059.14         |
| 3"               | 837.09   | 4,871.99 | 4,871.99 | 4,871.99        | 12,645.14         |
| 4"               | 1,008.79 | 5,887.19 | 5,887.19 | 5,887.19        | 15,059.14         |

**COMPOSICIÓN QUÍMICA (%):**  
Fracción de masa en análisis de cuchara.  
Equivalentes de carbono típicos (t = 15 mm).  
Valores mínimos (%)

| GRADO DEL ACERO | C    | Si  | Mn  | P     | S     | Cr  | Ni | Mo  | B     |
|-----------------|------|-----|-----|-------|-------|-----|----|-----|-------|
| NM 400 HBW      | 0.23 | 0.8 | 1.7 | 0.025 | 0.015 | 1.5 | 1  | 0.5 | 0.005 |
| NM 450 HBW      | 0.26 | 0.8 | 1.7 | 0.025 | 0.015 | 1.5 | 1  | 0.5 | 0.005 |
| NM 500 HBW      | 0.3  | 0.8 | 1.7 | 0.025 | 0.015 | 1.5 | 1  | 0.5 | 0.005 |

**PROPIEDADES MECÁNICAS:**

| GRADO DEL ACERO | Dureza (HRC) | Rango de Dureza (HRC) | Límite de Fluencia (MPa) | Carga de Impacto (J) | Temperatura de Impacto (°C) |
|-----------------|--------------|-----------------------|--------------------------|----------------------|-----------------------------|
| NM 400 HBW      | 400          | 380 - 420             | 800                      | 1120                 | 7                           |
| NM 450 HBW      | 450          | 350 - 500             | 1000                     | 1250                 | 6                           |
| NM 500 HBW      | 500          | 400 - 530             | 1100                     | 1400                 | 5                           |

**TOLERANCIAS DIMENSIONALES:**  
- Anchura y Longitud (mm)

| ANCHURA              |                 | LONGITUD                |                 |
|----------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|
| ANCHURA NOMINAL (mm) | TOLERANCIA (mm) | TOLERANCIA NOMINAL (mm) | TOLERANCIA (mm) |
| De 1,000 a < 2,000   |                 | De 4,000 a < 6,000      | 30              |
| De 2,000 a < 3,000   | 20              | De 6,000 a < 8,000      | 40              |
| De 3,000 a < 3,300   | 25              | De 8,000 a < 10,000     | 50              |
|                      |                 | De 10,000 a < 20,000    | 75              |

OC0401-F25702/NUM 25

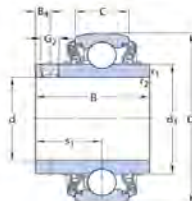
Nota: la figura representa planchas anti desgaste, tomado de (Aceros Arequipa S.A, 2020).

## Anexo B.9

### Ficha técnica del rodamiento YAR 204-012-2LPW/ZM

#### YAR 204-012-2LPW/ZM

Rodamiento de inserción con fijación con prisioneros y aro interior prolongado



#### Dimensiones:

|                  |             |                                                               |
|------------------|-------------|---------------------------------------------------------------|
| d                | 19.05 mm    | Diámetro interno                                              |
| D                | 47 mm       | Diámetro exterior                                             |
| B                | 31 mm       | Ancho del aro interior                                        |
| C                | 14 mm       | Ancho del aro exterior                                        |
| d <sub>1</sub>   | ≈28.2 mm    | Diámetro del resalte                                          |
| B <sub>1</sub>   | ≈4.5 mm     | Diámetro del rebaje                                           |
| R <sub>1,2</sub> | min. 0.6 mm | Dimensión del chaflán                                         |
| S <sub>1</sub>   | 18.3 mm     | Distancia de la cara lateral al centro del camino de rodadura |

#### Datos de cálculo:

|                                    |                |             |
|------------------------------------|----------------|-------------|
| Capacidad de carga dinámica básica | C              | 12.7 kN     |
| Capacidad de carga estática básica | C <sub>0</sub> | 6.55 kN     |
| Carga límite de fatiga             | P <sub>0</sub> | 0.28 kN     |
| Velocidad límite                   |                | 5 000 r/min |
| Factor de cálculo                  | f <sub>0</sub> | 13          |

#### Masa:

|                      |         |
|----------------------|---------|
| Masa del rodamiento: | 0.16 kg |
|----------------------|---------|

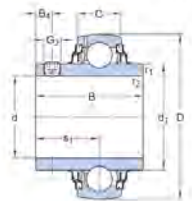
*Nota:* la figura representa la ficha técnica del rodamiento, tomado de (SKF, 1907).

## Anexo B.10

### Ficha técnica del rodamiento YAR 205-100-2RF/HV

#### YAR 205-100-2RFGR/HV

Rodamiento de inserción con fijación con prisioneros y aro interior prolongado



#### Dimensiones:

|                  |             |                                                               |
|------------------|-------------|---------------------------------------------------------------|
| d                | 25.4 mm     | Diámetro interno                                              |
| D                | 52 mm       | Diámetro exterior                                             |
| B                | 34.1 mm     | Ancho del aro interior                                        |
| C                | 15 mm       | Ancho del aro exterior                                        |
| d <sub>1</sub>   | ≈33.74 mm   | Diámetro del resalte                                          |
| B <sub>1</sub>   | ≈5 mm       | Diámetro del rebaje                                           |
| R <sub>1,2</sub> | min. 0.6 mm | Dimensión del chaflán                                         |
| S <sub>1</sub>   | 19.8 mm     | Distancia de la cara lateral al centro del camino de rodadura |

#### Datos de cálculo:

|                                    |                |             |
|------------------------------------|----------------|-------------|
| Capacidad de carga dinámica básica | C              | 11.94 kN    |
| Capacidad de carga estática básica | C <sub>0</sub> | 7.8 kN      |
| Carga límite de fatiga             | P <sub>0</sub> | 0.335 kN    |
| Velocidad límite                   |                | 4 300 r/min |
| Factor de cálculo                  | f <sub>0</sub> | 14          |

#### Masa:

|                     |          |
|---------------------|----------|
| Masa del rodamiento | 0.185 kg |
|---------------------|----------|

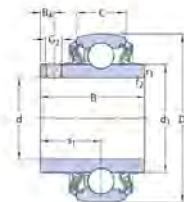
*Nota:* la figura representa la ficha técnica del rodamiento, tomado de (SKF, 1907).

## Anexo B.11

### Ficha técnica del rodamiento YAR 206-104-2LPW/SS

#### YAR 206-104-2LPW/SS

Rodamiento de inserción con fijación con prisioneros y aro interior prolongado



#### Dimensiones:

|                  |             |                                                               |
|------------------|-------------|---------------------------------------------------------------|
| d                | 31.75 mm    | Diámetro interno                                              |
| D                | 62 mm       | Diámetro exterior                                             |
| B                | 38.1 mm     | Ancho del aro interior                                        |
| C                | 18 mm       | Ancho del aro exterior                                        |
| d <sub>1</sub>   | ≈39.7 mm    | Diámetro del resalte                                          |
| B <sub>1</sub>   | ≈5 mm       | Diámetro del rebaje                                           |
| R <sub>1,2</sub> | min. 0.6 mm | Dimensión del chaflán                                         |
| S <sub>1</sub>   | 22.2 mm     | Distancia de la cara lateral al centro del camino de rodadura |

#### Datos de cálculo:

|                                    |                |             |
|------------------------------------|----------------|-------------|
| Capacidad de carga dinámica básica | C              | 16.3 kN     |
| Capacidad de carga estática básica | C <sub>0</sub> | 11.2 kN     |
| Carga límite de fatiga             | P <sub>0</sub> | 0.475 kN    |
| Velocidad límite                   |                | 3 800 r/min |
| Factor de cálculo                  | f <sub>e</sub> | 14          |

#### Masa:

|                     |          |
|---------------------|----------|
| Masa del rodamiento | 0.185 kg |
|---------------------|----------|

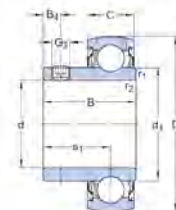
*Nota:* la figura representa la ficha técnica del rodamiento, tomado de (SKF, 1907).

## Anexo B.12

### Ficha técnica del rodamiento YAT 209-112

#### YAT 209-112

Rodamiento de inserción con fijación con prisioneros y aro interior prolongado



#### Dimensiones:

|                  |           |                                                               |
|------------------|-----------|---------------------------------------------------------------|
| d                | 44.45 mm  | Diámetro interno                                              |
| D                | 85 mm     | Diámetro exterior                                             |
| B                | 37 mm     | Ancho del aro interior                                        |
| C                | 22 mm     | Ancho del aro exterior                                        |
| d <sub>1</sub>   | ≈56.8 mm  | Diámetro del resalte                                          |
| B <sub>1</sub>   | ≈7 mm     | Diámetro del rebaje                                           |
| R <sub>1,2</sub> | min. 1 mm | Dimensión del chaflán                                         |
| S <sub>1</sub>   | 25.8 mm   | Distancia de la cara lateral al centro del camino de rodadura |

#### Datos de cálculo:

|                                    |                |             |
|------------------------------------|----------------|-------------|
| Capacidad de carga dinámica básica | C              | 33.2 kN     |
| Capacidad de carga estática básica | C <sub>0</sub> | 21.6 kN     |
| Carga límite de fatiga             | F <sub>0</sub> | 0.915 kN    |
| Velocidad límite                   |                | 4 300 r/min |
| Factor de cálculo                  | f <sub>e</sub> | 14          |

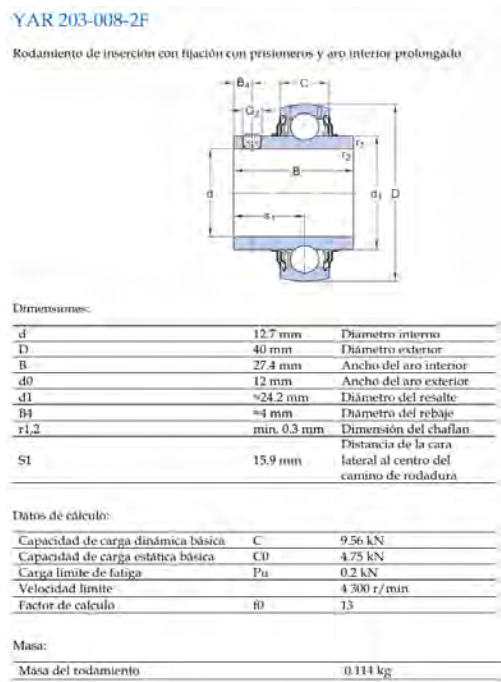
#### Masa:

|                     |          |
|---------------------|----------|
| Masa del rodamiento | 0.575 kg |
|---------------------|----------|

*Nota:* la figura representa la ficha técnica del rodamiento, tomado de (SKF, 1907).

Anexo B.13

Ficha técnica del rodamiento YAR 203-008-2F



Nota: la figura representa la ficha técnica del rodamiento, tomado de (SKF, 1907).

Anexo B.14

Barras redondas ASMT A276

| BARRA REDONDAS NORMA ASTM A-276 (Milimétricas) |           |
|------------------------------------------------|-----------|
| DIAMETROS                                      | PESO X 6M |
| MM                                             | KILOS     |
| 6.00                                           | 1.36      |
| 8.00                                           | 2.41      |
| 10.00                                          | 3.81      |
| 12.00                                          | 5.50      |
| 15.00                                          | 8.57      |
| 20.00                                          | 15.24     |
| 25.00                                          | 23.81     |
| 30.00                                          | 34.29     |
| 35.00                                          | 46.18     |
| 40.00                                          | 60.32     |
| 70.00                                          | 186.69    |
| 80.00                                          | 241.27    |
| 90.00                                          | 305.00    |

Nota: la figura representa barras de acero inoxidable ASMT A276, tomado de (GM, 2025).

## Anexo B.15

### *Panchas ASTM A240*

| PLANCHAS 2B MATE NORMA A240 |        |
|-----------------------------|--------|
| MEDIDA                      | KILOS  |
| 0.4MM 4 X 8                 | 9.53   |
| 0.5MM 4 X 8                 | 11.91  |
| 0.6MM 4 X 8                 | 13.90  |
| 0.8MM 4 X 8                 | 19.05  |
| 0.9MM 4 X 8                 | 21.43  |
| 1.0MM 4 X 8                 | 23.81  |
| 1.2MM 4 X 8                 | 28.58  |
| 1.5MM 4 X 8                 | 35.72  |
| 2.0MM 4 X 8                 | 47.63  |
| 2.5MM 4 X 8                 | 59.54  |
| 3.0MM 4 X 8                 | 71.44  |
| 4.0MM 4 X 8                 | 95.26  |
| 4.5MM 4 X 8                 | 107.16 |
| 6.0MM 4 X 8                 | 145.71 |

Nota: la figura representa panchas de acero inoxidable ASTM A240, tomado de (GM, 2025).

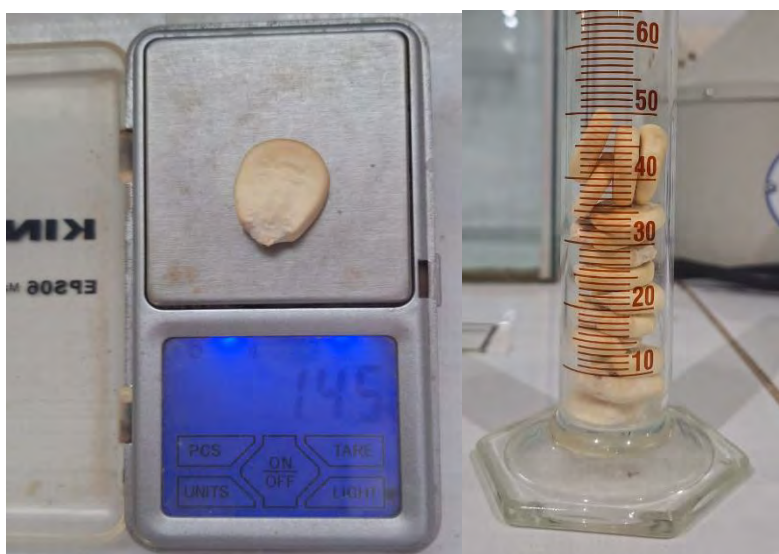
## C. Análisis experimental

### Cálculo de la densidad del maíz blanco gigante

Para determinar la densidad de la semilla de maíz blanco gigante del Cusco, se pesó una muestra de 50 semillas utilizando una balanza gramera.

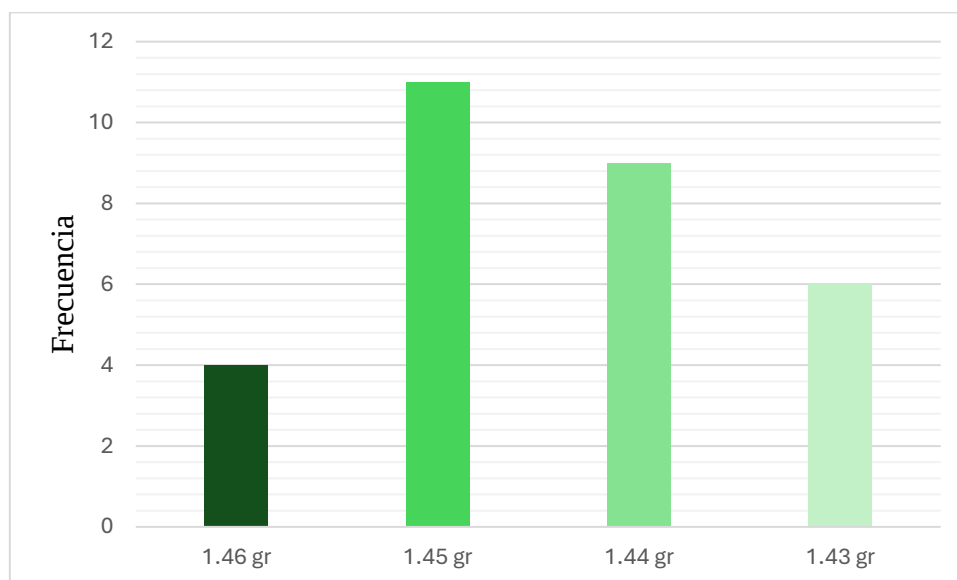
## Anexo C.1

### *Densidad de la semilla de maíz blanco gigante*



Nota: la figura representa una medida de densidad de la semilla de maíz blanco gigante.

El uso del histograma de frecuencias nos permite una comprensión visual rápida de la distribución de las mediciones para apreciar mejor los resultados de las muestras.



Procedemos a calcular la media con los datos recopilados

$$\bar{X} = \frac{1.43 + 1.44 + \dots + 1.45 + 1.46}{50} = 1.45 \text{ gr}$$

El maíz, al ser un sólido granular, no se adapta completamente al recipiente, generando vacíos entre los granos. Para evaluar este efecto, se llenó una probeta con maíz hasta alcanzar un volumen aparente de 50 ml.

finalmente se contaron la cantidad de maíces que entraron en la probeta, habiendo un total de 25 semillas; a continuación, se determina la densidad del maíz blanco gigante:

$$\rho_{\text{maíz}} = \frac{25 \times 1.45 \times 10^{-3} \text{ kg}}{50 \times 10^{-6} \text{ m}^3} = 725 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

### D. Plan de mantenimiento del Multicultor

El objetivo es garantizar el correcto funcionamiento, la seguridad operativa y la vida útil del Multicultor, se establece un plan de mantenimiento aplicado a sus principales sistemas mecánicos: motor, transmisión, estructura y herramientas de trabajo.

#### Anexo D.1

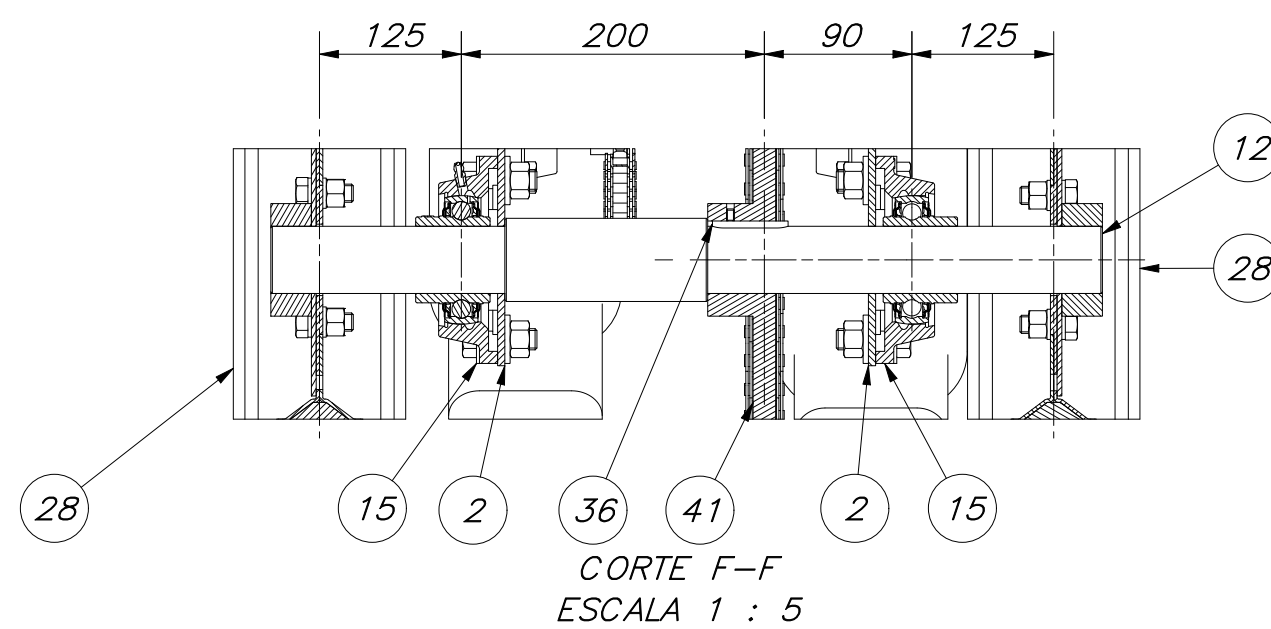
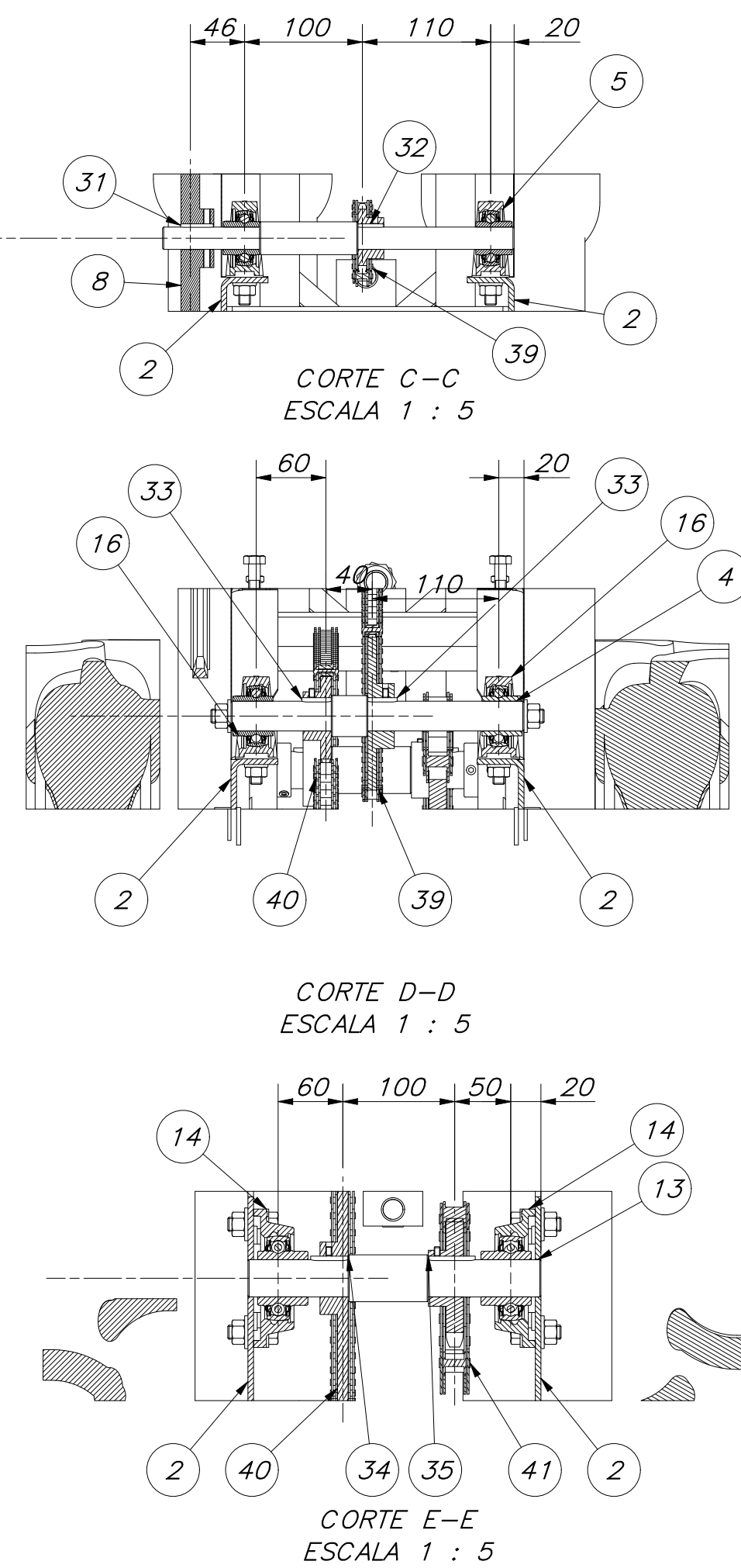
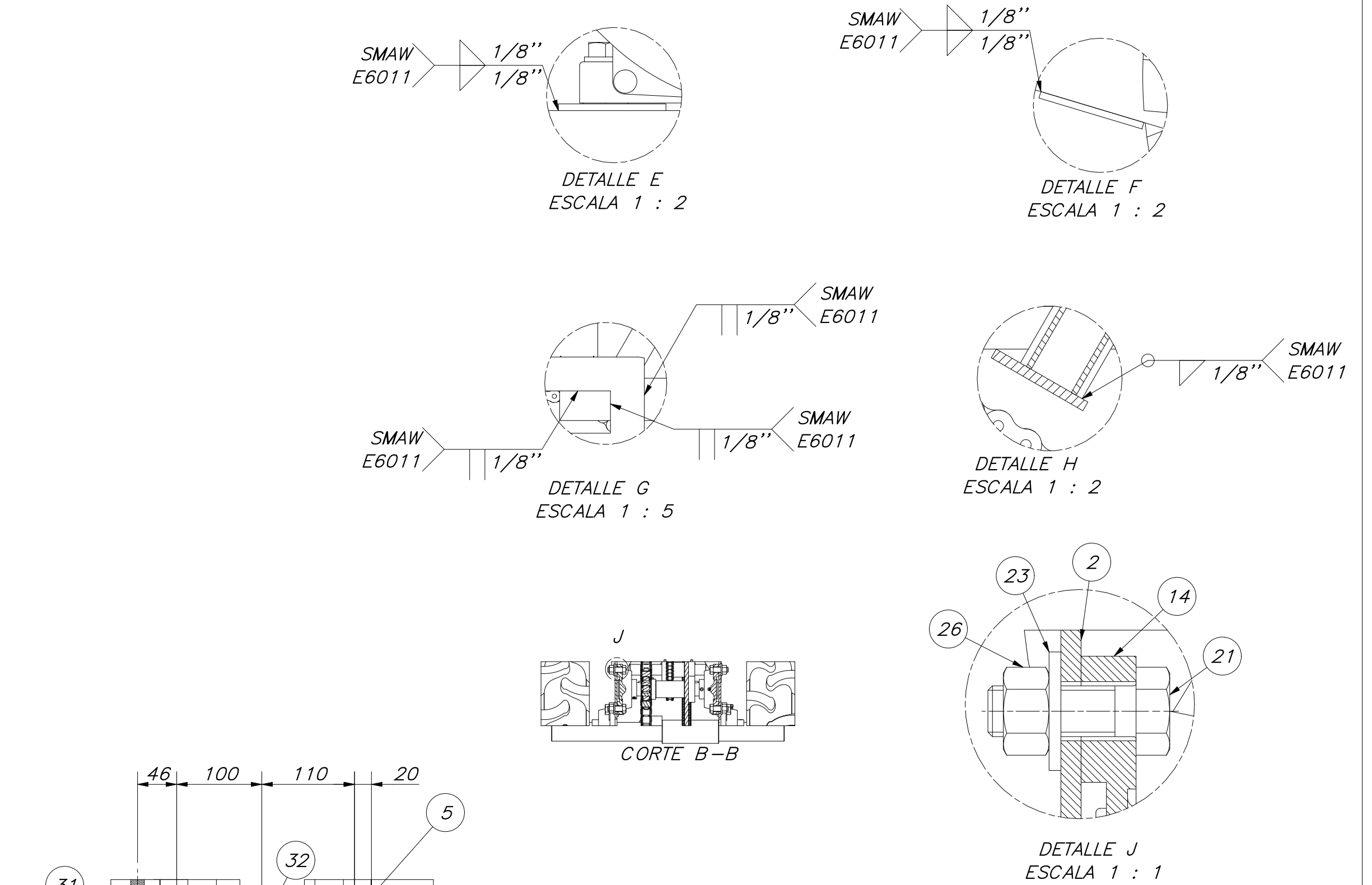
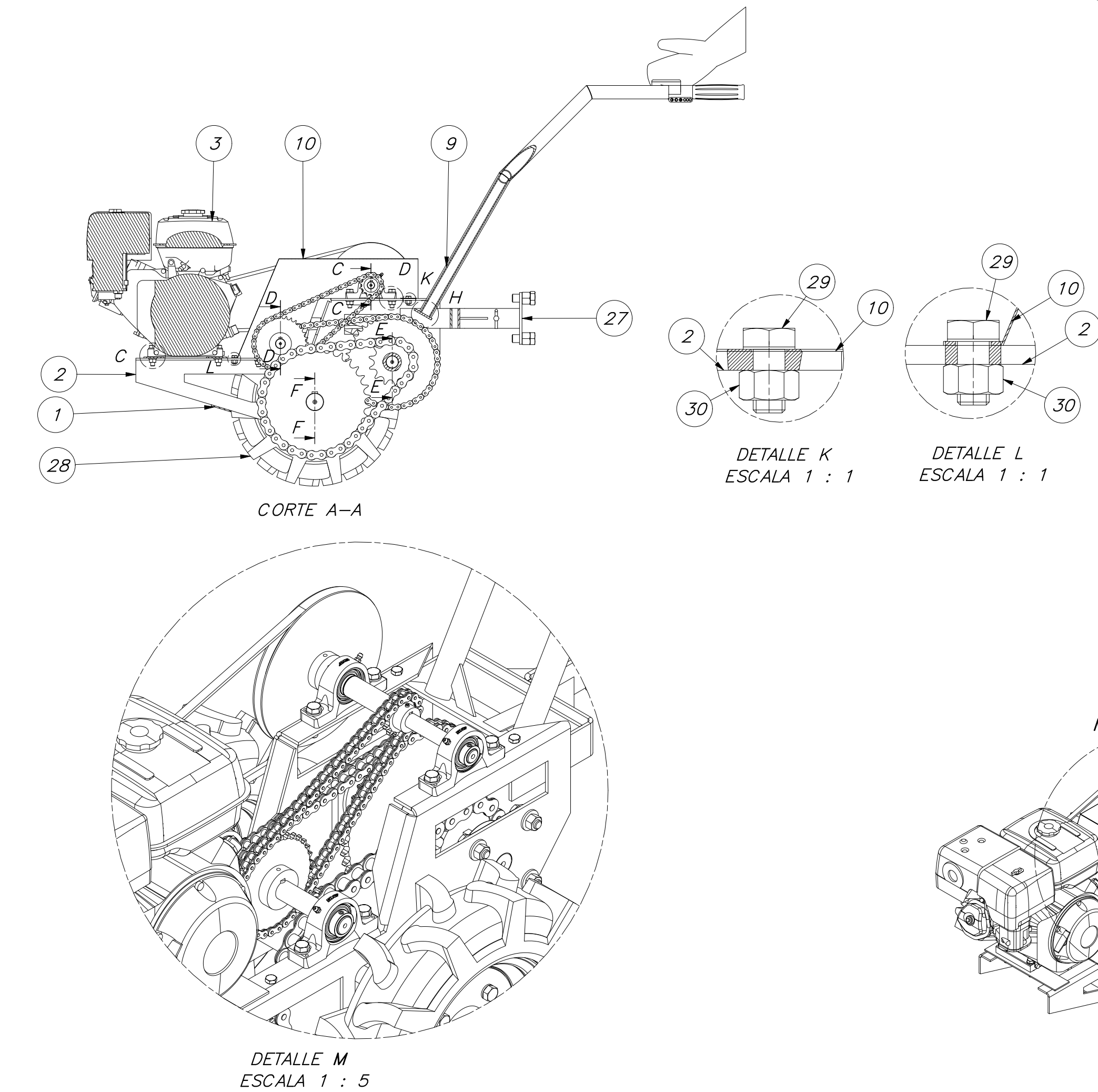
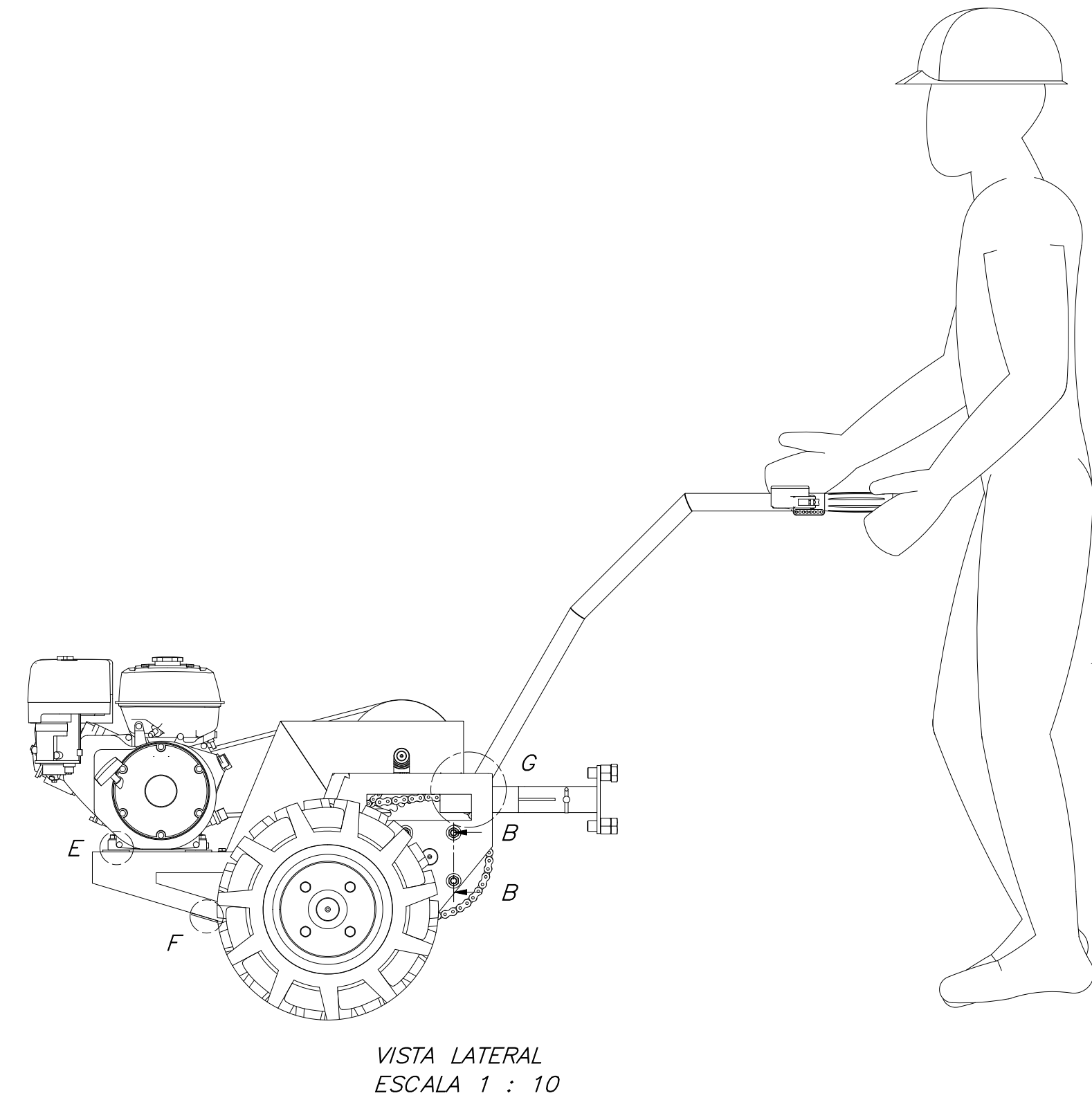
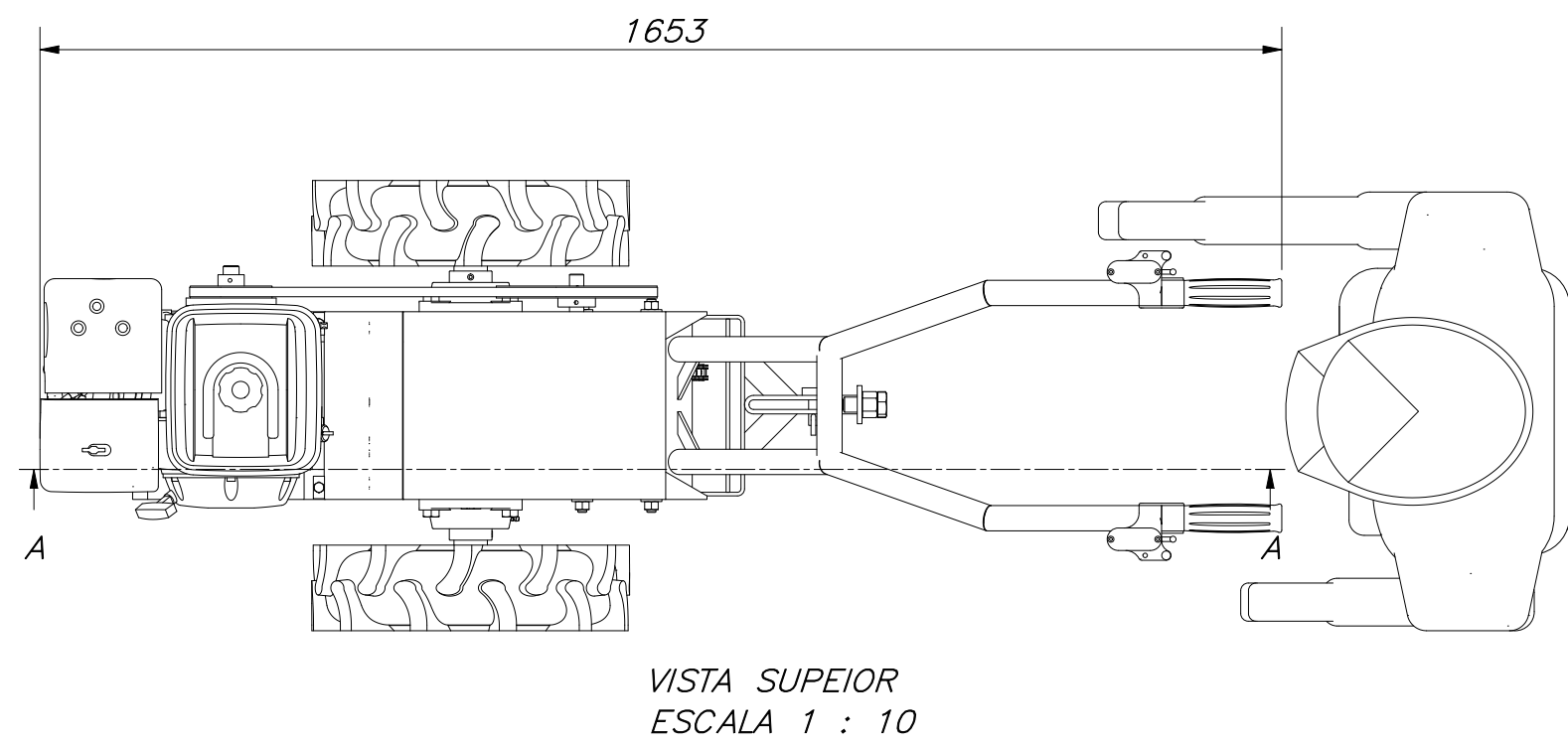
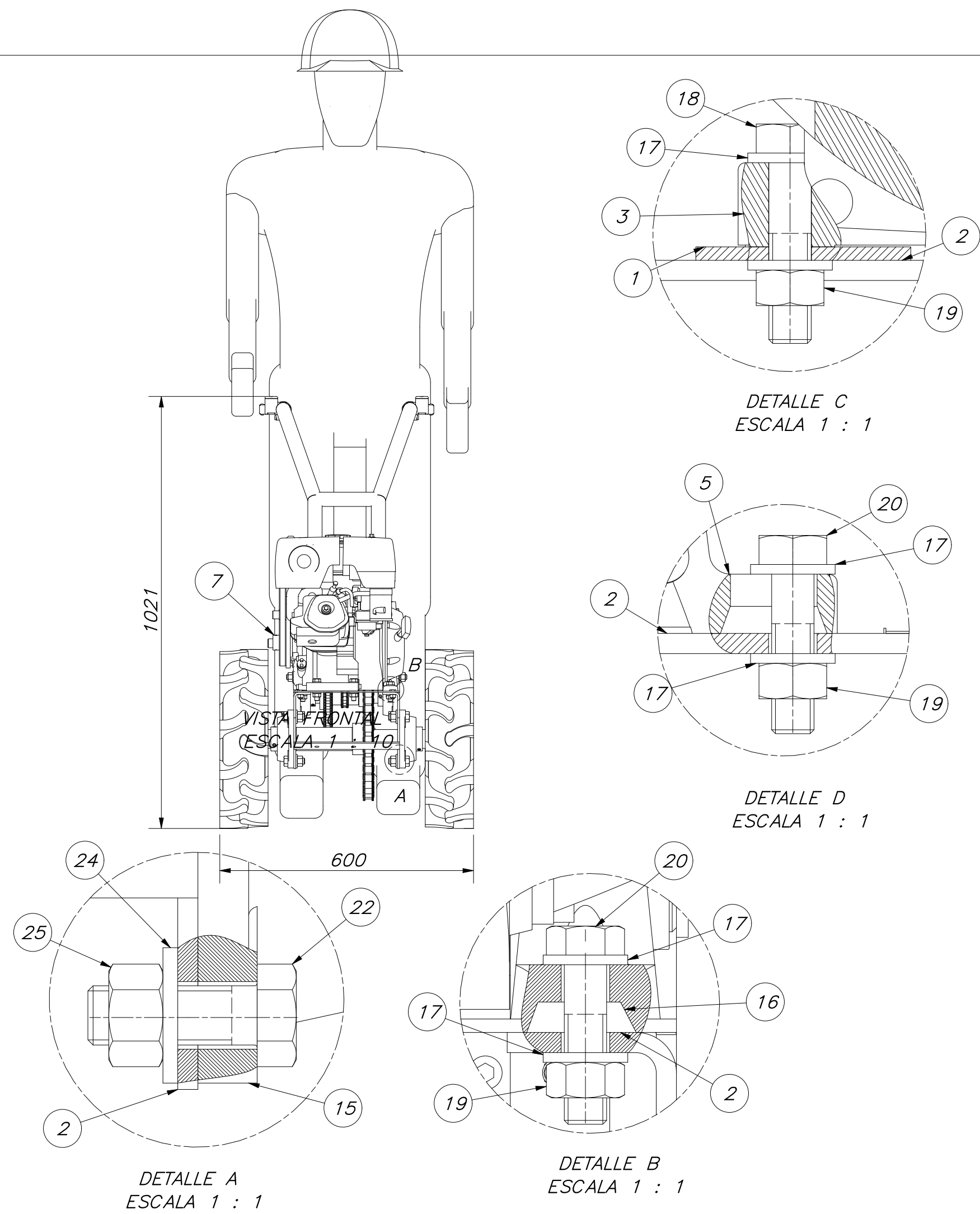
##### *Plan de mantenimiento del Multicultor*

| Mantenimiento del motor                             |                                                                                     |                                  |                  |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|------------------|
| Componente                                          | Tarea Específica                                                                    | Frecuencia                       | Responsable      |
| Aceite del motor                                    | Verificar el nivel de aceite con la varilla de medición.                            | Diario                           | Operador         |
|                                                     | Realizar el cambio total del lubricante con la recomendación del fabricante         | Primeras 20 horas (Asentamiento) | Técnico mecánico |
|                                                     | Utilizar SAE 10W-30 API – HONDA                                                     | Cada 50 horas (Uso continuo)     | Técnico mecánico |
| Filtro de aire                                      | Inspeccionar el elemento filtrante                                                  | Diario                           | Operador         |
|                                                     | Limpiar el cartucho con aire comprimido para eliminar el polvo acumulado.           | Cada 25 horas                    | Técnico mecánico |
| Sistema de combustible                              | Inspeccionar visualmente las mangueras para detectar grietas o fugas de gasolina.   | Diario                           | Operador         |
|                                                     | Limpiar el vaso de sedimentos del carburador                                        | Cada 100 horas                   | Técnico mecánico |
| Bujía de encendido                                  | Desmontar, limpiar la acumulación de carbón en los electrodos y calibrar la holgura | Cada 50 horas                    | Técnico mecánico |
|                                                     | Reemplazar la bujía por una nueva                                                   | Cada 200 horas                   | Técnico mecánico |
| Mantenimiento de transmisiones chumaceras y uniones |                                                                                     |                                  |                  |
| Transmisión por faja                                | Comprobar la tensión                                                                | Diario                           | Operador         |
|                                                     | Verificar la alineación entre las poleas motriz y conducida                         | Cada 20 horas                    | Operador         |
|                                                     | Verificar que no existan grietas o deshilachados en la banda.                       | Cada 20 horas                    | Operador         |

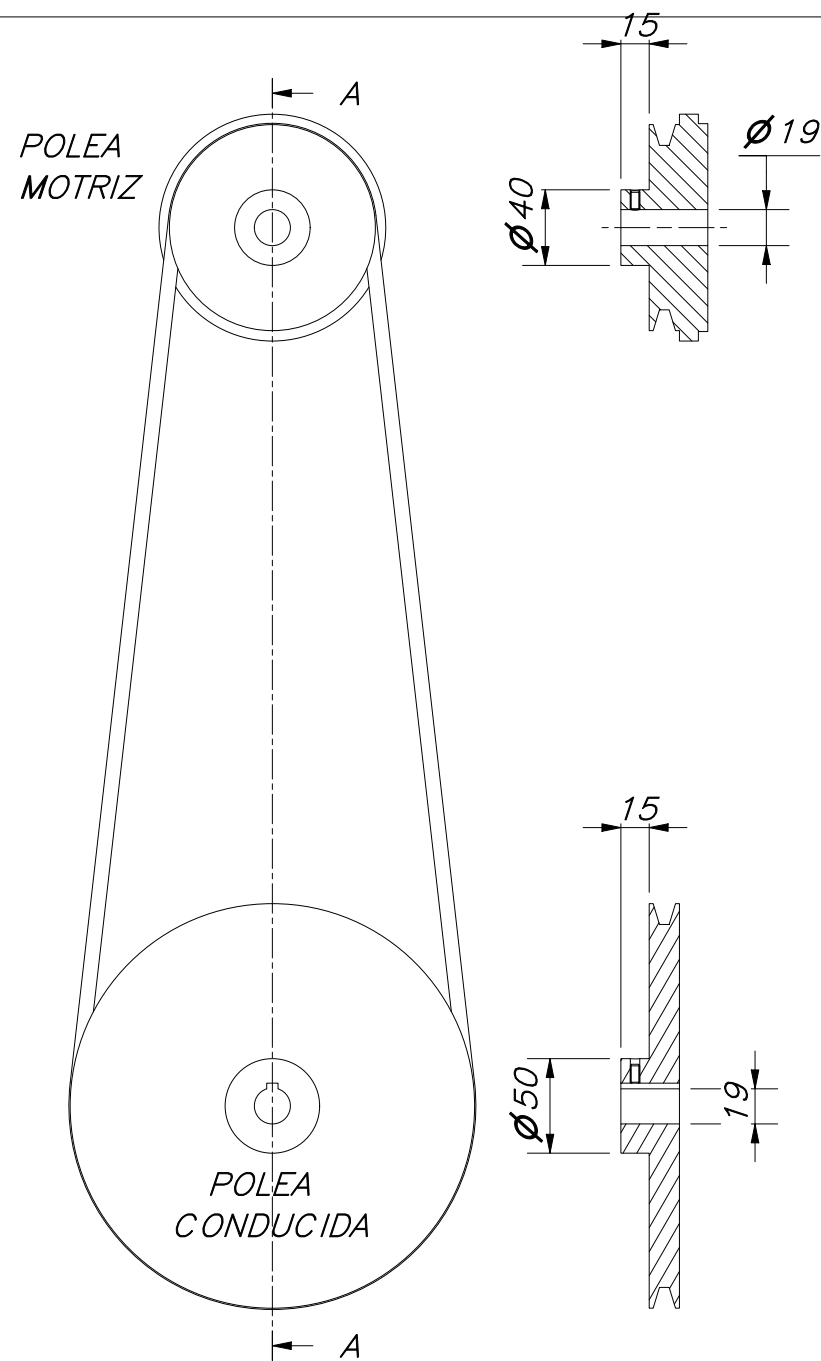
|                                     |                                                                                                              |               |                  |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|------------------|
| Transmisión por cadenas             | Limpiar residuos de tierra acumulados en los piñones.                                                        | Diario        | Operador         |
|                                     | Verificar la tensión de la cadena y el desgaste de los dientes de los piñones                                | Diario        | Operador         |
|                                     | Aplicar lubricante especial para cadenas                                                                     | Cada 10 horas | Operador         |
| Chumaceras/Rodamientos              | Inspeccionar visualmente que los sellos de las chumaceras no tengan roturas que permitan el ingreso de polvo | Mensual       | Operador         |
|                                     | Inyectar grasa base litio a través de los graseros                                                           | Cada 40 horas | Técnico mecánico |
|                                     | Escuchar ruidos extraños o detectar juego axial/radial en los ejes.                                          | Diario        | Operador         |
| Uniones empernadas                  | Asegurar que las contratueras o arandelas de presión mantengan su función.                                   | Semanal       | Operador         |
|                                     | Revisar y reapretar los pernos de sujeción de las chumaceras, el motor.                                      | Semanal       | Operador         |
| Uniones pasantes (Pines y Chavetas) | Inspeccionar visualmente el pin horizontal de acople de implementos                                          | Diario        | Operador         |
|                                     | Verificar que las chavetas no tengan deformaciones o desgaste por cizalladura.                               | Diario        | Operador         |
| Mantenimiento de los implementos    |                                                                                                              |               |                  |
| Arado, Rastra y Aporcador           | Limpiar y remover los bloques de tierra o barro adheridos a las superficies metálicas                        | Diario        | Operador         |
|                                     | Revisar el estado del filo y la presencia de deformaciones en las puntas o rejas                             | Diario        | Operador         |
| Sembradora y Tolvas                 | Vaciar y limpiar profundamente las tolvas de semilla y abono.                                                | Diario        | Operador         |
| Dosificadores de rodillo            | Verificar que los rodillos giren libremente, no presenten obstrucciones por granos partidos o abono grumoso. | Diario        | Operador         |

*Nota:* la tabla representa un plan de mantenimiento del Multicultor.

## PLANOS



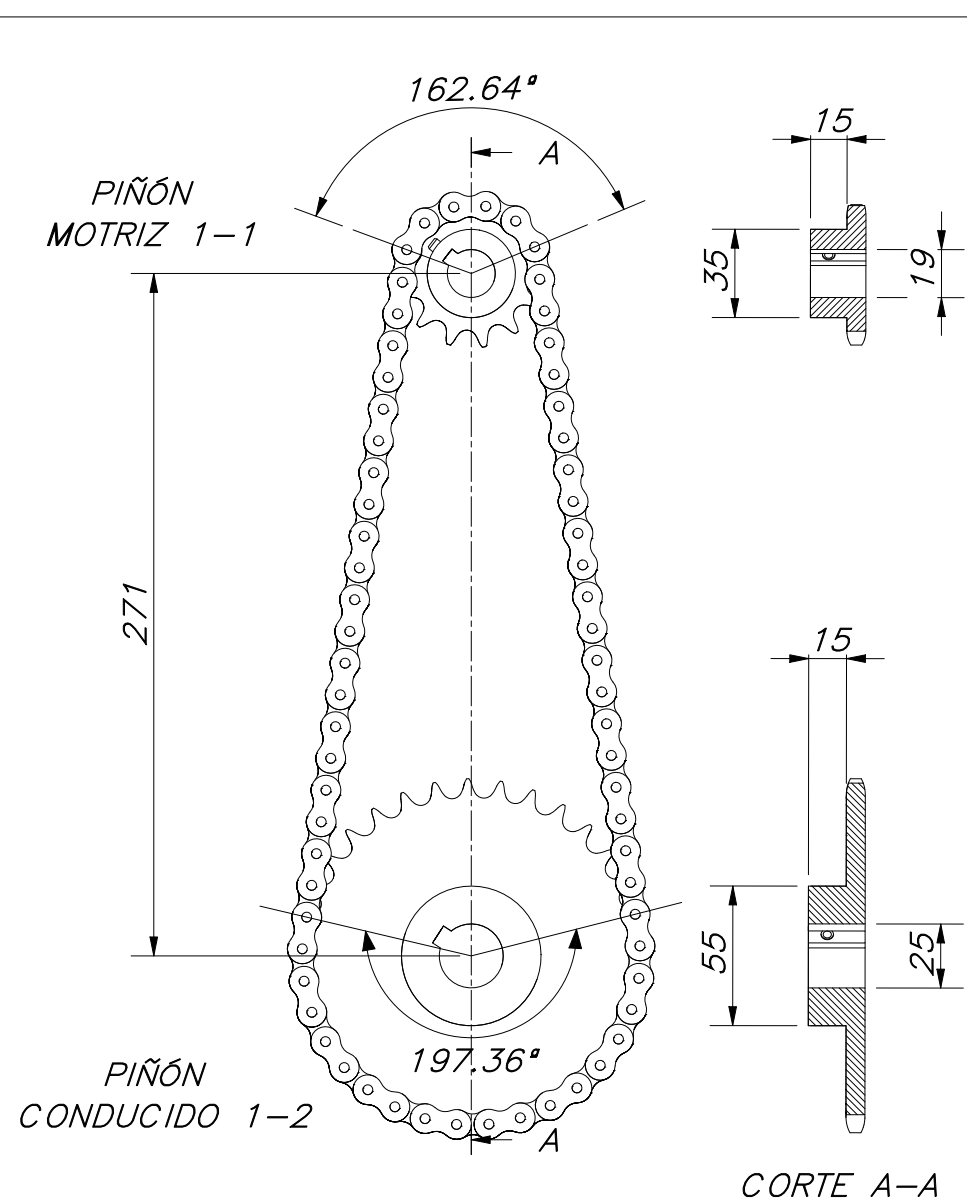
| LISTA DE COMPONENTES                               |                                                                        |                                   |                |                     |
|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------|---------------------|
| 41                                                 | 1                                                                      | CADENA ANSI 80                    | ---            | PLANO 3             |
| 40                                                 | 1                                                                      | CADENA ANSI 50                    | ---            | PLANO 3             |
| 39                                                 | 1                                                                      | CADENA ANSI 40                    | ---            | PLANO 2             |
| 36                                                 | 1                                                                      | DIN 6885 - A 14 x 9 x 51          | DIN 6885-1     | PLANO 3             |
| 35                                                 | 1                                                                      | DIN 6885 - A 10 x 8 x 41          | DIN 6885-1     | PLANO 3             |
| 34                                                 | 1                                                                      | DIN 6885 - A 10 x 8 x 32          | DIN 6885-1     | PLANO 3             |
| 33                                                 | 2                                                                      | DIN 6885 - A 8 x 7 x 25           | DIN 6885-1     | PLANO 2             |
| 32                                                 | 1                                                                      | DIN 6885 - A 6 x 6 x 22           | DIN 6885-1     | PLANO 2             |
| 31                                                 | 1                                                                      | DIN 6885 - A 6 x 6 x 29           | DIN 6885-1     | PLANO 2             |
| 30                                                 | 4                                                                      | ANSI B18.2.4.2M - M8x1.25         | B18.2.4.2M     | Acero, suave        |
| 29                                                 | 4                                                                      | AS 1110 - M8 x 16                 | AS 1110        | Acero, suave        |
| 28                                                 | 2                                                                      | RUEDA DE TRACCIÓN 4.00-8 TS-01-TT | ---            | PLANO 9             |
| 27                                                 | 1                                                                      | PORTA HERRAMIENTAS                | Acero ASTM A36 | PLANO 8             |
| 26                                                 | 8                                                                      | AS 1112 - M12 Tipo 5              | AS 1112        | Acero, suave        |
| 25                                                 | 8                                                                      | AS 1112 - M14 Tipo 10             | AS 1112        | Acero, suave        |
| 24                                                 | 8                                                                      | ANSI B18.2.2M - 16 N              | B18.2.2M       | Acero, suave        |
| 23                                                 | 8                                                                      | ANSI B18.2.2M - 14 N              | B18.2.2M       | Acero, suave        |
| 22                                                 | 8                                                                      | ANSI B18.2.3.5M - M14 x 2 x 40    | B18.2.3.5M     | Acero, suave        |
| 21                                                 | 8                                                                      | ANSI B18.2.3.5M - M12 x 1.75 x 35 | B18.2.3.5M     | Acero, suave        |
| 20                                                 | 8                                                                      | ANSI B18.2.3.5M - M10 x 1.5 x 40  | B18.2.3.5M     | Acero, suave        |
| 19                                                 | 12                                                                     | AS 1112 - M10 Tipo 5              | AS 1112        | Acero, suave        |
| 18                                                 | 4                                                                      | ANSI B18.2.3.5M - M10 x 1.5 x 45  | B18.2.3.5M     | Acero, suave        |
| 17                                                 | 24                                                                     | ANSI B18.2.2M - 10 N              | B18.2.2M       | Acero, suave        |
| 16                                                 | 2                                                                      | CHUMACERA DE PIE, SKF_SY 1.       | ---            | DIÁMETROS 1 in      |
| 15                                                 | 2                                                                      | CHUMACERA DE PARED, SKF_FY 1.3/4  | ---            | DIÁMETROS 1 3/4 in  |
| 14                                                 | 2                                                                      | CHUMACERA DE PARED, SKF_FY 1.1/4  | ---            | DIÁMETROS 1 1/4 in  |
| 13                                                 | 1                                                                      | EJE INFERIOR                      | ---            | PLANO 6             |
| 12                                                 | 1                                                                      | EJE RUEDAS                        | ---            | PLANO 7             |
| 11                                                 | 1                                                                      | EJE SUPERIOR                      | ---            | PLANO 4             |
| 10                                                 | 1                                                                      | CUBIERTA DEL MULTICULTOR          | Acero ASTM A36 | PLANO 6             |
| 9                                                  | 1                                                                      | MANUBRIO                          | ASTM A500      | PLANO 7             |
| 8                                                  | 1                                                                      | POLEA CONDUCCION                  | Aluminio       | PLANO 2             |
| 7                                                  | 1                                                                      | POLEA EMBRAGUE CENTRIFUGO         | Aluminio       | PLANO 2             |
| 6                                                  | 1                                                                      | CORREA SPZ 1420                   | ---            | PLANO 2             |
| 5                                                  | 2                                                                      | CHUMACERA DE PIE, SKF_SY 3/4      | ---            | DIÁMETROS 3/4 in    |
| 4                                                  | 1                                                                      | EJE INTERMEDIO                    | ---            | PLANO 5             |
| 3                                                  | 1                                                                      | MOTOR GP160H-QH1 5.5HP            | ---            | HONDA               |
| 2                                                  | 2                                                                      | PLACA LATERAL (PLANCHAS)          | Acero ASTM A36 | PLANO 5             |
| 1                                                  | 3                                                                      | TRAVESANO SOPORTE DEL MOTOR       | Acero ASTM A36 | PLANO 5             |
| POS.                                               | CANT.                                                                  | DESCRIPCIÓN                       | NORMA          | MATERIAL            |
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO |                                                                        |                                   |                |                     |
| ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA         |                                                                        |                                   |                |                     |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN                               | MULTICULTOR                                                            |                                   |                | ESCALA              |
| HOJA: 1                                            | AUTORES: BACH. SUNI PACCO ELVIS RENE<br>BACH. LOAIZA TAÍPE JUAN CARLOS |                                   |                | FECHA:<br>1/10/2025 |
| REVISADO POR: ING. ROOSBEL DENNIS MAMANI CASTILLO  |                                                                        |                                   |                | FORMATO:<br>A1      |



MOTOR-EJE SUPERIOR ( 1 : 4 ) CORTE A-A

TRASMISIÓN POR BANDA O CORREA

- RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 1: 2/1
- DIÁMETRO POLEA MENOR: 105 mm
- DIÁMETRO POLEA MAYOR: 210 mm

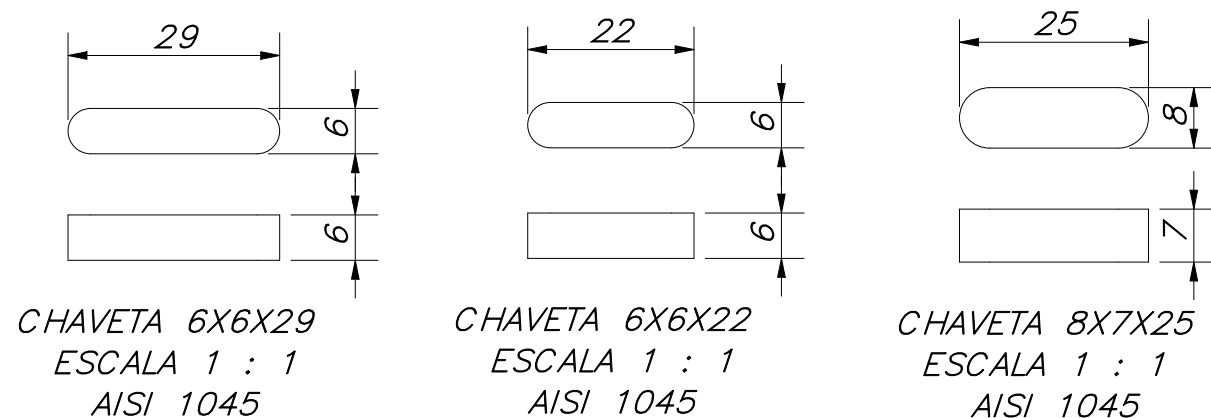


EJE SUPERIOR-EJE INTERMEDIO ( 1 : 3 )  
TRASMISIÓN POR CADENA

- ANSI 40
- RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 2: 2.5/1
- NUMERO DE DIENTES DEL PIÑÓN MENOR: 13
- NUMERO DE DIENTES DEL PIÑÓN MAYOR: 33

NOTA:

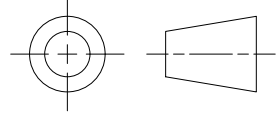
- UNIDADES: mm, CASO QUE DIGA LO CONTRARIO



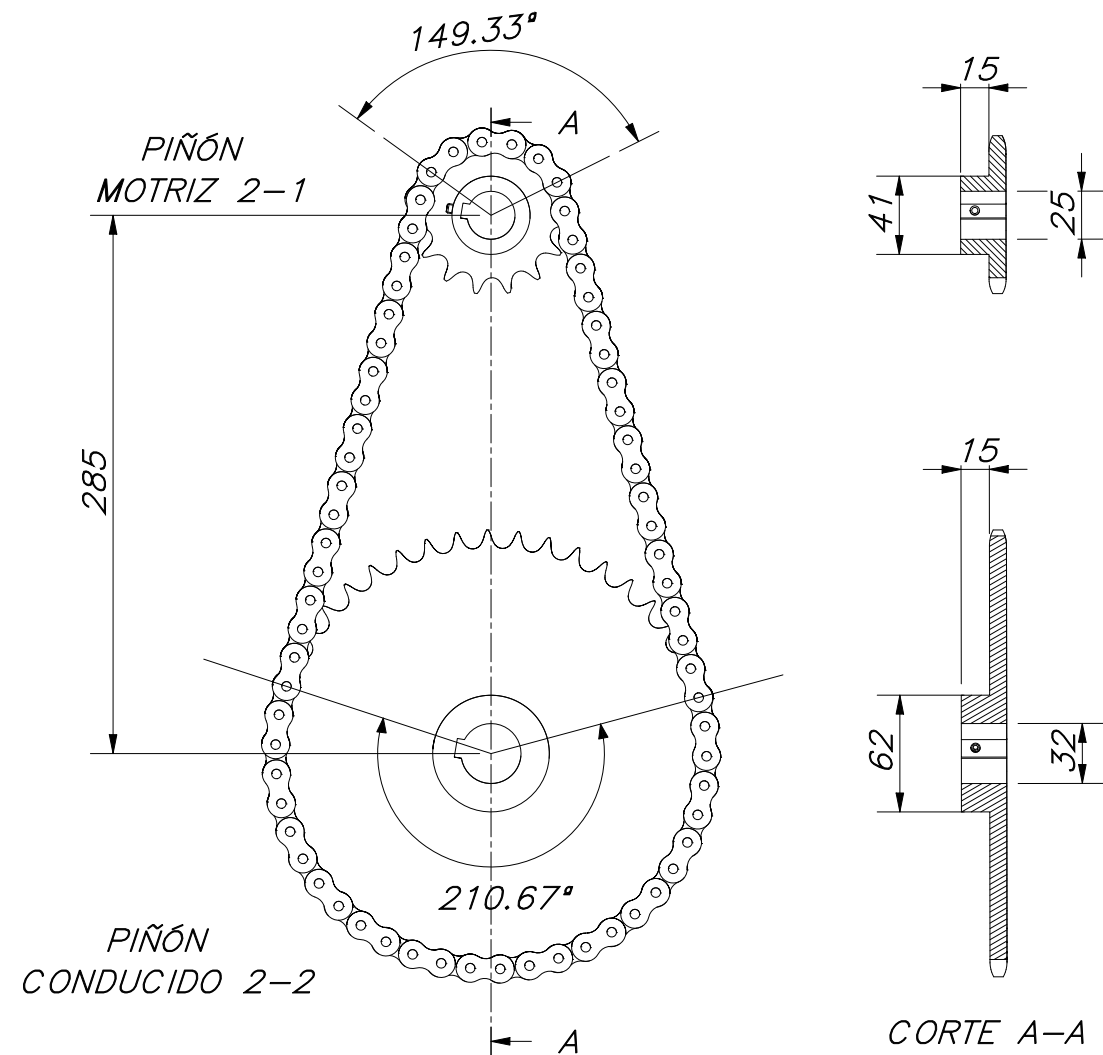
CHAVETA 6X6X29  
ESCALA 1 : 1  
AISI 1045

CHAVETA 6X6X22  
ESCALA 1 : 1  
AISI 1045

CHAVETA 8X7X25  
ESCALA 1 : 1  
AISI 1045

| ACABADO SUPERFICIAL                                                                                           | TOLERANCIA GENERAL                                                     | MATERIAL            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA              |                                                                        |                     |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN<br> | SISTEMA DE TRANSMISIÓN                                                 | ESCALA<br>1 : 3     |
| HOJA: 2                                                                                                       | AUTORES: BACH. SUNI PACCO ELVIS RENE<br>BACH. LOAIZA TAIPE JUAN CARLOS | FECHA:<br>9/02/2026 |
| REVISADO POR: ING. ROOSBEL DENNIS MAMANI CASTILLO                                                             | FORMATO:<br>A3                                                         |                     |

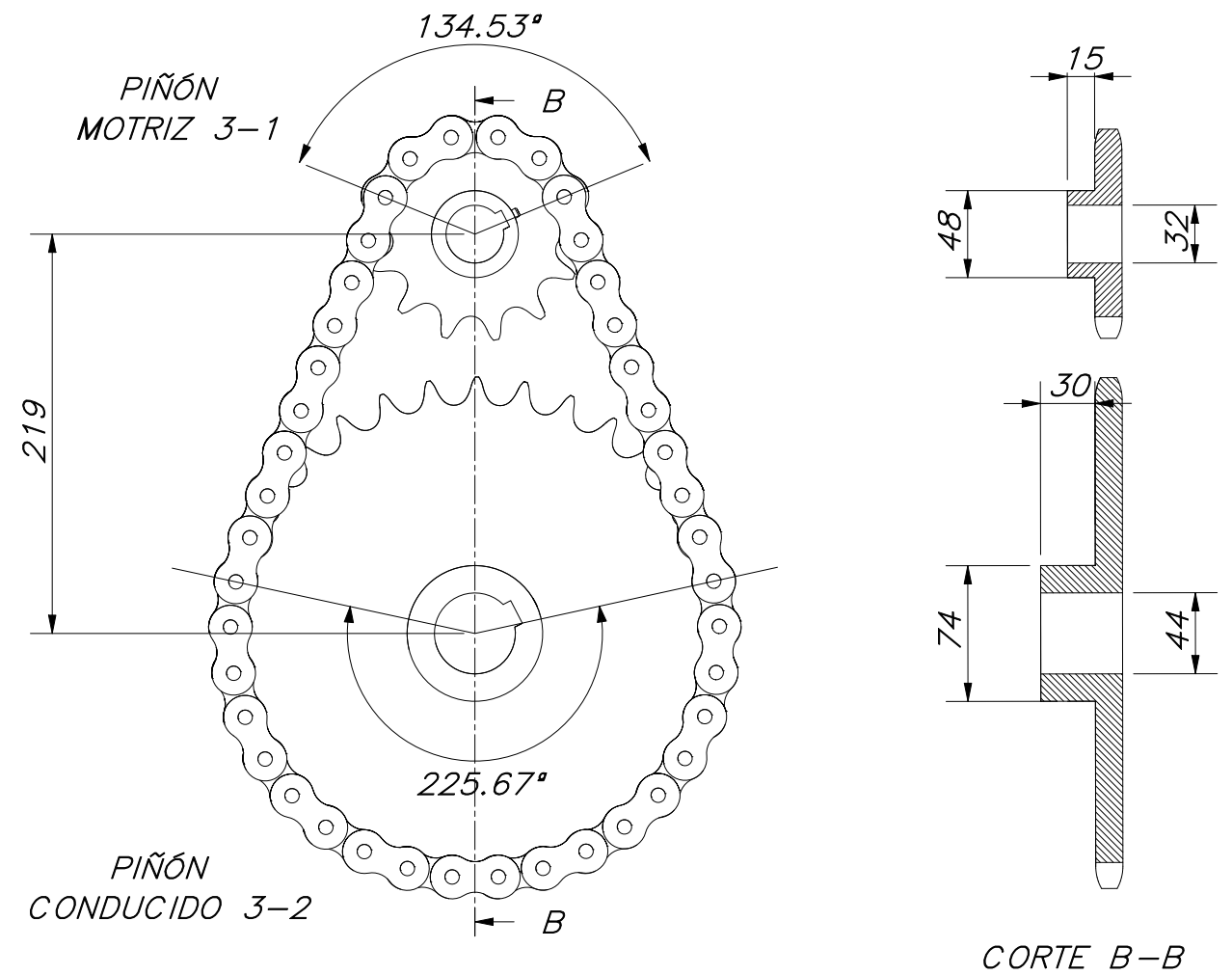
| COTA NOMINAL | COTA MÁXIMA | COTA MÍNIMA |
|--------------|-------------|-------------|
|--------------|-------------|-------------|



EJE INTERMEDIO-EJE INFERIOR ( 1 : 4 )

TRANSMISIÓN POR CADENA

- ANSI 50
- RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 3: 3/1
- NUMERO DE DIENTES DEL PIÑÓN MENOR: 15
- NUMERO DE DIENTES DEL PIÑÓN MAYOR: 45



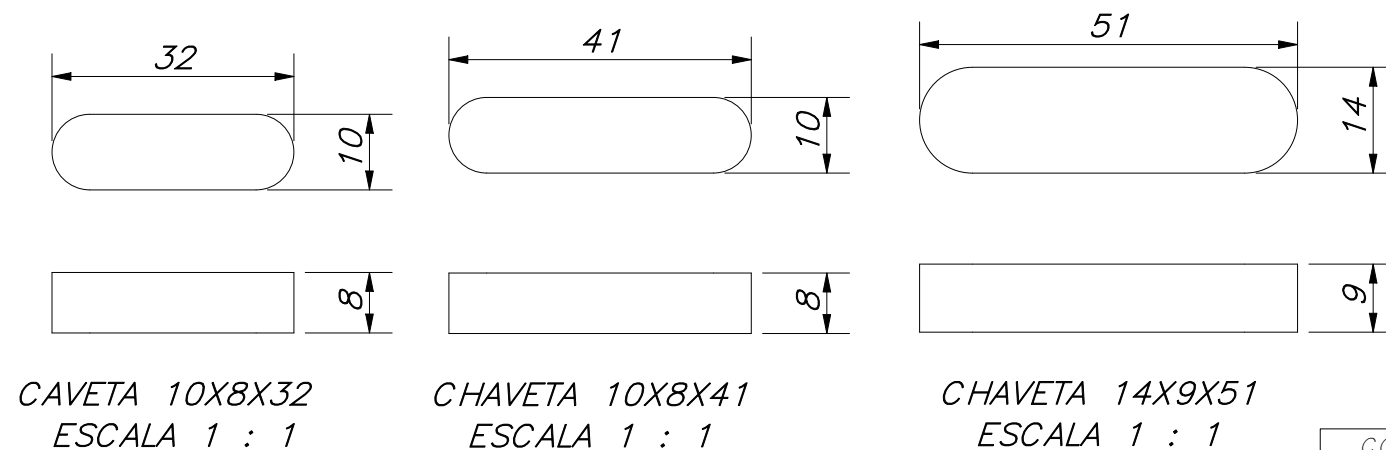
EJE INFERIOR-EJE RUEDA ( 1 : 4 )

TRANSMISIÓN POR CADENA

- ANSI 80
- RELACIÓN DE TRANSMISIÓN 4: 3/1
- NUMERO DE DIENTES DEL PIÑÓN MENOR: 11
- NUMERO DE DIENTES DEL PIÑÓN MAYOR: 33

NOTA:

- UNIDADES: mm, CASO QUE DIGA LO CONTRARIO



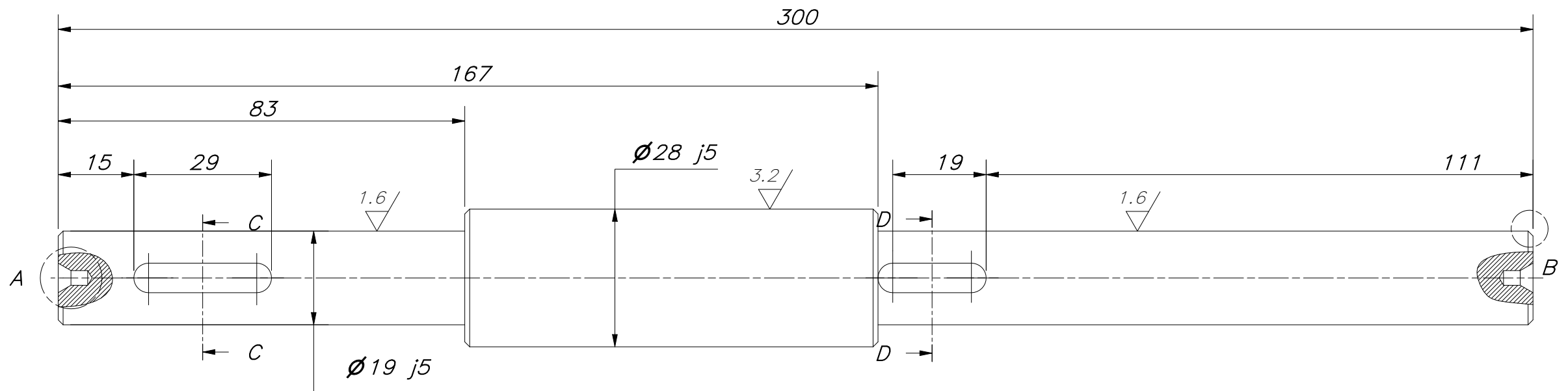
CAVETA 10X8X32  
ESCALA 1 : 1

CHAVETA 10X8X41  
ESCALA 1 : 1

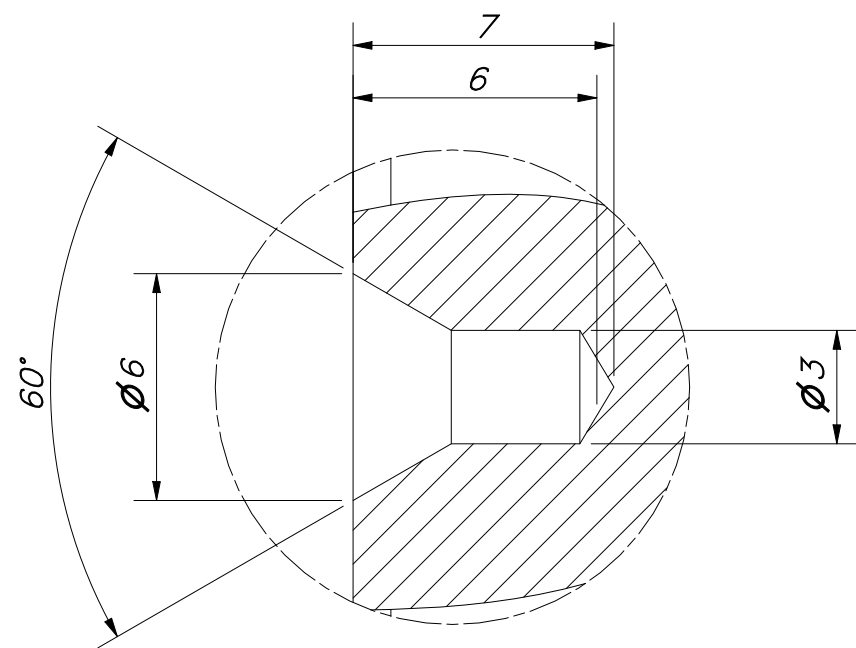
CHAVETA 14X9X51  
ESCALA 1 : 1

| COTA NOMINAL | COTA MÁXIMA | COTA MÍNIMA |
|--------------|-------------|-------------|
|--------------|-------------|-------------|

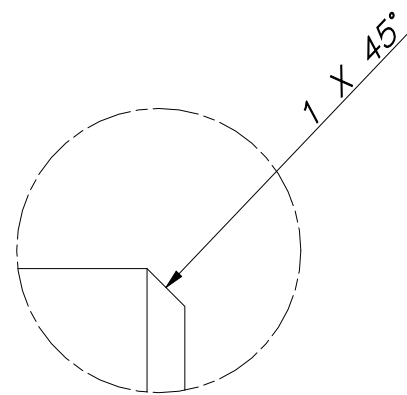
| ACABADO SUPERFICIAL                                                                              | TOLERANCIA GENERAL                                                    | MATERIAL          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA |                                                                       |                   |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN                                                                             | SISTEMA DE TRANSMISIÓN                                                | ESCALA            |
|                                                                                                  |                                                                       | 1 : 4             |
| HOJA: 3                                                                                          | AUTORES: BACH. SUNI PACCO ELVIS RENE<br>BACH. LOAIZA TAPE JUAN CARLOS | FECHA: 10/02/2026 |
| REVISADO POR: ING. ROOSBEL DENNIS MAMANI CASTILLO                                                |                                                                       | FORMATO: A3       |



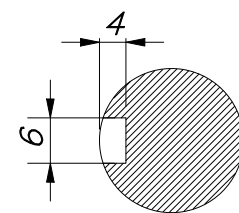
EJE SUPERIOR DE: 3/4 in



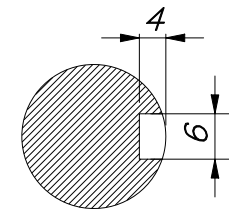
DETALLE A  
ESCALA 5 : 1



DETALLE B  
ESCALA 5 : 1



CORTE C-C



CORTE D-D

NOTA:

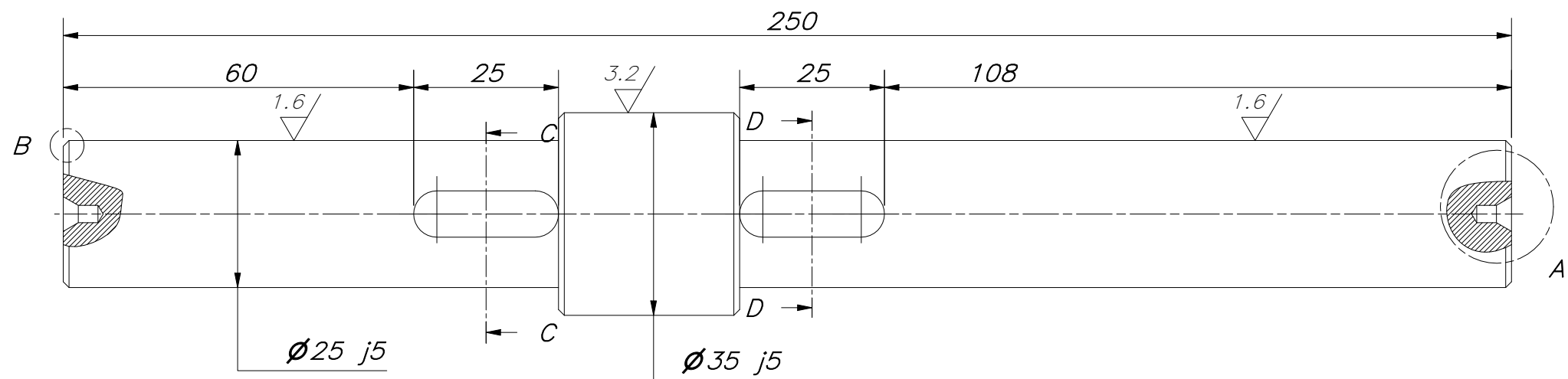
- UNIDADES: mm, CASO QUE DIGA LO CONTRARIO

|                                                                                                  |                                                                        |                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| ACABADO SUPERFICIAL<br>3.2 / 1.6                                                                 | TOLERANCIA GENERAL                                                     | MATERIAL<br>AISI 1045 |
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA |                                                                        |                       |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN<br>EJE SUPERIOR                                                             | ESCALA<br>1 : 1                                                        |                       |
| HOJA: 4                                                                                          | AUTORES: BACH. SUNI PACCO ELVIS RENE<br>BACH. LOAIZA TAIPE JUAN CARLOS | FECHA:<br>3/10/2025   |
| REVISADO POR: ING. ROOSBEL DENNIS MAMANI CASTILLO                                                |                                                                        | FORMATO:<br>A3        |

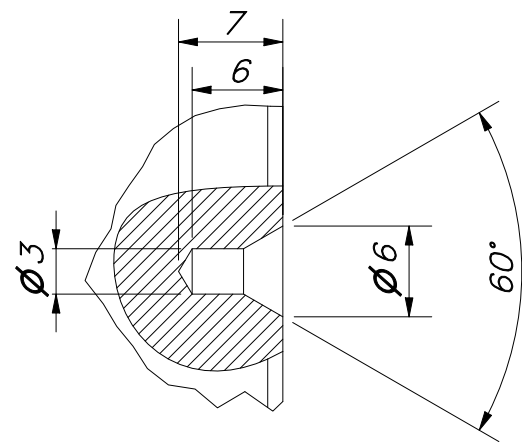
TODOS LOS EJES CHAFLANES DE 1X45° AMBOS LADOS

| TOLERANCIAS DIMENSIONALES<br>SEGÚN DIN 7168 |                    |                  |                   |                     |                      |                       |                        |
|---------------------------------------------|--------------------|------------------|-------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| GRADO DE EXACTITUD                          | Más de 0,5 hasta 3 | Más de 3 hasta 6 | Más de 6 hasta 30 | Más de 30 hasta 120 | Más de 120 hasta 400 | Más de 400 hasta 1000 | Más de 1000 hasta 2000 |
| MEDIO                                       | ±0,1               | ±0,1             | ±0,2              | ±0,3                | ±0,5                 | ±0,8                  | ±1,2                   |

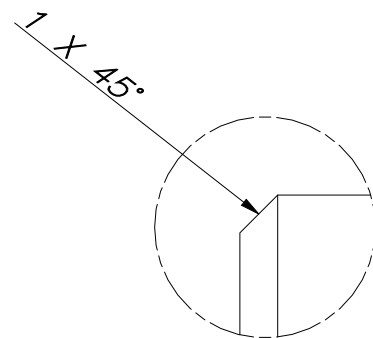
|              |             |             |
|--------------|-------------|-------------|
| 28 j5        | +5/-4       | 28.05/17.96 |
| 19 j5        | +5/-4       | 19.05/18.96 |
| COTA NOMINAL | COTA MÁXIMA | COTA MÍNIMA |



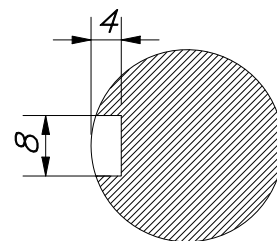
EJE INTERMEDIO DE: 1 in



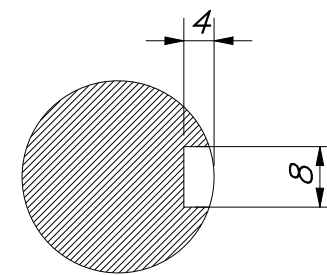
DETALLE A  
ESCALA 2 : 1



DETALLE B  
ESCALA 5: 1



CORTE C-C



CORTE D-D

NOTA:

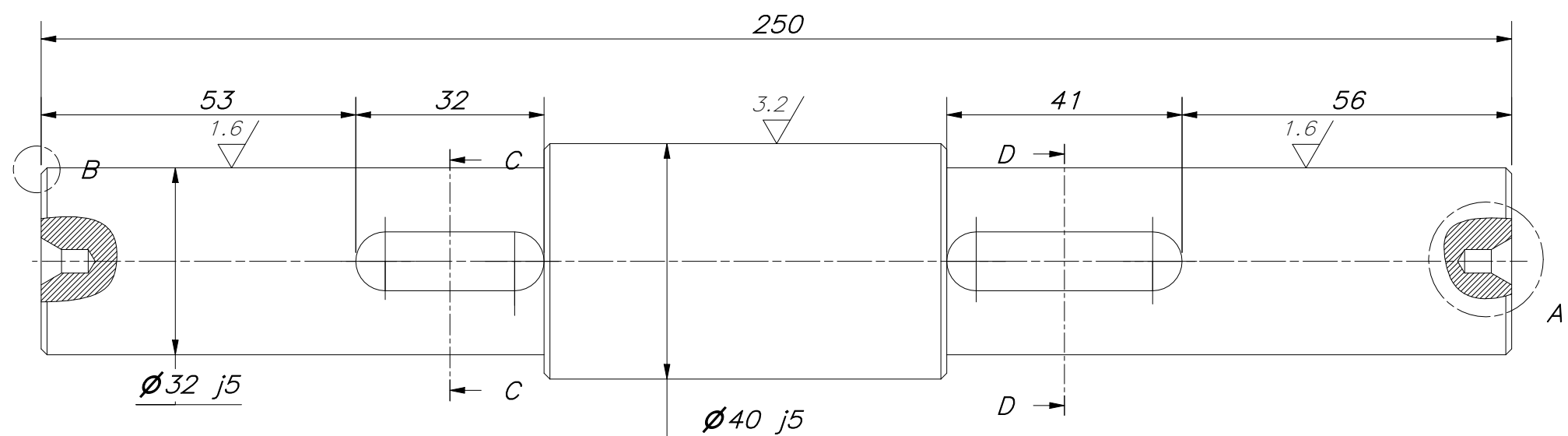
- UNIDADES: mm, CASO QUE DIGA LO CONTRARIO

TODOS LOS EJES CHAFLANES DE 1X45° AMBOS LADOS

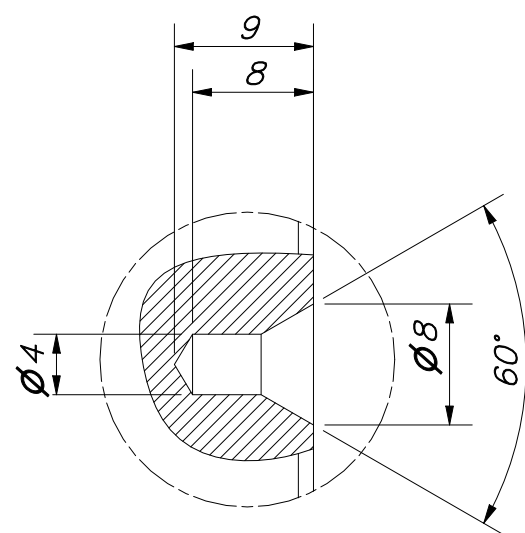
| TOLERANCIAS DIMENSIONALES<br>SEGÚN DIN 7168 |                             |                           |                            |                              |                               |                                |                                 |
|---------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| GRADO DE<br>EXACTITUD                       | Más de<br>0,5<br>hasta<br>3 | Más de<br>3<br>hasta<br>6 | Más de<br>6<br>hasta<br>30 | Más de<br>30<br>hasta<br>120 | Más de<br>120<br>hasta<br>400 | Más de<br>400<br>hasta<br>1000 | Más de<br>1000<br>hasta<br>2000 |
| MEDIO                                       | ±0,1                        | ±0,1                      | ±0,2                       | ±0,3                         | ±0,5                          | ±0,8                           | ±1,2                            |

|                 |                |                |
|-----------------|----------------|----------------|
| 35 j5           | +6/-5          | 35.05/34.95    |
| 25 j5           | +5/-4          | 25.05/24.96    |
| COTA<br>NOMINAL | COTA<br>MÁXIMA | COTA<br>MÍNIMA |

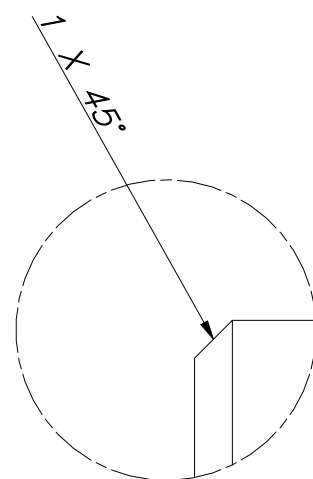
| ACABADO SUPERFICIAL                                                                              | TOLERANCIA GENERAL                                                     | MATERIAL            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 3.2/<br>1.6/                                                                                     |                                                                        | AI SI 1045          |
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA |                                                                        |                     |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN                                                                             | EJE INTERMEDIO                                                         | ESCALA              |
|                                                                                                  |                                                                        | 1 : 1               |
| HOJA: 5                                                                                          | AUTORES: BACH. SUNI PACCO ELVIS RENE<br>BACH. LOAIZA TAIPE JUAN CARLOS | FECHA:<br>3/10/2025 |
| REVISADO POR: ING. ROOSBEL DENNIS MAMANI CASTILLO                                                |                                                                        | FORMATO:<br>A3      |



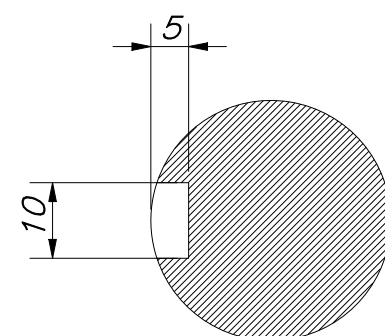
EJE INFERIOR DE: 1 1/4 in



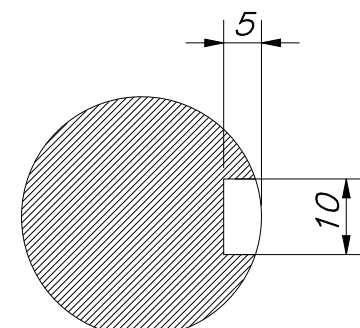
DETALLE A  
ESCALA 2 : 1



DETALLE B  
ESCALA 5 : 1



CORTE C-C



CORTE D-D

NOTA:

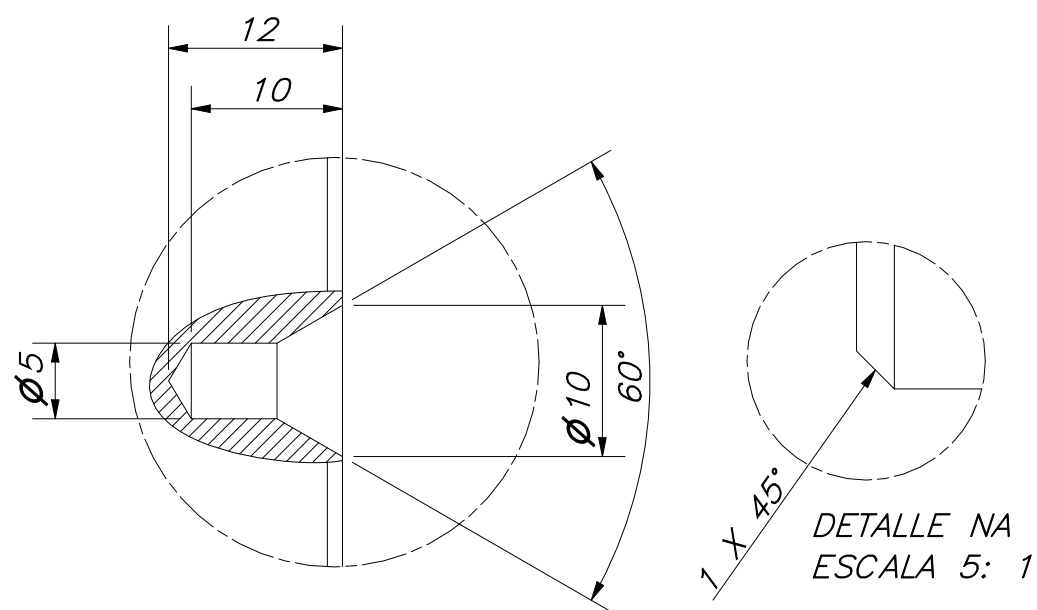
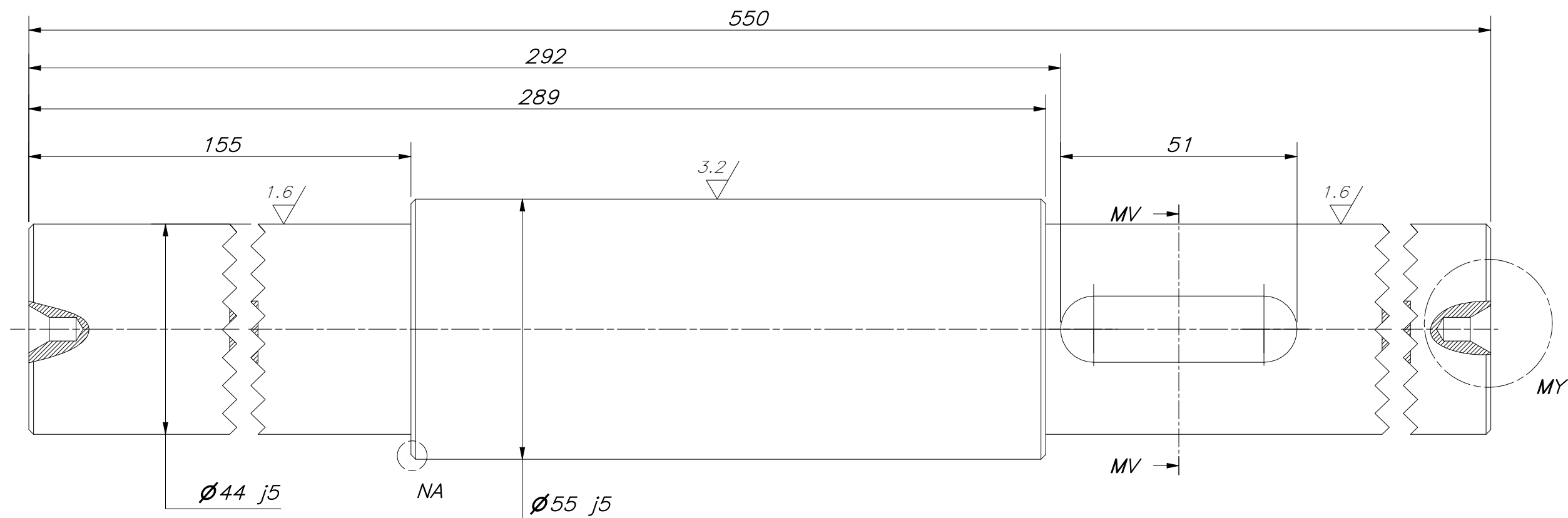
- UNIDADES: mm, CASO QUE DIGA LO CONTRARIO

TODOS LOS EJES CHAFLANES DE 1X45° AMBOS LADOS

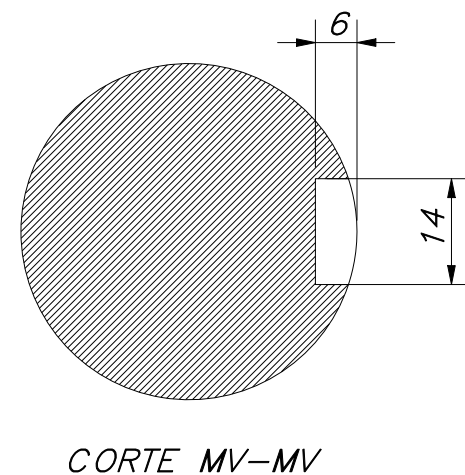
| TOLERANCIAS DIMENSIONALES<br>SEGÚN DIN 7168 |                             |                           |                            |                              |                               |                                |                                 |
|---------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| GRADO DE<br>EXACTITUD                       | Más de<br>0,5<br>hasta<br>3 | Más de<br>3<br>hasta<br>6 | Más de<br>6<br>hasta<br>30 | Más de<br>30<br>hasta<br>120 | Más de<br>120<br>hasta<br>400 | Más de<br>400<br>hasta<br>1000 | Más de<br>1000<br>hasta<br>2000 |
| MEDIO                                       | ±0,1                        | ±0,1                      | ±0,2                       | ±0,3                         | ±0,5                          | ±0,8                           | ±1,2                            |

|                 |                |                |
|-----------------|----------------|----------------|
| 40 j5           | +6/-5          | 40.05/39.95    |
| 32 j5           | +6/-5          | 32.06/31.95    |
| COTA<br>NOMINAL | COTA<br>MÁXIMA | COTA<br>MÍNIMA |

| ACABADO SUPERFICIAL<br>3.2/ 1.6                                                                  | TOLERANCIA GENERAL                                                     | MATERIAL<br>AISI 1045 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA |                                                                        |                       |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN                                                                             | EJE INFERIOR                                                           |                       |
|                                                                                                  | 1 : 1                                                                  |                       |
| HOJA: 6                                                                                          | AUTORES: BACH. SUNI PACCO ELVIS RENE<br>BACH. LOAIZA TAIPE JUAN CARLOS | FECHA:<br>3/10/2025   |
| REVISADO POR: ING. ROOSBEL DENNIS MAMANI CASTILLO                                                |                                                                        | FORMATO:<br>A3        |



EJE RUEDAS DE: 1 1/4 in



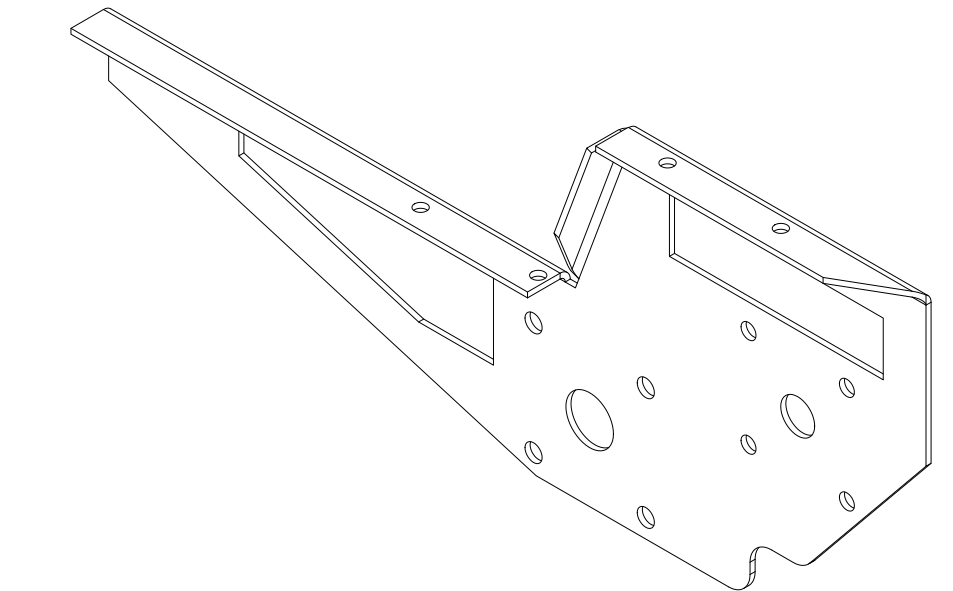
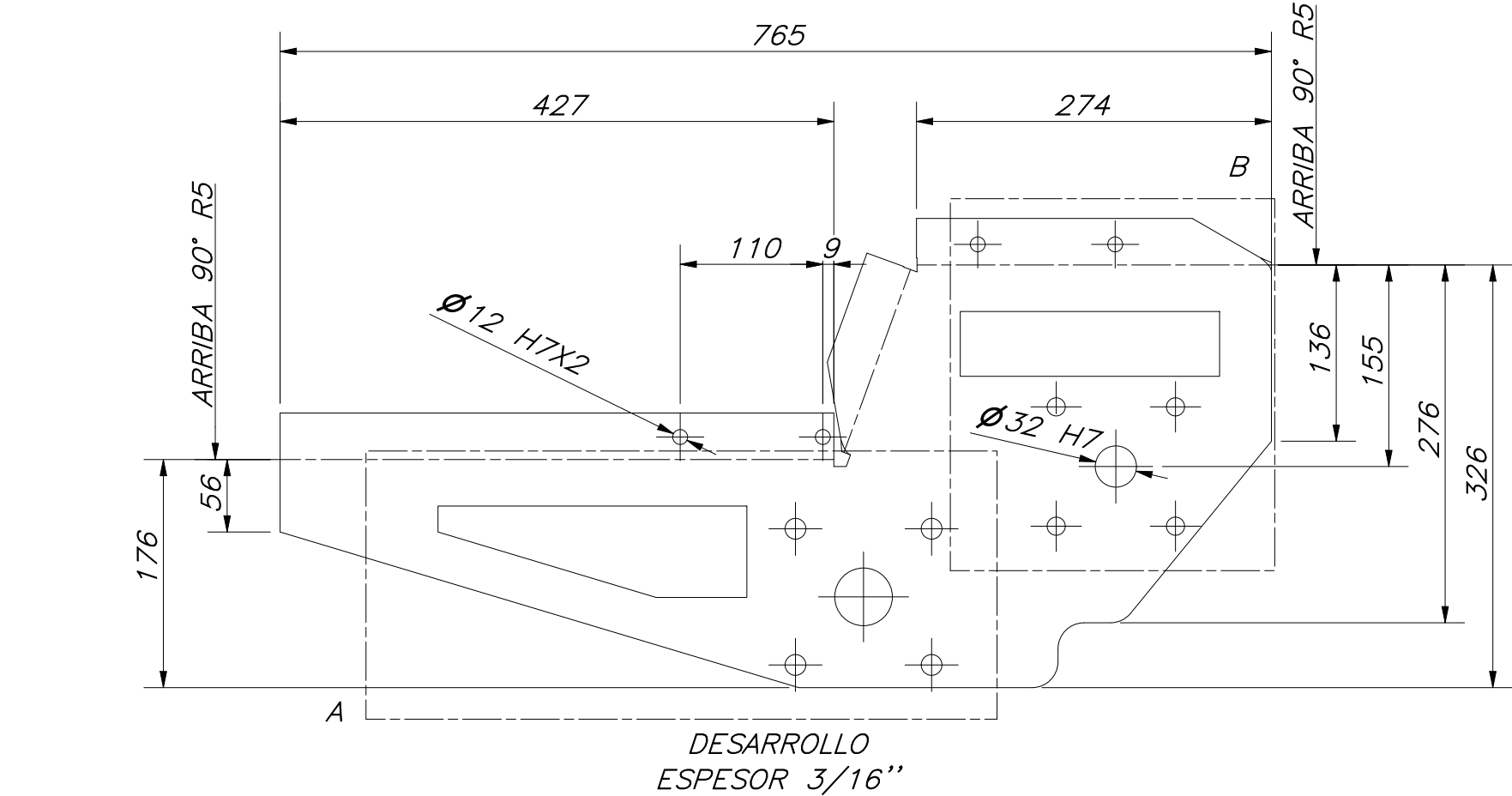
NOTA:  
• UNIDADES: mm, CASO QUE DIGA LO CONTRARIO

|                                                                                                  |                                                                        |                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| ACABADO SUPERFICIAL<br>3.2 / 1.6                                                                 | TOLERANCIA GENERAL                                                     | MATERIAL<br>AISI 1045 |
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA |                                                                        |                       |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN<br>First Angle Projection                                                   | EJE RUEDAS                                                             | ESCALA<br>1 : 1       |
| HOJA: 7                                                                                          | AUTORES: BACH. SUNI PACCO ELVIS RENE<br>BACH. LOAIZA TAIPE JUAN CARLOS | FECHA:<br>1/10/2025   |
| REVISADO POR: ING. ROOSBEL DENNIS MAMANI CASTILLO                                                |                                                                        | FORMATO:<br>A3        |

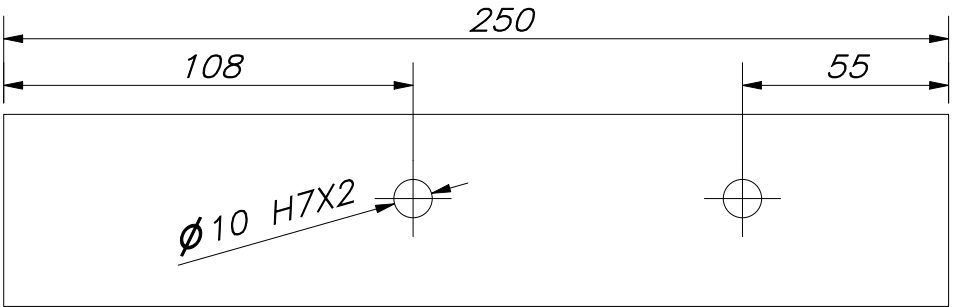
TODOS LOS EJES CHAFLANES DE 1X45° AMBOS LADOS

| TOLERANCIAS DIMENSIONALES<br>SEGÚN DIN 7168 |                    |                  |                   |                     |                      |                       |                        |
|---------------------------------------------|--------------------|------------------|-------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| GRADO DE EXACTITUD                          | Más de 0,5 hasta 3 | Más de 3 hasta 6 | Más de 6 hasta 30 | Más de 30 hasta 120 | Más de 120 hasta 400 | Más de 400 hasta 1000 | Más de 1000 hasta 2000 |
| MEDIO                                       | ±0,1               | ±0,1             | ±0,2              | ±0,3                | ±0,5                 | ±0,8                  | ±1,2                   |

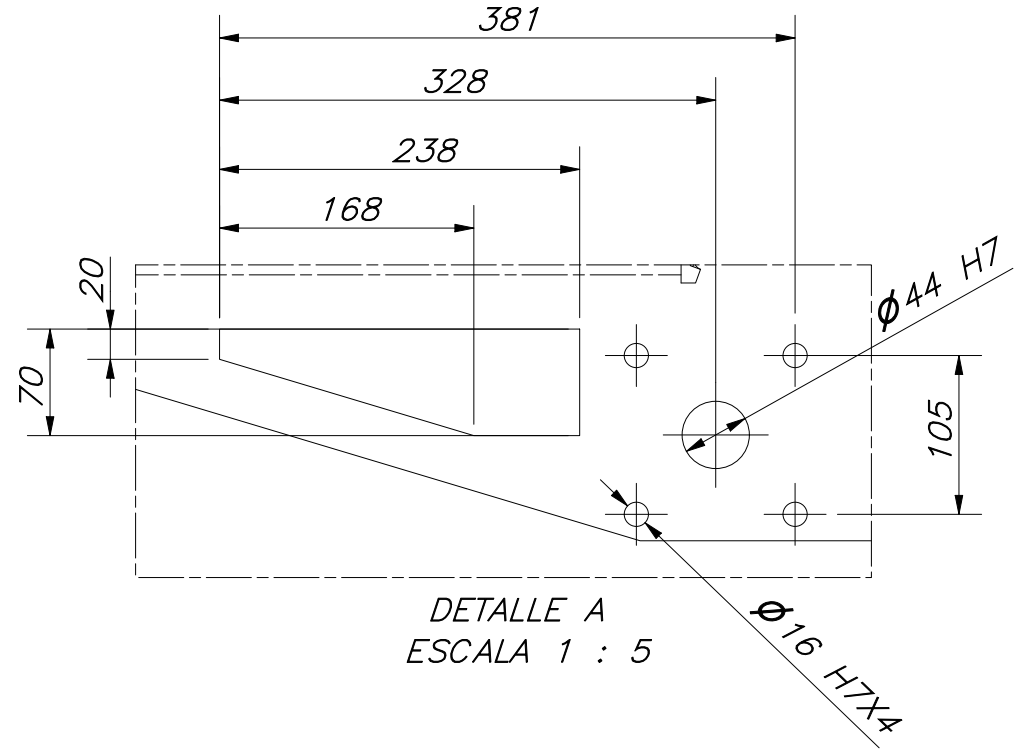
|              |             |             |
|--------------|-------------|-------------|
| 55 j5        | +6/-7       | 55.06/54.93 |
| 44 j5        | +6/-5       | 44.05/43.95 |
| COTA NOMINAL | COTA MÁXIMA | COTA MÍNIMA |



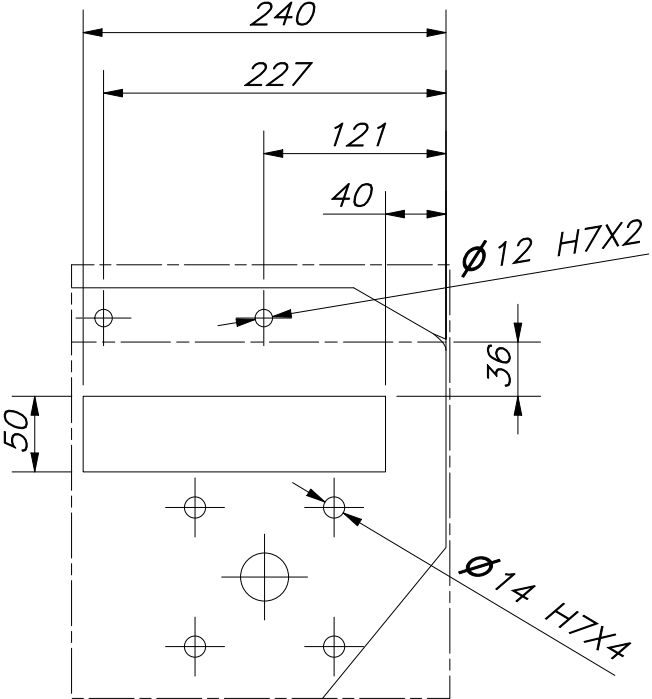
PLACA LATERAL (PLANCHA)  
2 UNIDADES



TRAVESAÑO SOPORTE DEL MOTOR  
ESCALA 1 : 2  
PLATINA 1/8"x2"  
2 UNIDADES



DETALLE A  
ESCALA 1 : 5



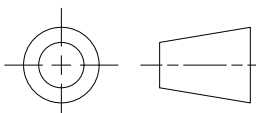
DETALLE B  
ESCALA 1 : 5

NOTA:

- CADA DOBLEZ A 90°
- UNIDADES: mm, CASO QUE DIGA LO CONTRARIO

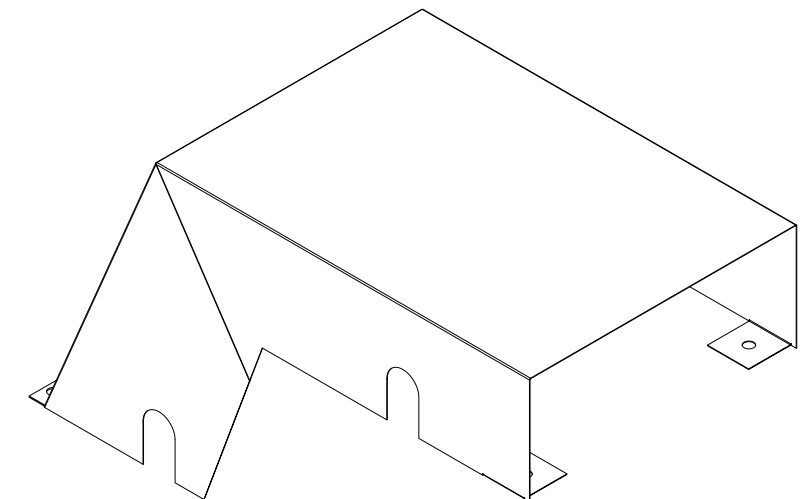
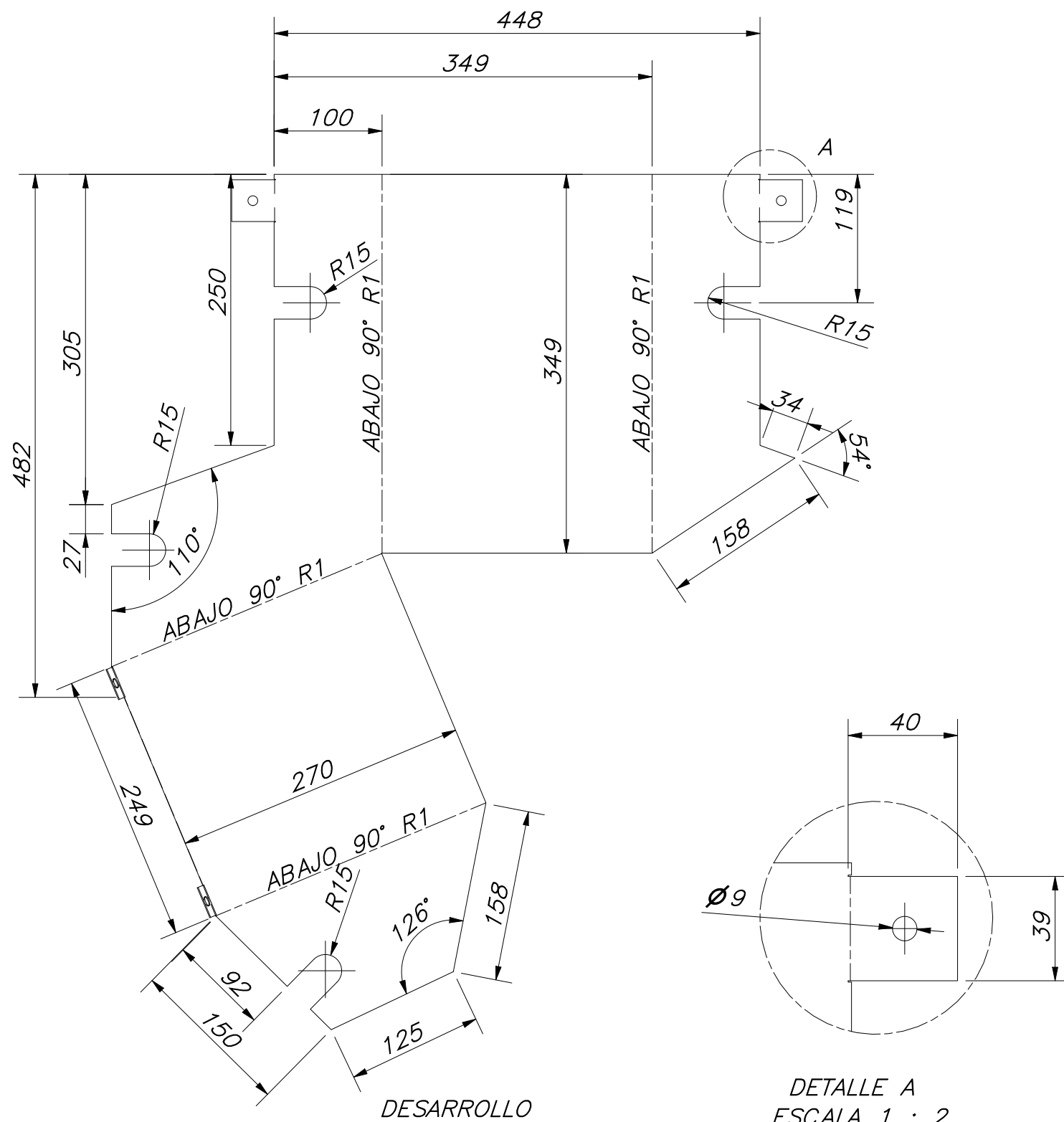
PINTURA:

1. PREPARACIÓN DE SUPERFICIES SEGÚN NORMA SSPC-SP6
2. DOS MANOS DE ANTICORROSIVO EXPÓXICO (2 A 3 WILLS)

|                                                                                                               |                                                                        |                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| ACABADO SUPERFICIAL                                                                                           | TOLERANCIA GENERAL<br>DIN 7168-MEDIO                                   | MATERIAL<br>Acero ASTM A36 |
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA              |                                                                        |                            |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN<br> | PLACA LATERAL (PLANCHA) Y<br>TRAVESAÑO SOPORTE DEL MOTOR               | ESCALA<br>1 : 5            |
| HOJA: 8                                                                                                       | AUTORES: BACH. SUNI PACCO ELVIS RENE<br>BACH. LOAIZA TAIPE JUAN CARLOS | FECHA:<br>1/10/2025        |
| REVISADO POR: ING. ROOSBEL DENNIS MAMANI CASTILLO                                                             |                                                                        | FORMATO:<br>A3             |

| TOLERANCIAS DIMENSIONALES<br>SEGÚN DIN 7168 |                    |                  |                   |                     |                      |                       |                        |
|---------------------------------------------|--------------------|------------------|-------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| GRADO DE EXACTITUD                          | Más de 0,5 hasta 3 | Más de 3 hasta 6 | Más de 6 hasta 30 | Más de 30 hasta 120 | Más de 120 hasta 400 | Más de 400 hasta 1000 | Más de 1000 hasta 2000 |
| MEDIO                                       | ±0,1               | ±0,1             | ±0,2              | ±0,3                | ±0,5                 | ±0,8                  | ±1,2                   |

|              |             |             |
|--------------|-------------|-------------|
| 14 H7        | +18/0       | 14.018/14   |
| 16 H7        | +18/0       | 16.018/16   |
| 10 H7        | +18/0       | 10.018/10   |
| 12 H7        | +18/0       | 12.018/12   |
| 32 H7        | +25/0       | 32.025/32   |
| 44 H7        | +25/0       | 44.025/44   |
| COTA NOMINAL | COTA MÁXIMA | COTA MÍNIMA |



ESPESOR 1 mm

**NOTA:**

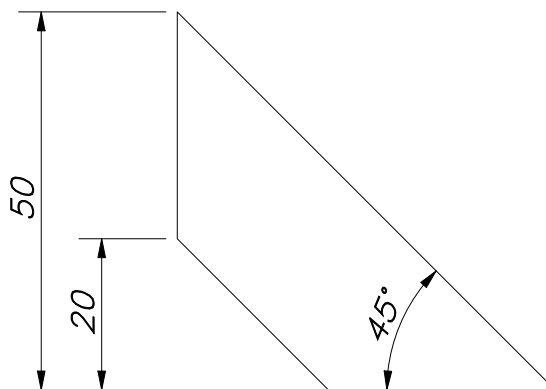
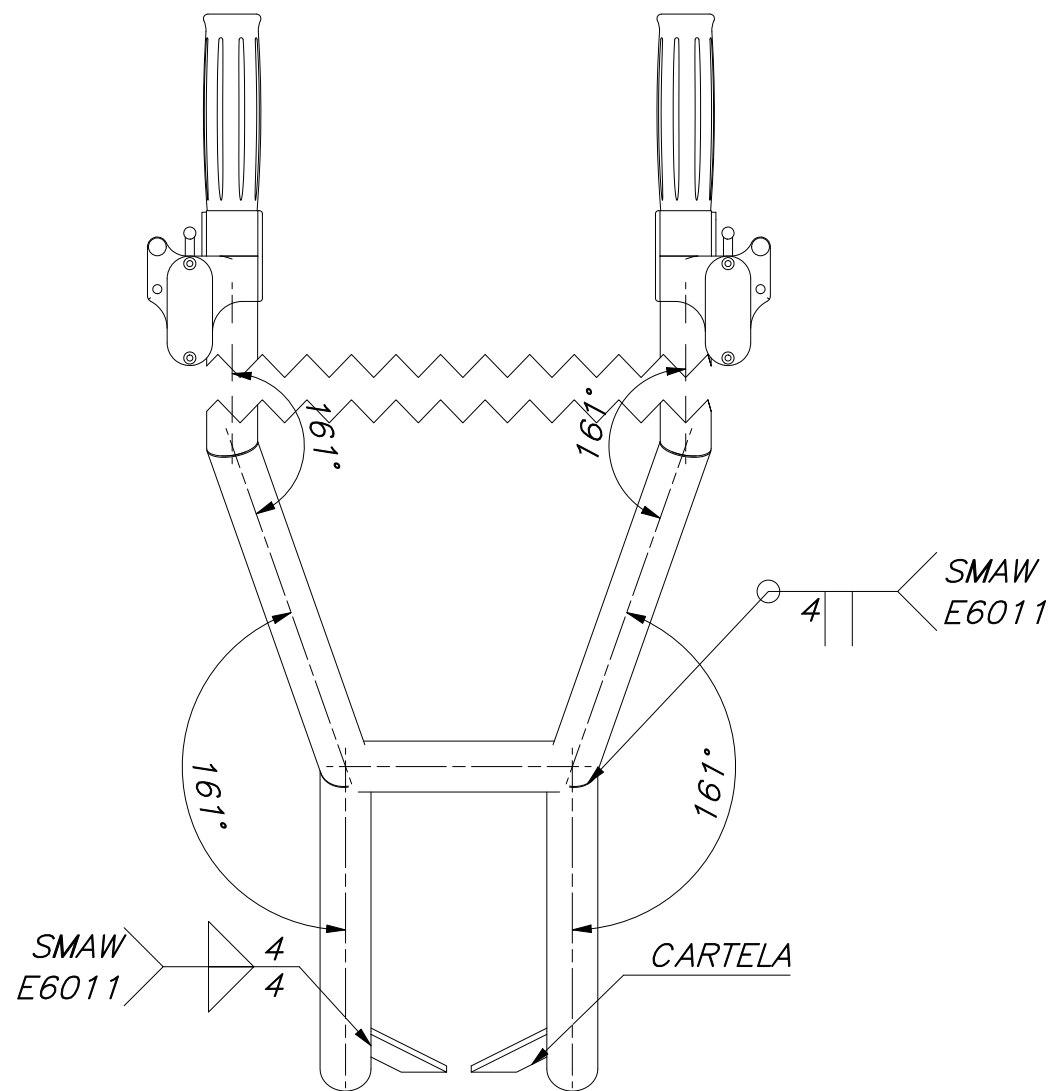
- UNIDADES: mm, CASO QUE DIGA LO CONTRARIO

**PINTURA:**

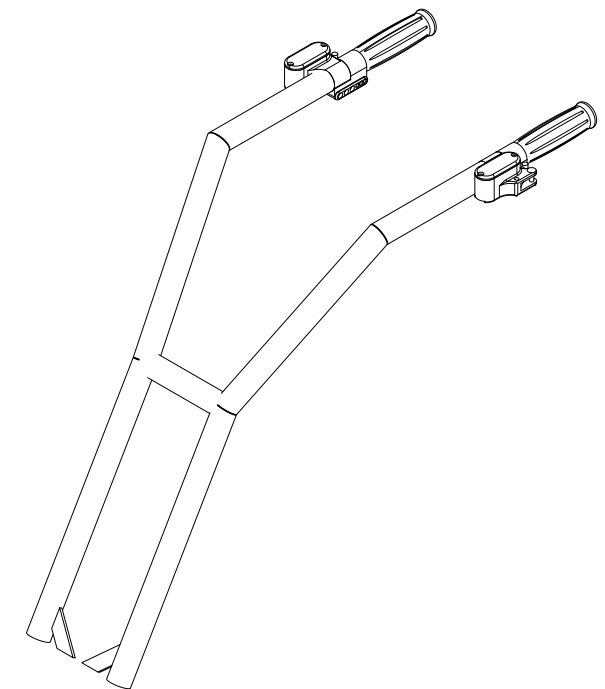
1. PREPARACIÓN DE SUPERFICIES SEGÚN NORMA SSPC-SP6
2. DOS MANOS DE ANTICORROSIVO EXPÓXICO (2 A 3 WILLS)

|                                                                                                  |                                                                        |                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| ACABADO SUPERFICIAL                                                                              | TOLERANCIA GENERAL                                                     | MATERIAL            |
|                                                                                                  |                                                                        | Acero ASTM A36      |
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA |                                                                        |                     |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN                                                                             | CUBIERTA DEL MULTICULTOR                                               | ESCALA              |
|                                                                                                  |                                                                        | 1 :5                |
| HOJA: 9                                                                                          | AUTORES: BACH. SUNI PACCO ELVIS RENE<br>BACH. LOAIZA TAIPE JUAN CARLOS | FECHA:<br>4/10/2025 |
| REVISADO POR: ING. ROOSBEL DENNIS MAMANI CASTILLO                                                |                                                                        | FORMATO:<br>A3      |

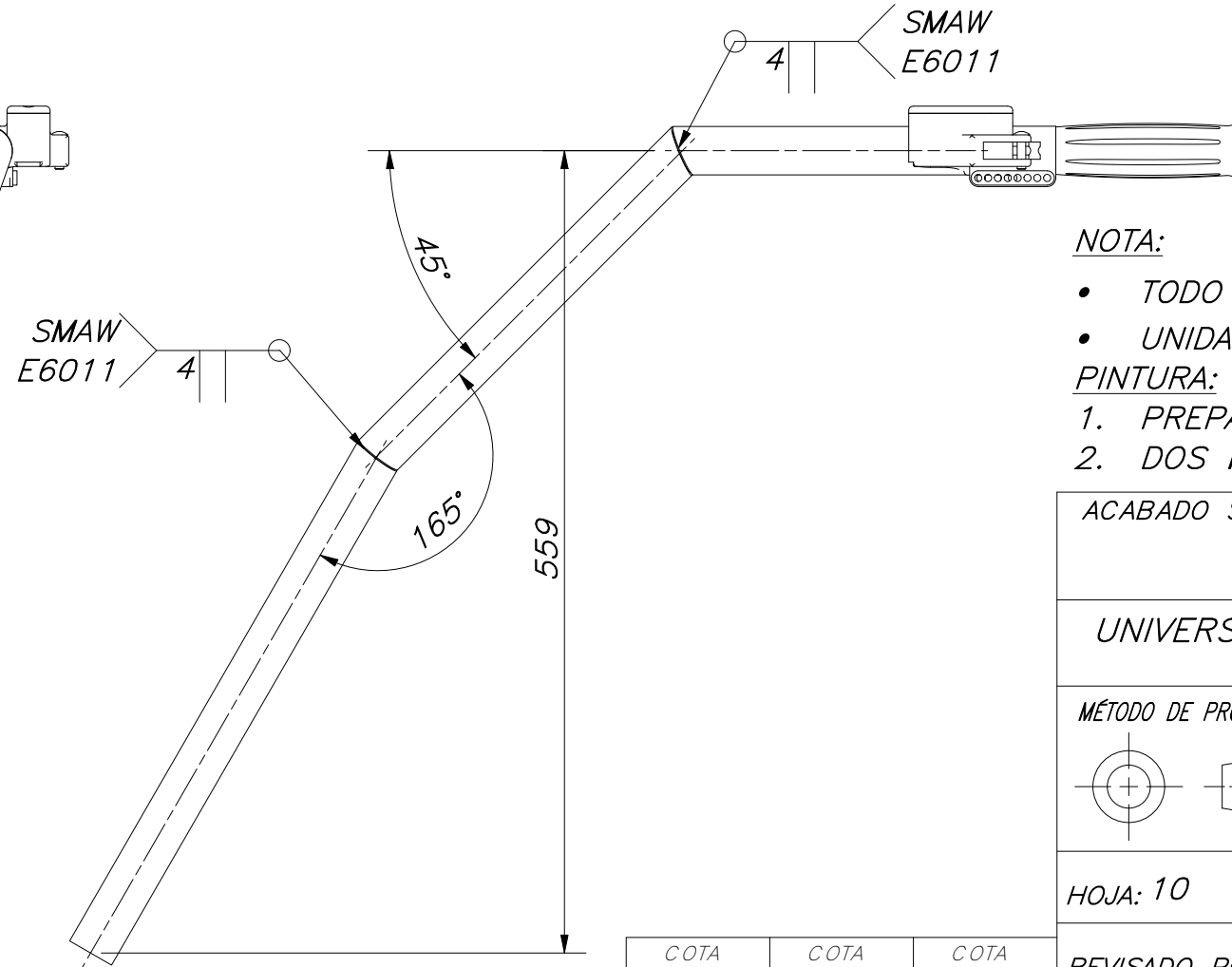
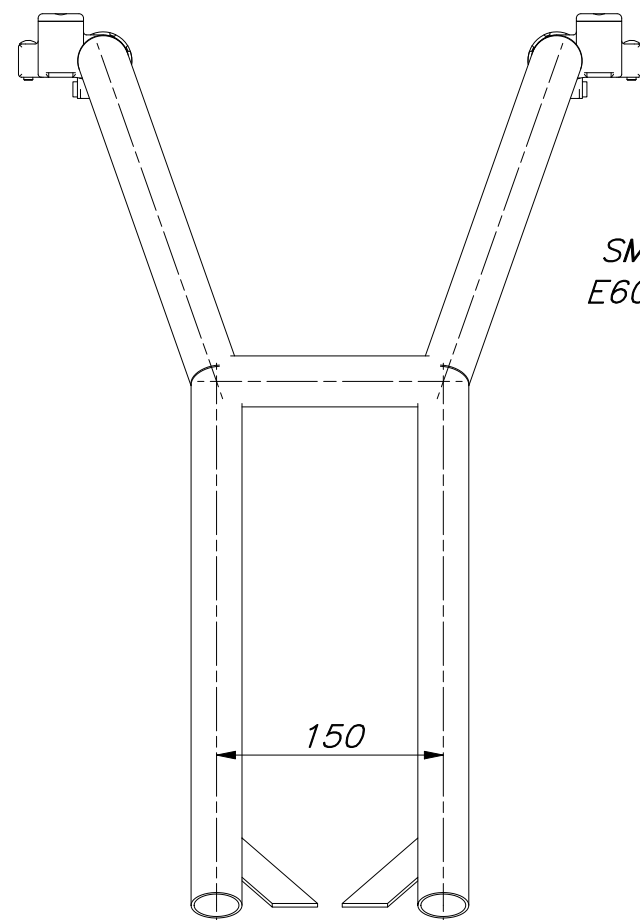
|                 |                |                |
|-----------------|----------------|----------------|
| COTA<br>NOMINAL | COTA<br>MÁXIMA | COTA<br>MÍNIMA |
|-----------------|----------------|----------------|



CARTELA  
ESCALA 1 : 1  
ESPESOR 3/16"  
ACERO A36



ESTRUCTURA MANUBRIO  
ESCALA 1 : 10



NOTA:

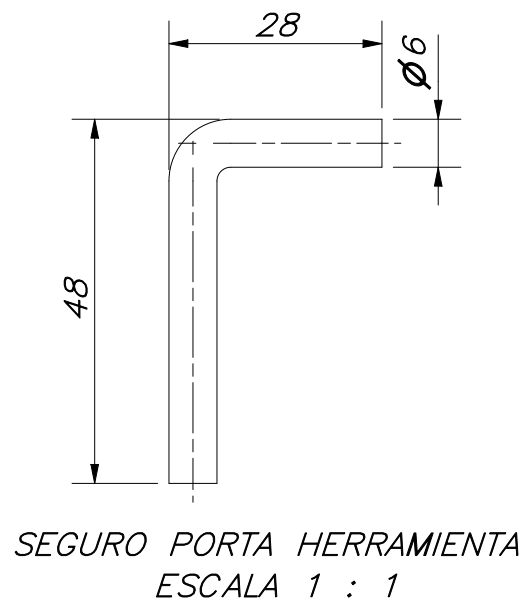
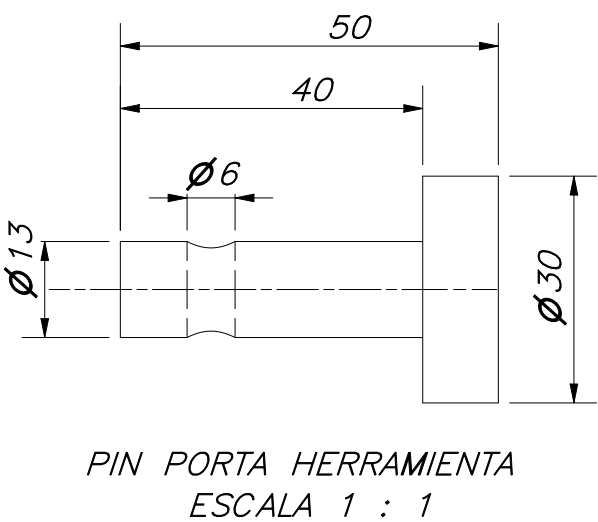
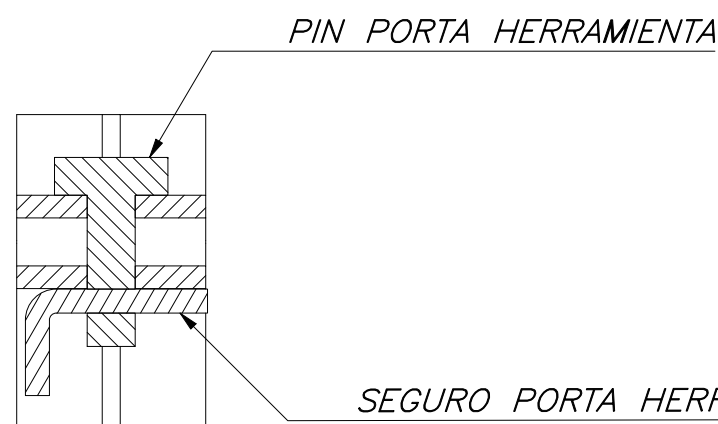
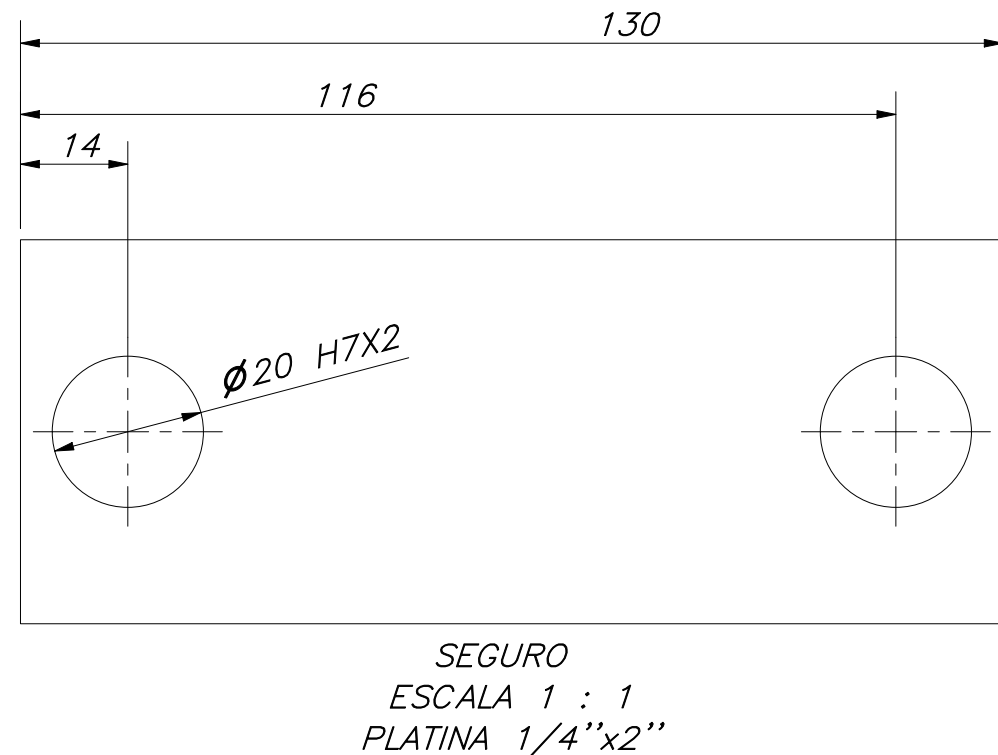
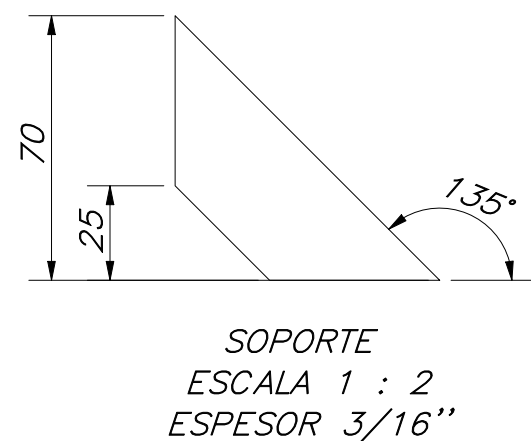
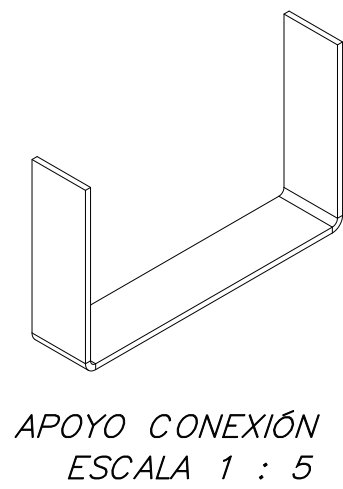
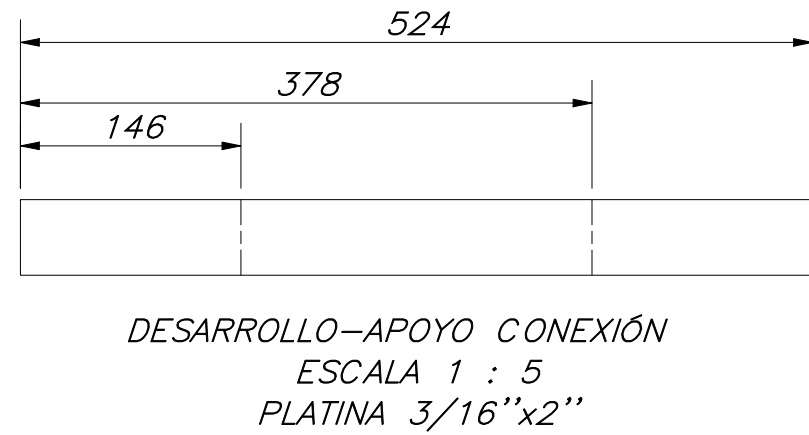
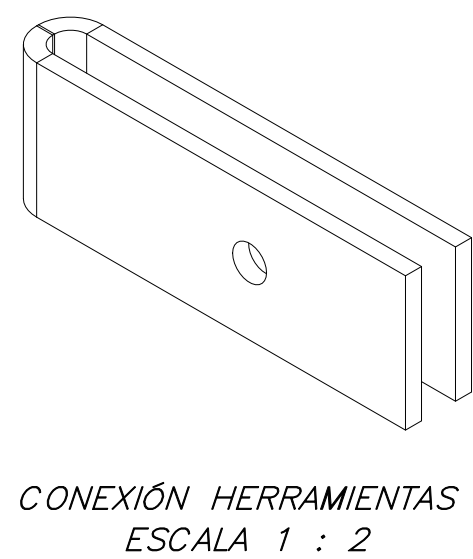
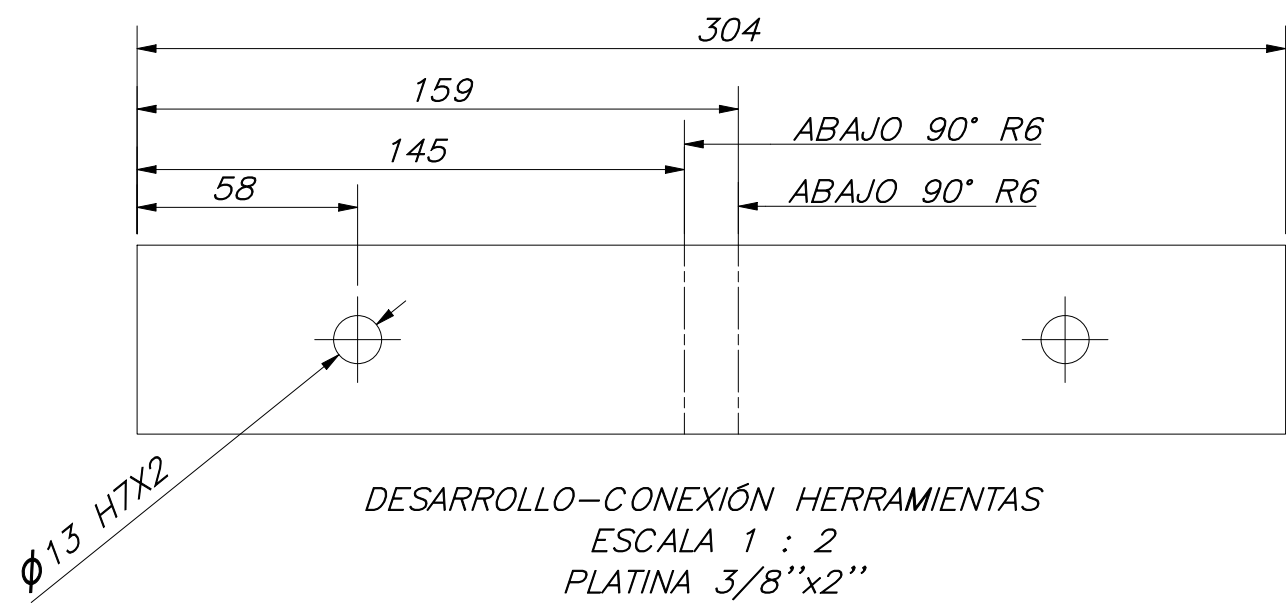
- TODO LOS PERFILES:  $\varnothing 33.7 \times 3$  mm
- UNIDADES: mm, CASO QUE DIGA LO CONTRARIO

PINTURA:

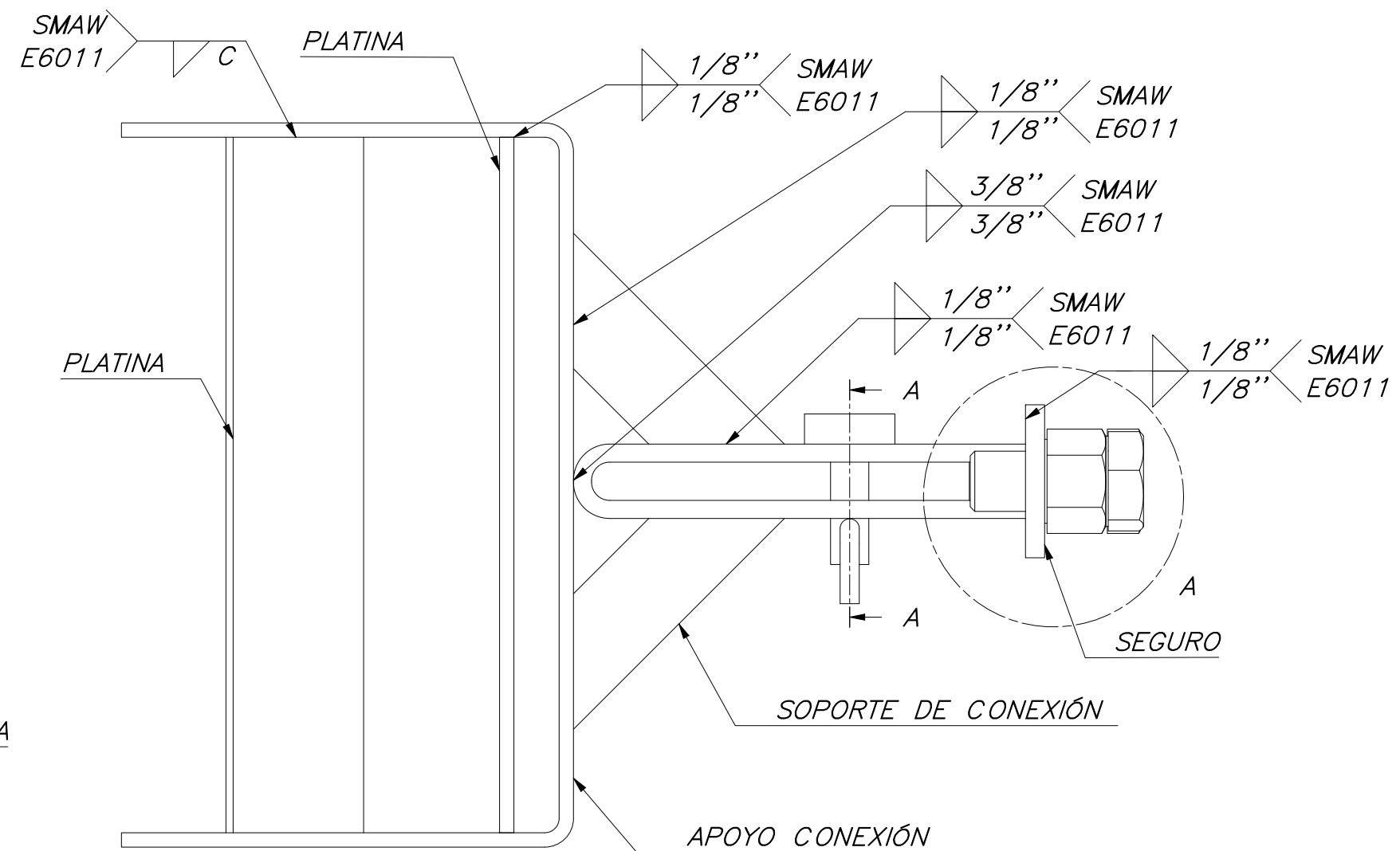
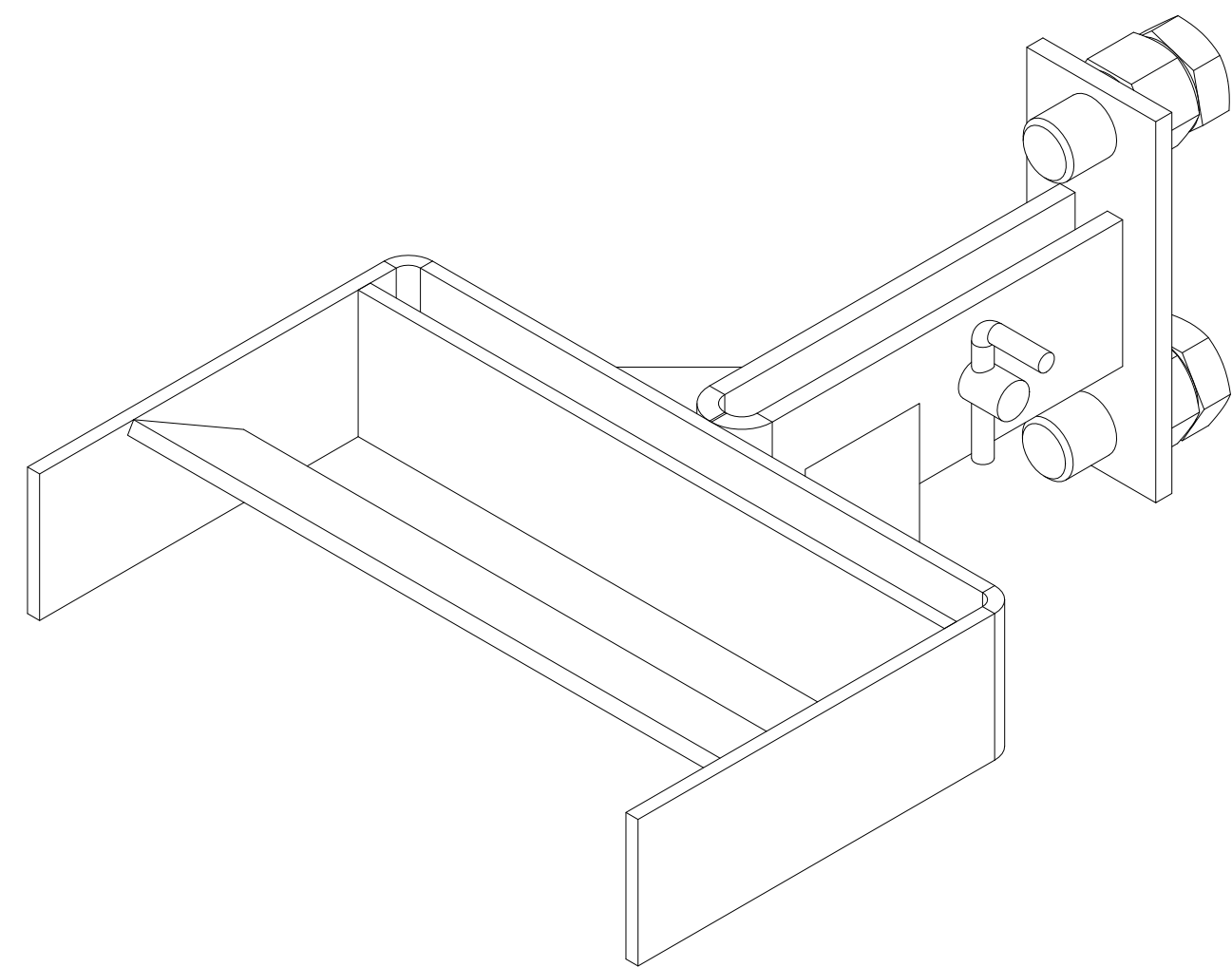
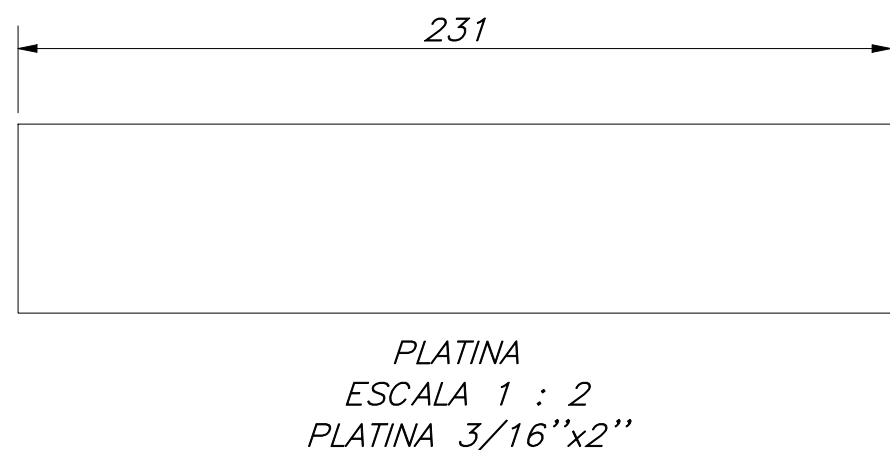
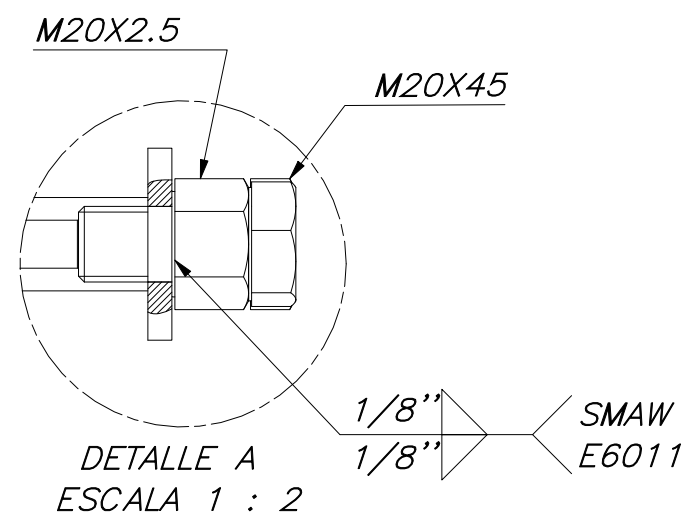
1. PREPARACIÓN DE SUPERFICIES SEGÚN NORMA SSPC-SP6
2. DOS MANOS DE ANTICORROSIVO EXPÓXICO (2 A 3 WILLS)

| ACABADO SUPERFICIAL                                                                              | TOLERANCIA GENERAL                                                     | MATERIAL         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------|
|                                                                                                  |                                                                        | ACERO ASTM A500  |
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA |                                                                        |                  |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN                                                                             | MANUBRIO                                                               | ESCALA           |
|                                                                                                  |                                                                        | 1 : 5            |
| HOJA: 10                                                                                         | AUTORES: BACH. SUNI PACCO ELVIS RENE<br>BACH. LOAIZA TAIPE JUAN CARLOS | FECHA: 4/10/2025 |
| REVISADO POR: ING. ROOSBEL DENNIS MAMANI CASTILLO                                                |                                                                        | FORMATO: A3      |

| COTA NOMINAL | COTA MÁXIMA | COTA MÍNIMA |
|--------------|-------------|-------------|
|--------------|-------------|-------------|



CORTE A-A

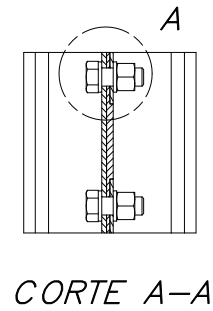
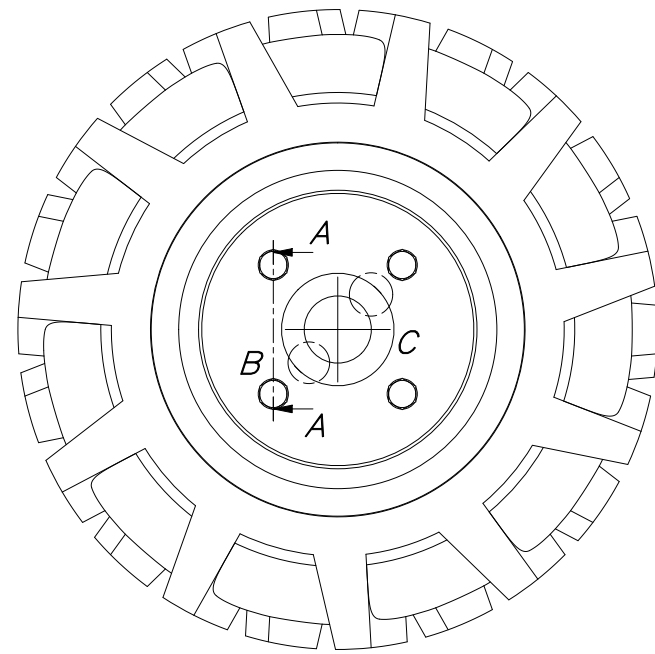


- NOTA:
- UNIDADES: mm, CASO QUE DIGA LO CONTRARIO
  - DOBLEZ A 90°
- PINTURA:
- PREPARACIÓN DE SUPERFICIES SEGÚN NORMA SSPC-SP6
  - DOS MANOS DE ANTICORROSIVO EXPÓXICO (2 A 3 WILLS)

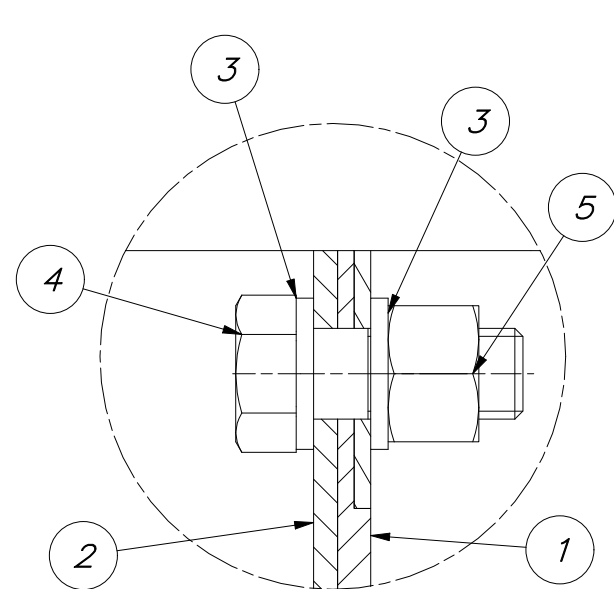
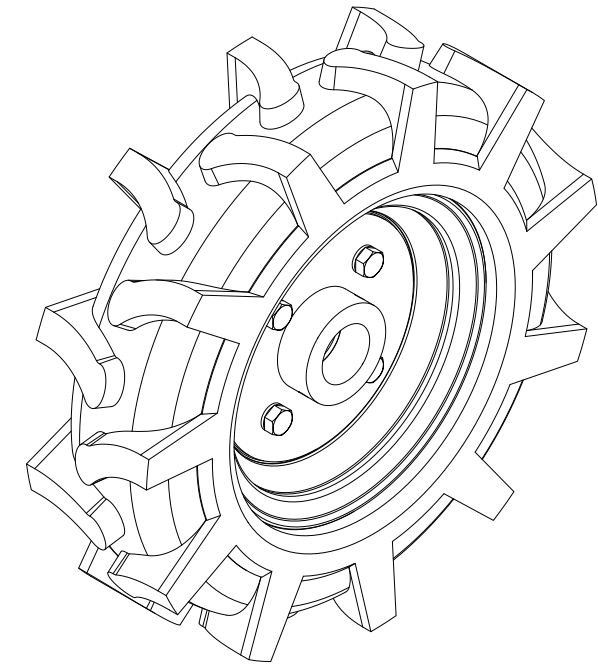
|                                                                                                  |                                                                        |                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| ACABADO SUPERFICIAL                                                                              | TOLERANCIA GENERAL<br>DIN 7168-MEDIO                                   | MATERIAL<br>Acero ASTM A36 |
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA |                                                                        |                            |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN                                                                             | PORTA HERRAMIENTAS                                                     | ESCALA<br>1 : 2            |
| HOJA: 11                                                                                         | AUTORES: BACH. SUNI PACCO ELVIS RENE<br>BACH. LOAIZA TAÍPE JUAN CARLOS | FECHA:<br>3/10/2025        |
| REVISADO POR: ING. ROOSBEL DENNIS MAMANI CASTILLO                                                |                                                                        | FORMATO:<br>A2             |

| TOLERANCIAS DIMENSIONALES<br>SEGÚN DIN 7168 |                    |                  |                   |                     |                      |                       |                        |
|---------------------------------------------|--------------------|------------------|-------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| GRADO DE EXACTITUD                          | Más de 0,5 hasta 3 | Más de 3 hasta 6 | Más de 6 hasta 30 | Más de 30 hasta 120 | Más de 120 hasta 400 | Más de 400 hasta 1000 | Más de 1000 hasta 2000 |
| MEDIO                                       | ±0,1               | ±0,1             | ±0,2              | ±0,3                | ±0,5                 | ±0,8                  | ±1,2                   |

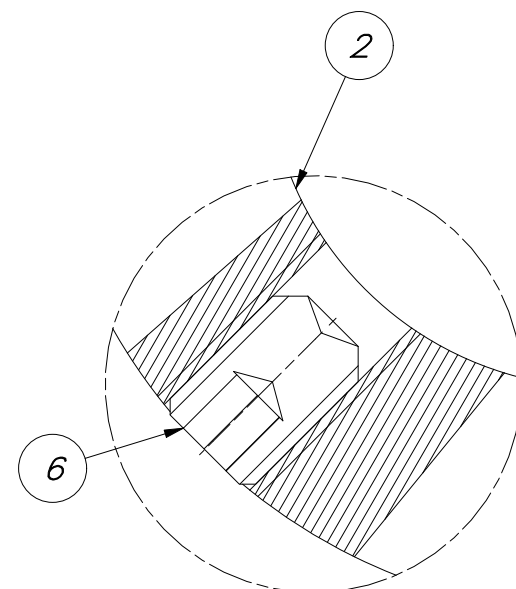
|              |             |             |
|--------------|-------------|-------------|
| 13 H7        | +18/0       | 13.018/18   |
| 20 H7        | +21/0       | 20.021/21   |
| COTA NOMINAL | COTA MÁXIMA | COTA MÍNIMA |



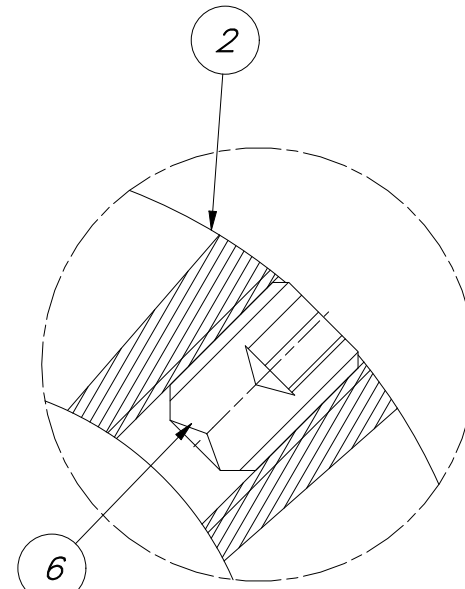
CORTE A-A



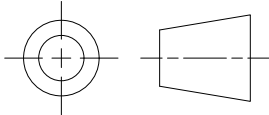
DETALLE A  
ESCALA 1 : 1

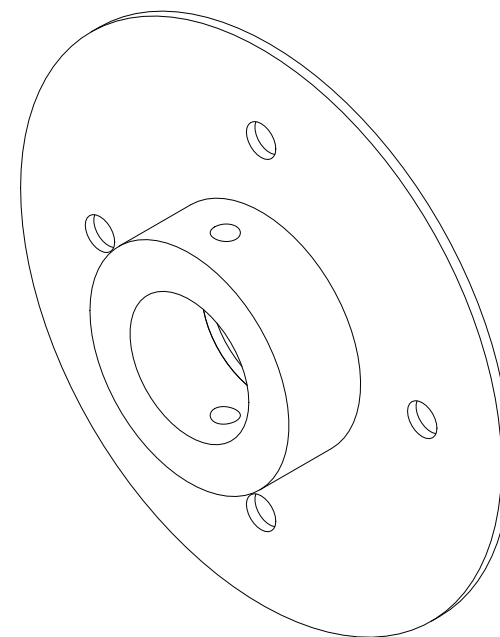
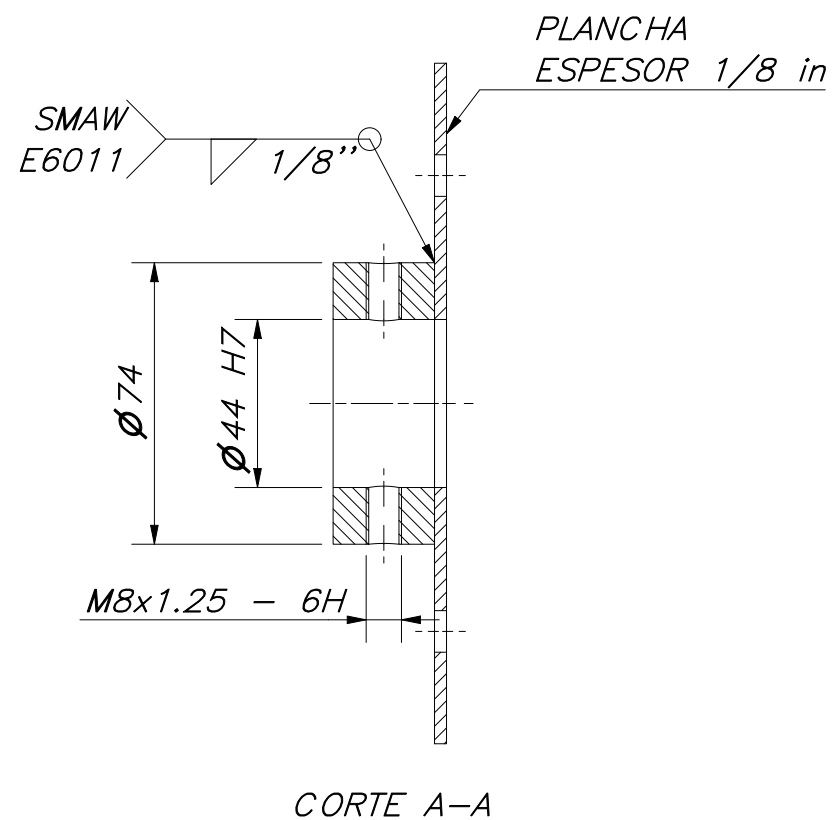
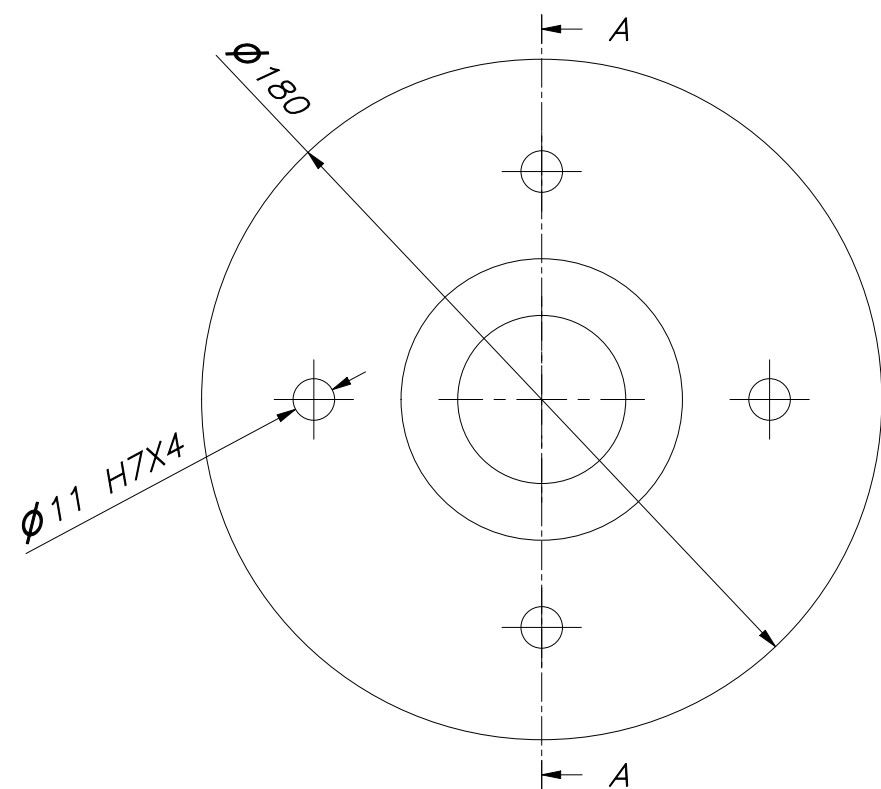


DETALLE B  
ESCALA 2 : 1



DETALLE C  
ESCALA 2 : 1

| LISTA DE COMPONENTES                                                                  |       |                                                                        |            |                |                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------|------------------------------------------------------------------------|------------|----------------|----------------------|
| 6                                                                                     | 2     | AS 1421 - M8 x 12 Prisionero                                           | AS 1421    | Acero, suave   | ---                  |
| 5                                                                                     | 4     | ANSI B18.2.4.2M - M12x1.75                                             | B18.2.4.2M | Acero, suave   | ---                  |
| 4                                                                                     | 4     | DIN 7990 - M12 x 30                                                    | DIN 7990   | Acero, suave   | ---                  |
| 3                                                                                     | 8     | ANSI B18.22M - 10 N                                                    | B18.22M    | Acero, suave   | ---                  |
| 2                                                                                     | 1     | SEGURO RUEDA                                                           | ---        | Acero ASTM A36 | PLANO 10             |
| 1                                                                                     | 1     | RUEDA                                                                  | ---        | Caucho         | ---                  |
| POS.                                                                                  | CANT. | DESCRIPCIÓN                                                            | NORMA      | MATERIAL       | OBSERVACIONES        |
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO                                    |       |                                                                        |            |                |                      |
| ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA                                            |       |                                                                        |            |                |                      |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN                                                                  |       | RUEDA DE TRACCIÓN                                                      |            |                | ESCALA               |
|  |       |                                                                        |            |                | 1 : 5                |
| HOJA: 12                                                                              |       | AUTORES: BACH. SUNI PACCO ELVIS RENE<br>BACH. LOAIZA TAIPE JUAN CARLOS |            |                | FECHA:<br>31/05/2026 |
| REVISADO POR: ING. ROOSBEL DENNIS MAMANI CASTILLO                                     |       |                                                                        |            |                | FORMATO:<br>A3       |



**NOTA:**

- UNIDADES: mm, CASO QUE DIGA LO CONTRARIO

**PINTURA:**

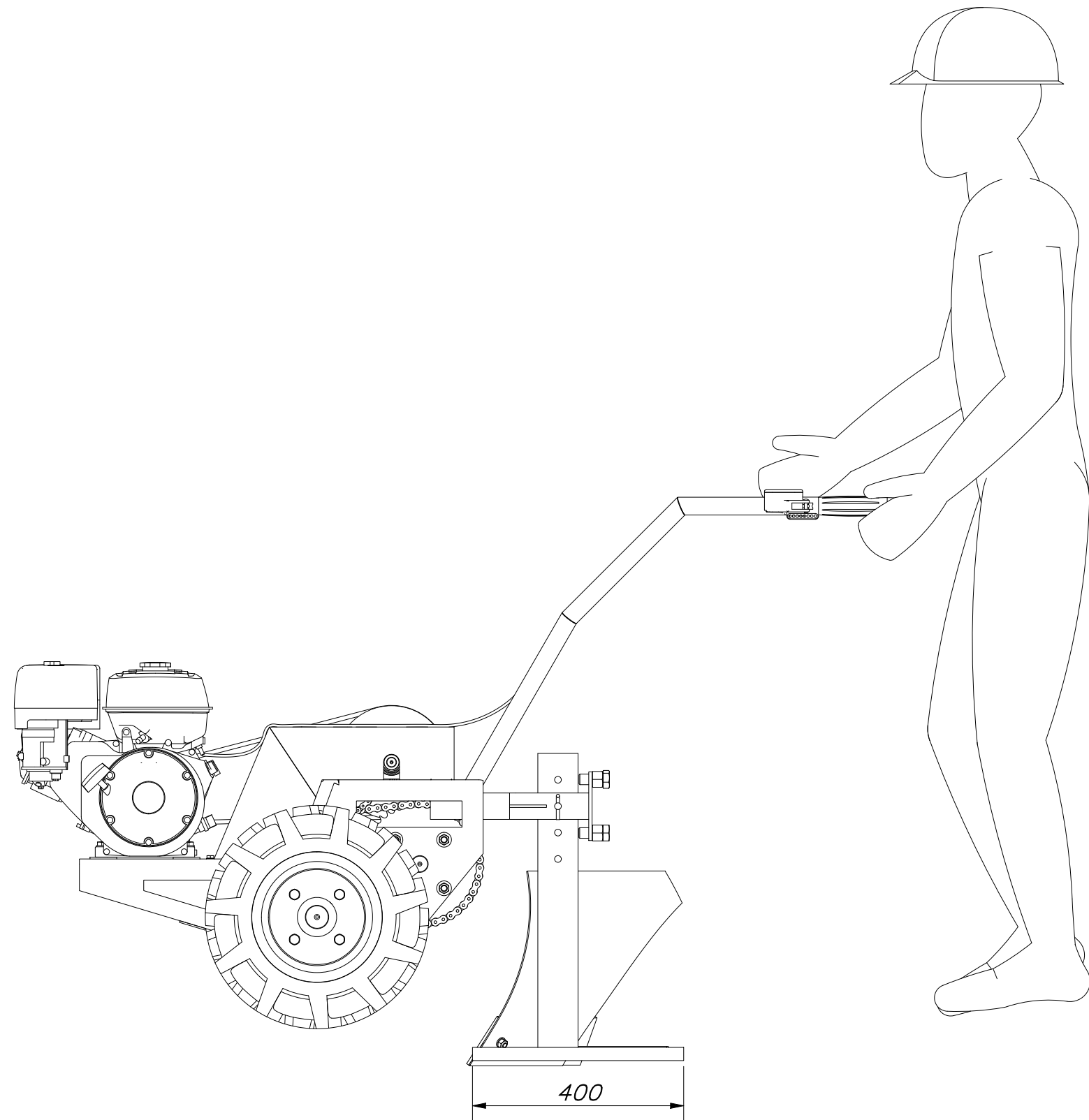
1. PREPARACIÓN DE SUPERFICIES SEGÚN NORMA SSPC-SP6
2. DOS MANOS DE ANTICORROSIVO EXPÓXICO (2 A 3 WILLS)

| ACABADO SUPERFICIAL                                                                              | TOLERANCIA GENERAL                                                     | MATERIAL          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------|
|                                                                                                  |                                                                        | Acero ASTM A36    |
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA |                                                                        |                   |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN                                                                             | SEGURO RUEDA                                                           |                   |
|                                                                                                  | 1 : 2                                                                  |                   |
| HOJA: 13                                                                                         | AUTORES: BACH. SUNI PACCO ELVIS RENE<br>BACH. LOAIZA TAIPE JUAN CARLOS | FECHA: 26/04/2026 |
| REVISADO POR: ING. ROOSBEL DENNIS MAMANI CASTILLO                                                | FORMATO: A3                                                            |                   |

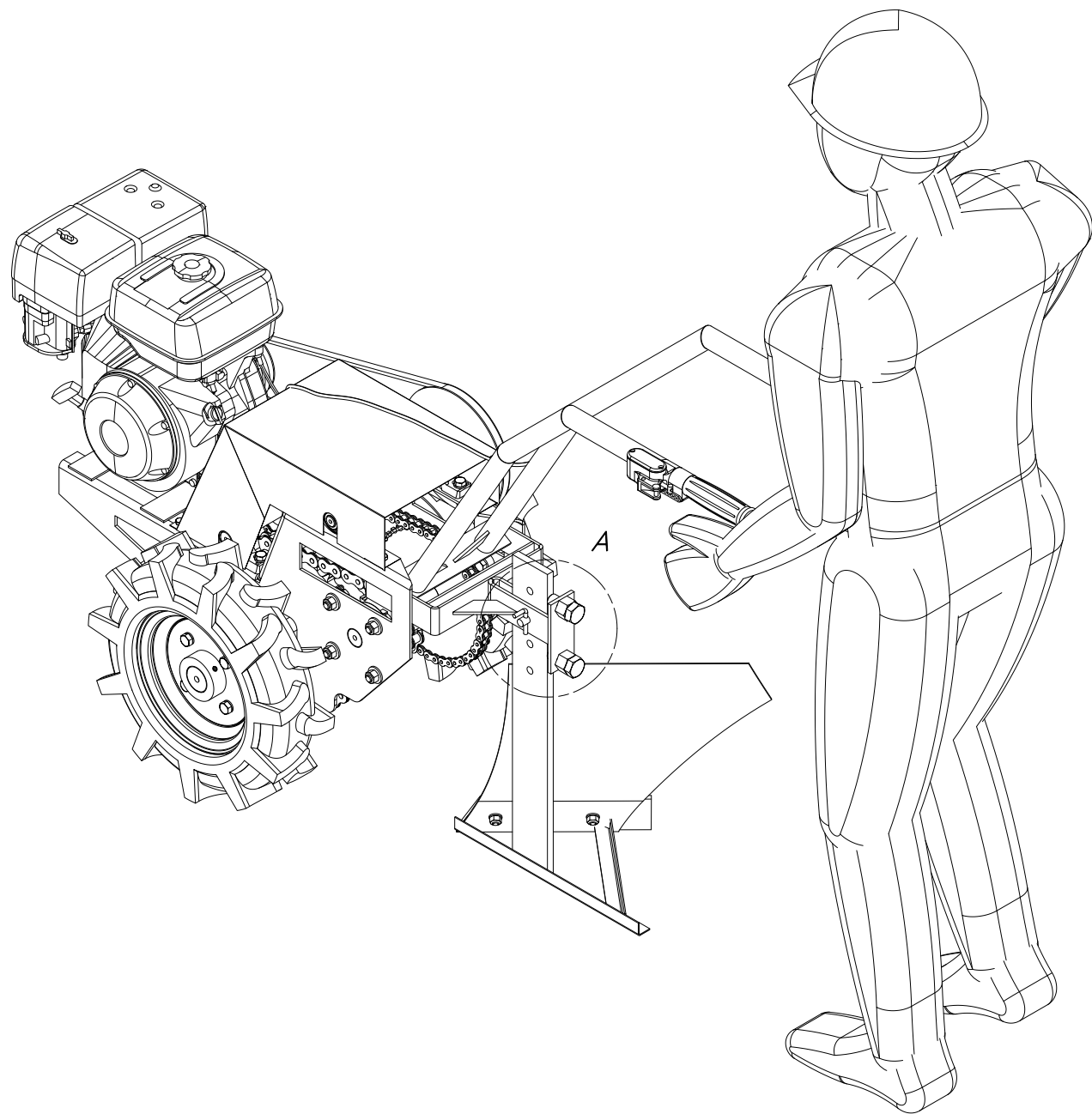
**TOLERANCIAS DIMENSIONALES  
SEGÚN DIN 7168**

| GRADO DE EXACTITUD | Más de 0,5 hasta 3 | Más de 3 hasta 6 | Más de 6 hasta 30 | Más de 30 hasta 120 | Más de 120 hasta 400 | Más de 400 hasta 1000 | Más de 1000 hasta 2000 |
|--------------------|--------------------|------------------|-------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| MEDIO              | ±0,1               | ±0,1             | ±0,2              | ±0,3                | ±0,5                 | ±0,8                  | ±1,2                   |

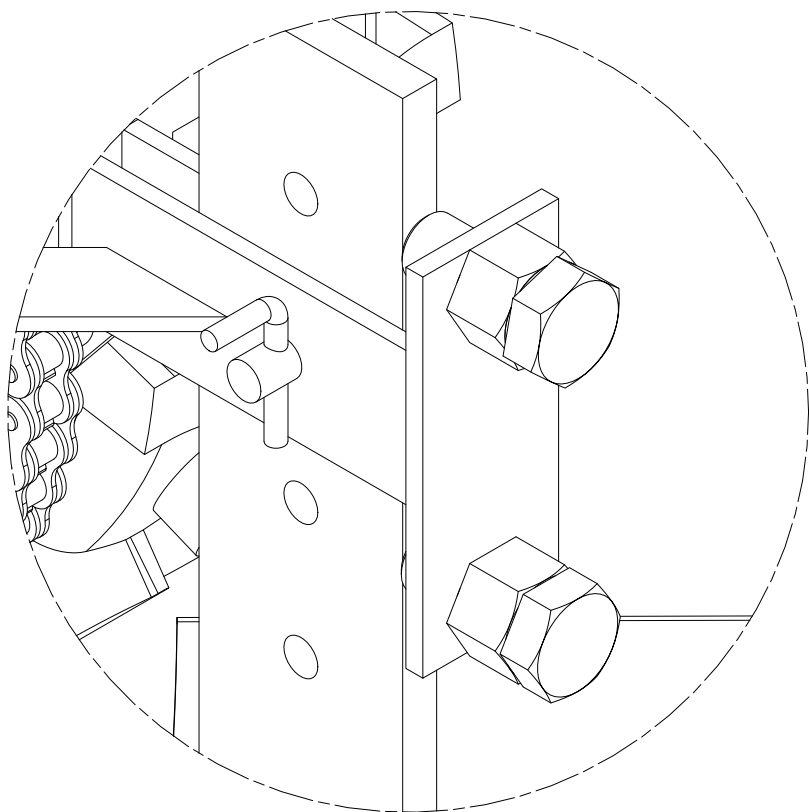
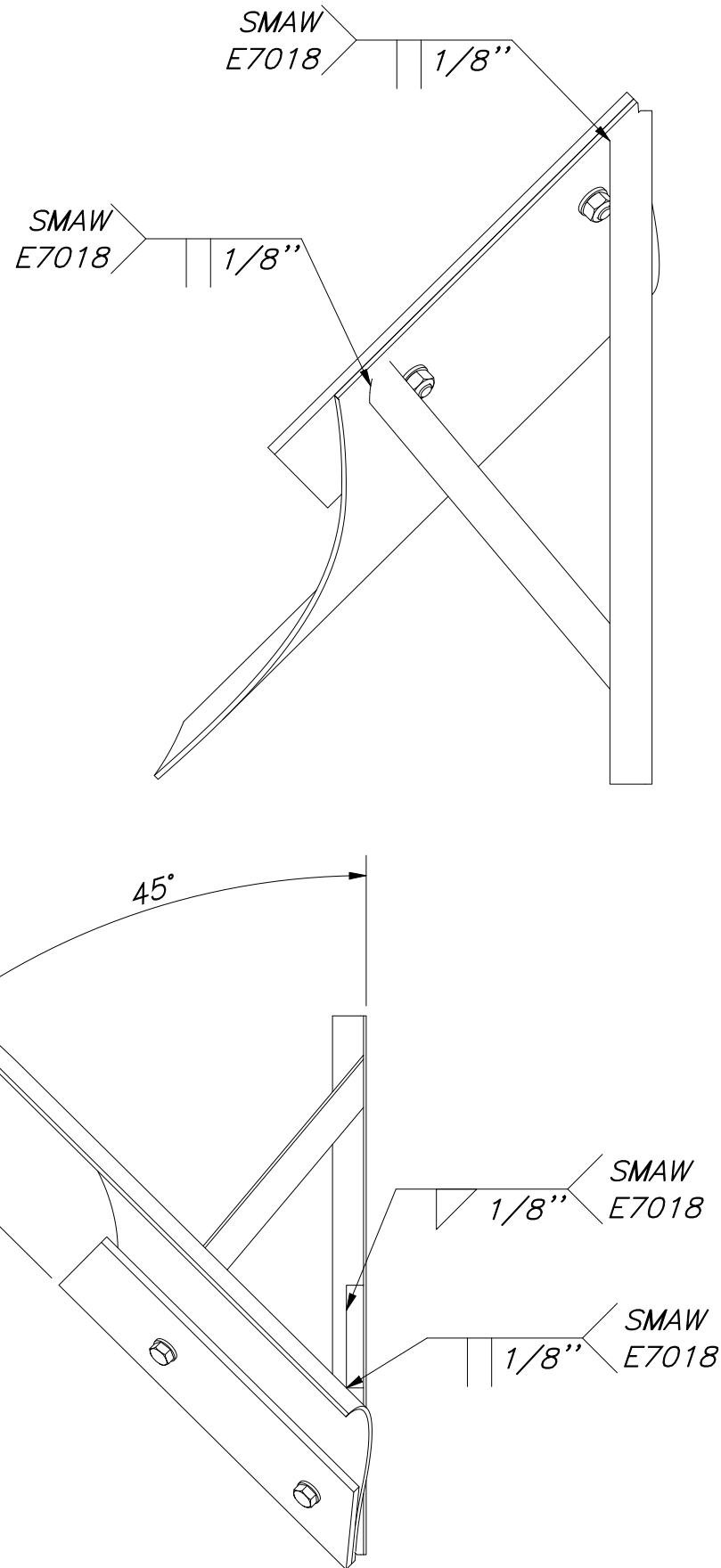
|              |             |             |
|--------------|-------------|-------------|
| 11 H7        | +18/0       | 11.018/11   |
| 44 H7        | +25/0       | 44.025/44   |
| COTA NOMINAL | COTA MÁXIMA | COTA MÍNIMA |



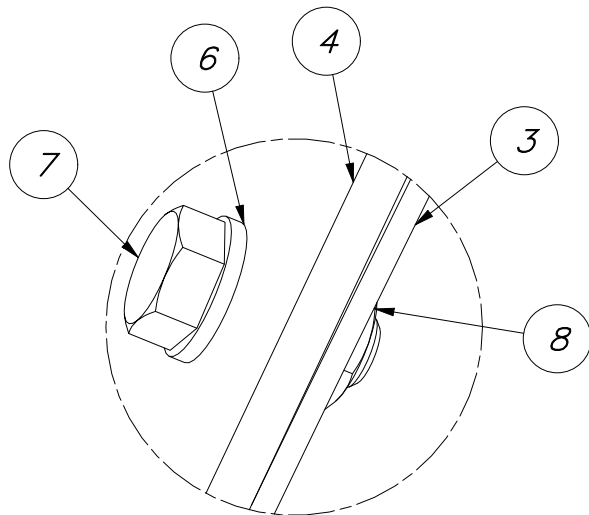
MULTICULTOR-ARADO



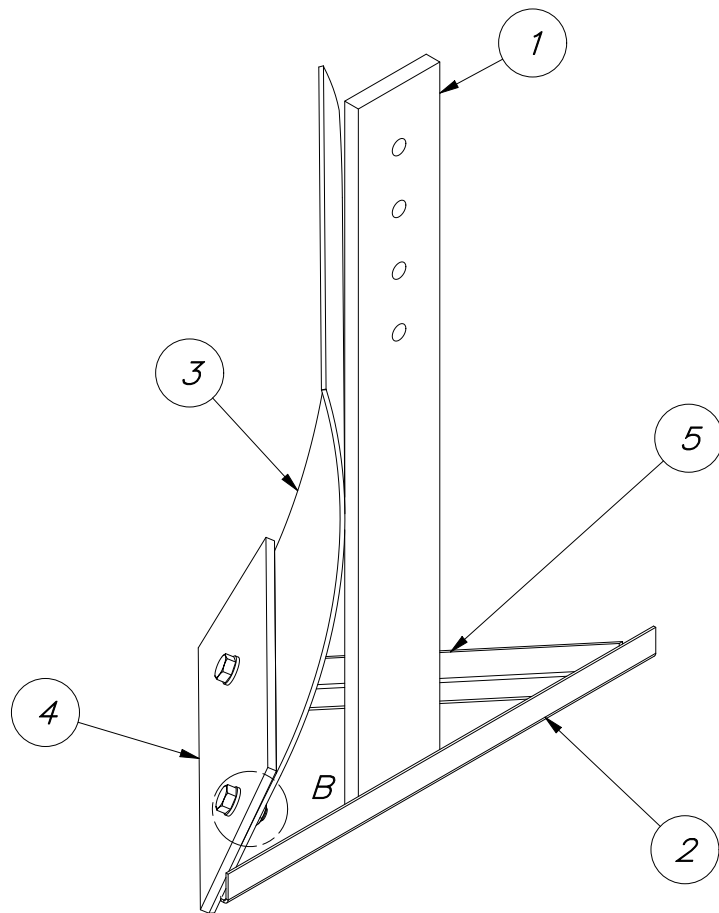
MULTICULTOR-ARADO

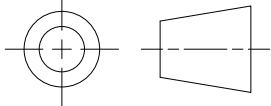


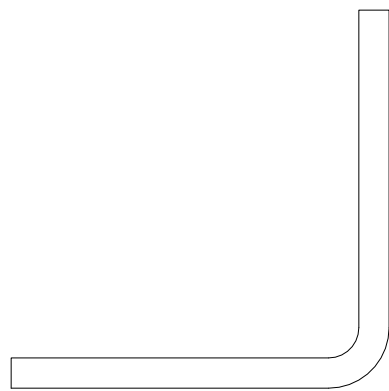
DETALLE A  
ESCALA 1 : 2



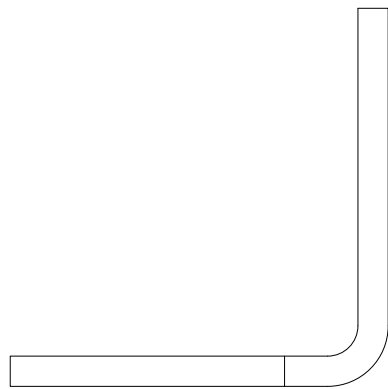
DETALLE B  
ESCALA 1 : 1



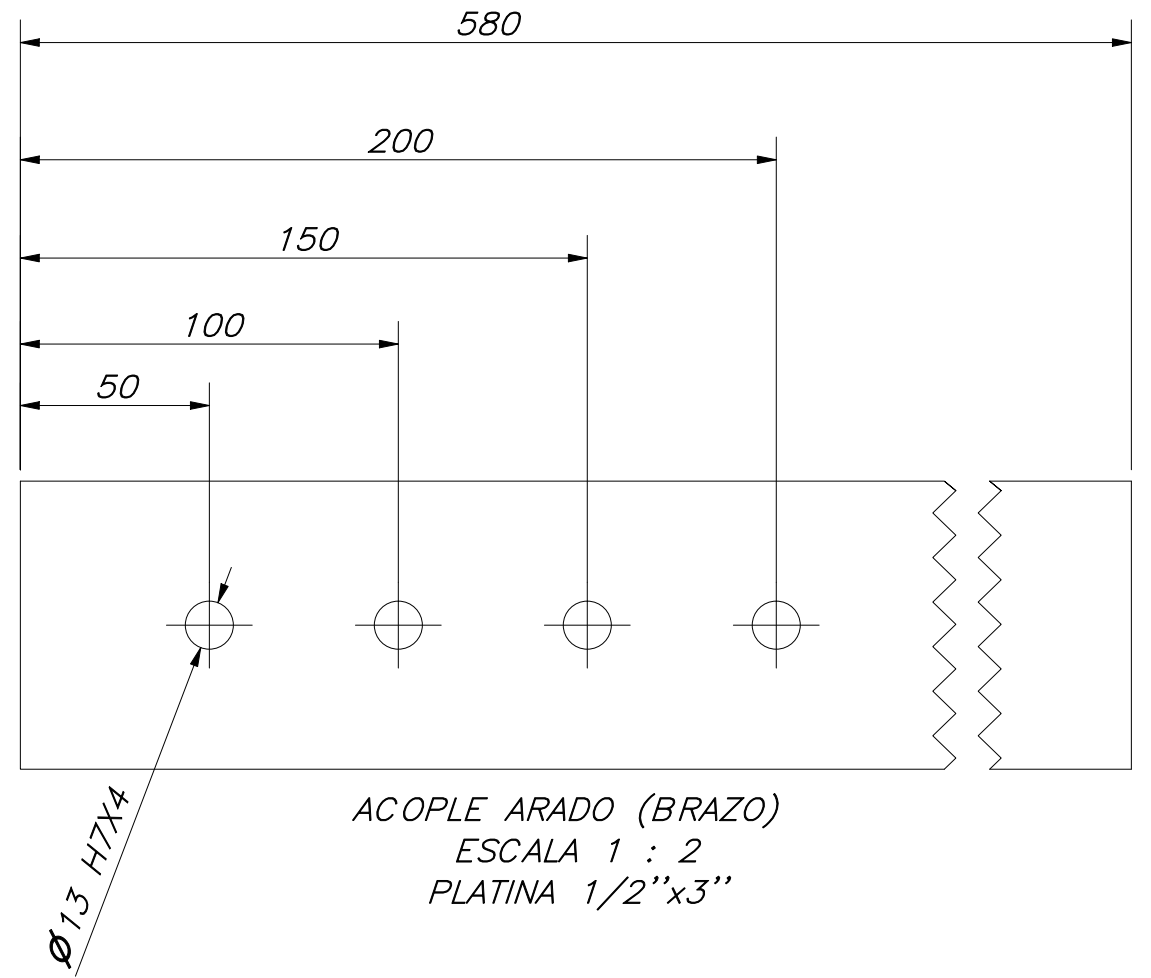
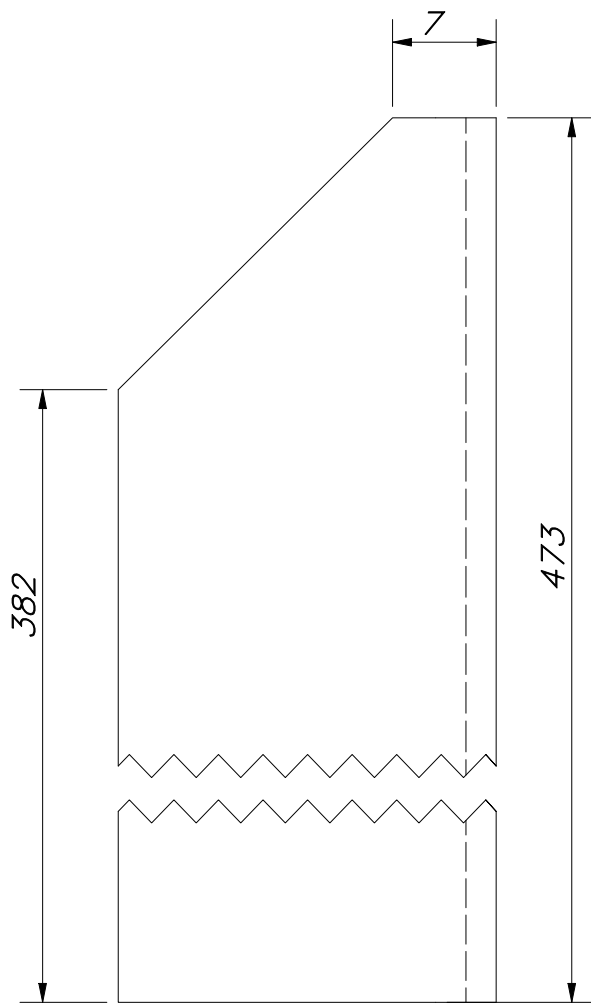
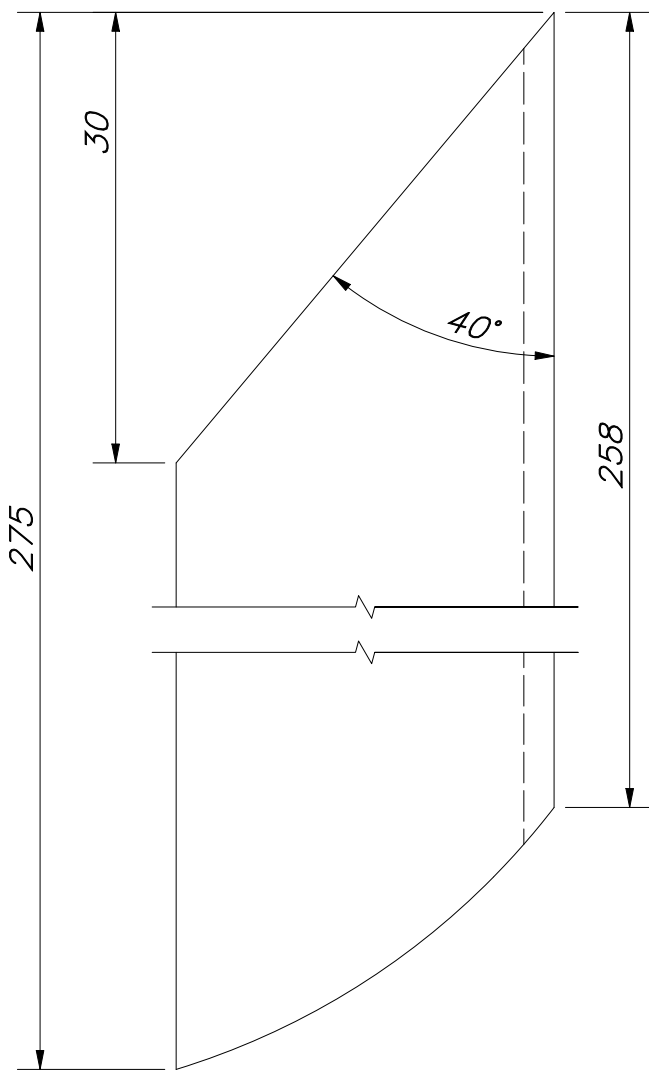
| LISTA DE COMPONENTES                                                                             |       |                                                                        |            |                 |                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------|----------------|
| 8                                                                                                | 2     | AS 1112 - M10 Tipo 5                                                   | AS 1112    | Acero, suave    | ---            |
| 7                                                                                                | 2     | ANSI B18.2.3.5M - M10 x 1.5 x 25                                       | B18.2.3.5M | Acero, suave    | ---            |
| 6                                                                                                | 4     | ANSI B18.22M - 10 N                                                    | B18.22M    | Acero, suave    | ---            |
| 5                                                                                                | 1     | SOPORTE RESGUARDADOR                                                   | ---        | Acero ASTM A36  | PLANO 12       |
| 4                                                                                                | 1     | CUCHILLA                                                               | ---        | Acero ASTM A653 | PLANO 13       |
| 3                                                                                                | 1     | VERTEDERA                                                              | ---        | Acero ASTM A36  | PLANO 13       |
| 2                                                                                                | 1     | RESGUARDADOR                                                           | ---        | Acero ASTM A36  | PLANO 12       |
| 1                                                                                                | 1     | ACOPLE ARADO (BRAZO)                                                   | ---        | Acero ASTM A36  | PLANO 12       |
| POS.                                                                                             | CANT. | DESCRIPCIÓN                                                            | NORMA      | MATERIAL        | OBSERVACIONES  |
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECÁNICA |       |                                                                        |            |                 |                |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN                                                                             |       |                                                                        | ARADO      |                 | ESCALA         |
|             |       |                                                                        |            |                 | 1 : 5          |
| HOJA: 14                                                                                         |       | AUTORES: BACH. SUNI PACCO ELVIS RENE<br>BACH. LOAIZA TAÍPE JUAN CARLOS |            |                 |                |
| REVISADO POR: ING. ROOSBEL DENNIS MAMANI CASTILLO                                                |       |                                                                        |            |                 | FORMATO:<br>A2 |



SOPORTE DEL RESGUARDADOR  
ESCALA 2 : 1  
PERFIL ANGULAR 25X25X3 mm



RESGUARDADOR  
ESCALA 2 : 1  
PERFIL ANGULAR 25X25X3 mm



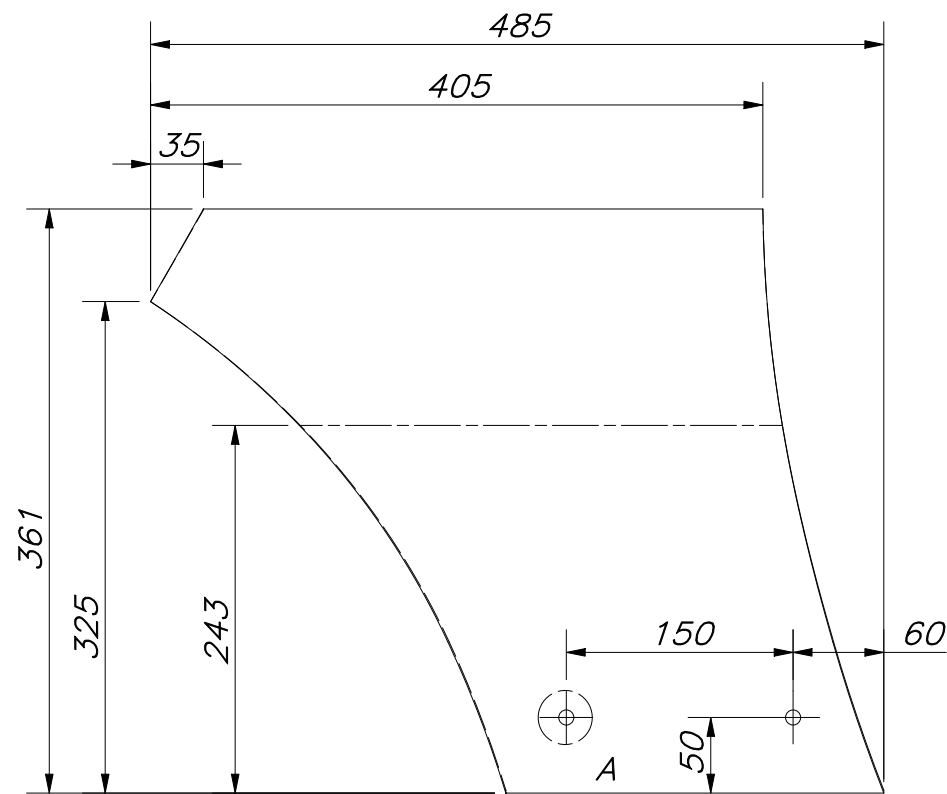
ACOPLE ARADO (BRAZO)  
ESCALA 1 : 2  
PLATINA 1/2"x3"

- NOTA:
- UNIDADES: mm, CASO QUE DIGA LO CONTRARIO
- PINTURA:
- PREPARACIÓN DE SUPERFICIES SEGÚN NORMA SSPC-SP6
  - DOS MANOS DE ANTICORROSIVO EXPÓXICO (2 A 3 WILLS)

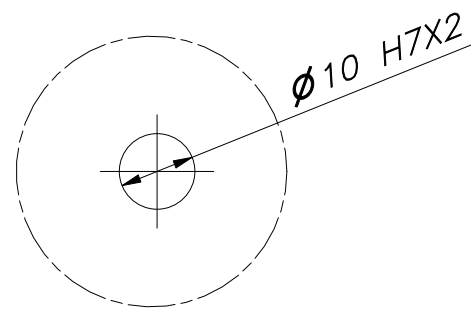
| TOLERANCIAS DIMENSIONALES<br>SEGÚN DIN 7168 |                    |                  |                   |                     |                      |                       |                        |
|---------------------------------------------|--------------------|------------------|-------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| GRADO DE EXACTITUD                          | Más de 0,5 hasta 3 | Más de 3 hasta 6 | Más de 6 hasta 30 | Más de 30 hasta 120 | Más de 120 hasta 400 | Más de 400 hasta 1000 | Más de 1000 hasta 2000 |
| MEDIO                                       | ±0,1               | ±0,1             | ±0,2              | ±0,3                | ±0,5                 | ±0,8                  | ±1,2                   |

|              |             |             |
|--------------|-------------|-------------|
| 20 H7        | +21/0       | 20.021/21   |
| COTA NOMINAL | COTA MÁXIMA | COTA MÍNIMA |

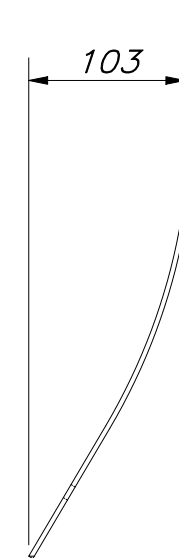
| ACABADO SUPERFICIAL                                                                              | TOLERANCIA GENERAL                                                     | MATERIAL         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------|
|                                                                                                  |                                                                        | Acero ASTM A36   |
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA |                                                                        |                  |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN                                                                             | ACOPLE ARADO (BRAZO) Y RESGUARDADORES                                  | ESCALA           |
|                                                                                                  |                                                                        | 1 : 2            |
| HOJA: 15                                                                                         | AUTORES: BACH. SUNI PACCO ELVIS RENE<br>BACH. LOAIZA TAIPE JUAN CARLOS | FECHA: 4/10/2025 |
| REVISADO POR: ING. ROOSBEL DENNIS MAMANI CASTILLO                                                |                                                                        | FORMATO: A3      |



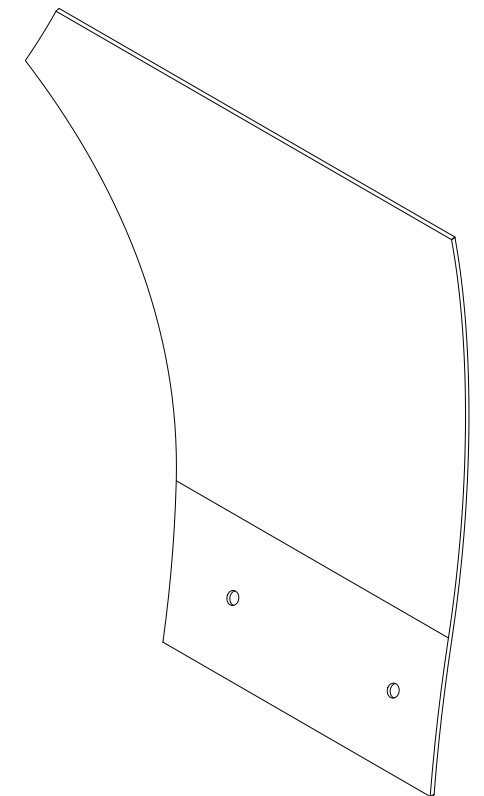
DESARROOLLO  
ESCALA 1 : 5  
ESPESOR 3 mm



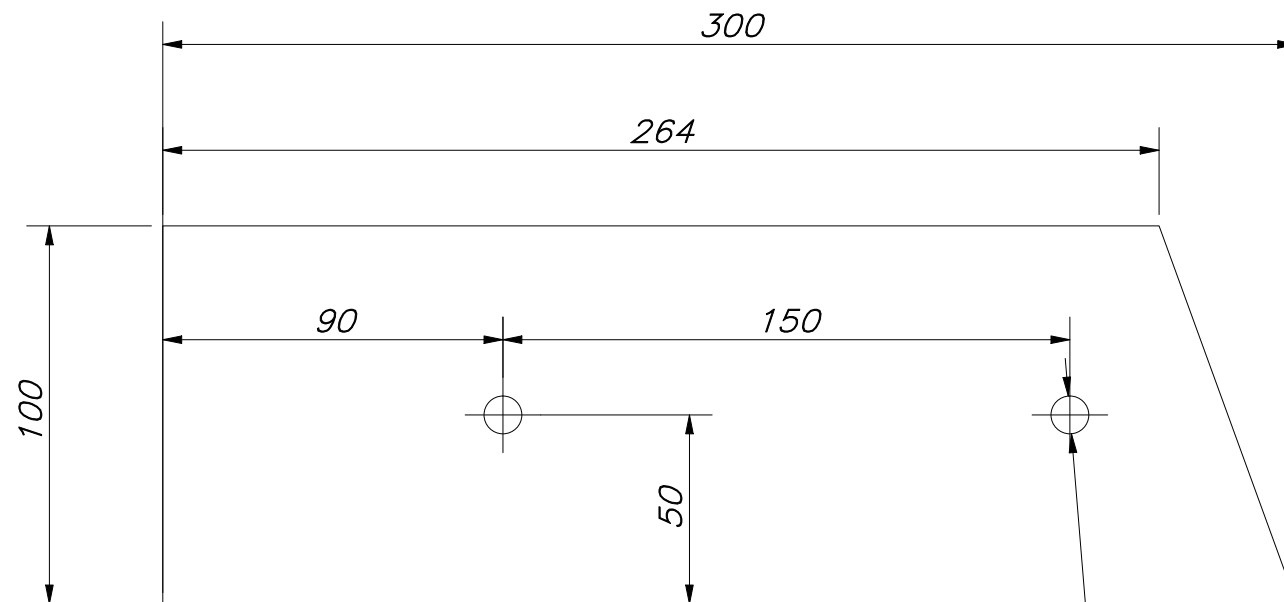
DETALLE A  
ESCALA 1 : 1



PERFIL  
ESCALA 1 : 5



VERTEDERA  
ESCALA 1 : 5  
1 UNIDAD



CUCHILLA  
ESCALA 1 : 2  
ESPESOR 1/4"  
ACERO ASTM A653  
1 UNIDAD

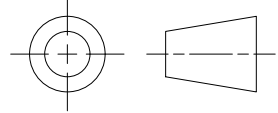
Ø 10 H7X2

**NOTA:**

- UNIDADES: mm, CASO QUE DIGA LO CONTRARIO

**PINTURA:**

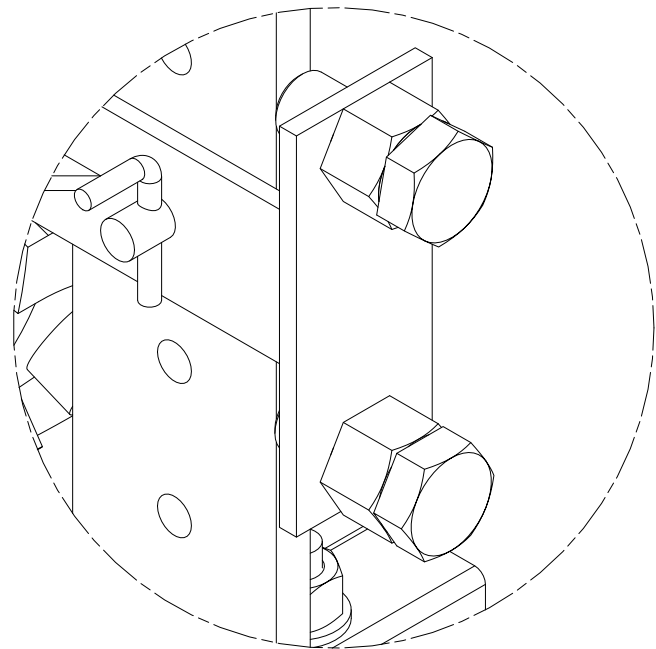
1. PREPARACIÓN DE SUPERFICIES SEGÚN NORMA SSPC-SP6
2. DOS MANOS DE ANTICORROSIVO EXPÓXICO (2 A 3 WILLS)

|                                                                                                               |                                                                        |                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| ACABADO SUPERFICIAL                                                                                           | TOLERANCIA GENERAL<br>DIN 7168-MEDIO                                   | MATERIAL<br>Acero ASTM A36 |
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA              |                                                                        |                            |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN<br> | VERTEDERA Y CUCHILLA                                                   | ESCALA<br>1 : 5            |
| HOJA: 16                                                                                                      | AUTORES: BACH. SUNI PACCO ELVIS RENE<br>BACH. LOAIZA TAIPE JUAN CARLOS | FECHA:<br>16/10/2025       |
| REVISADO POR: ING. ROOSBEL DENNIS MAMANI CASTILLO                                                             |                                                                        | FORMATO:<br>A3             |

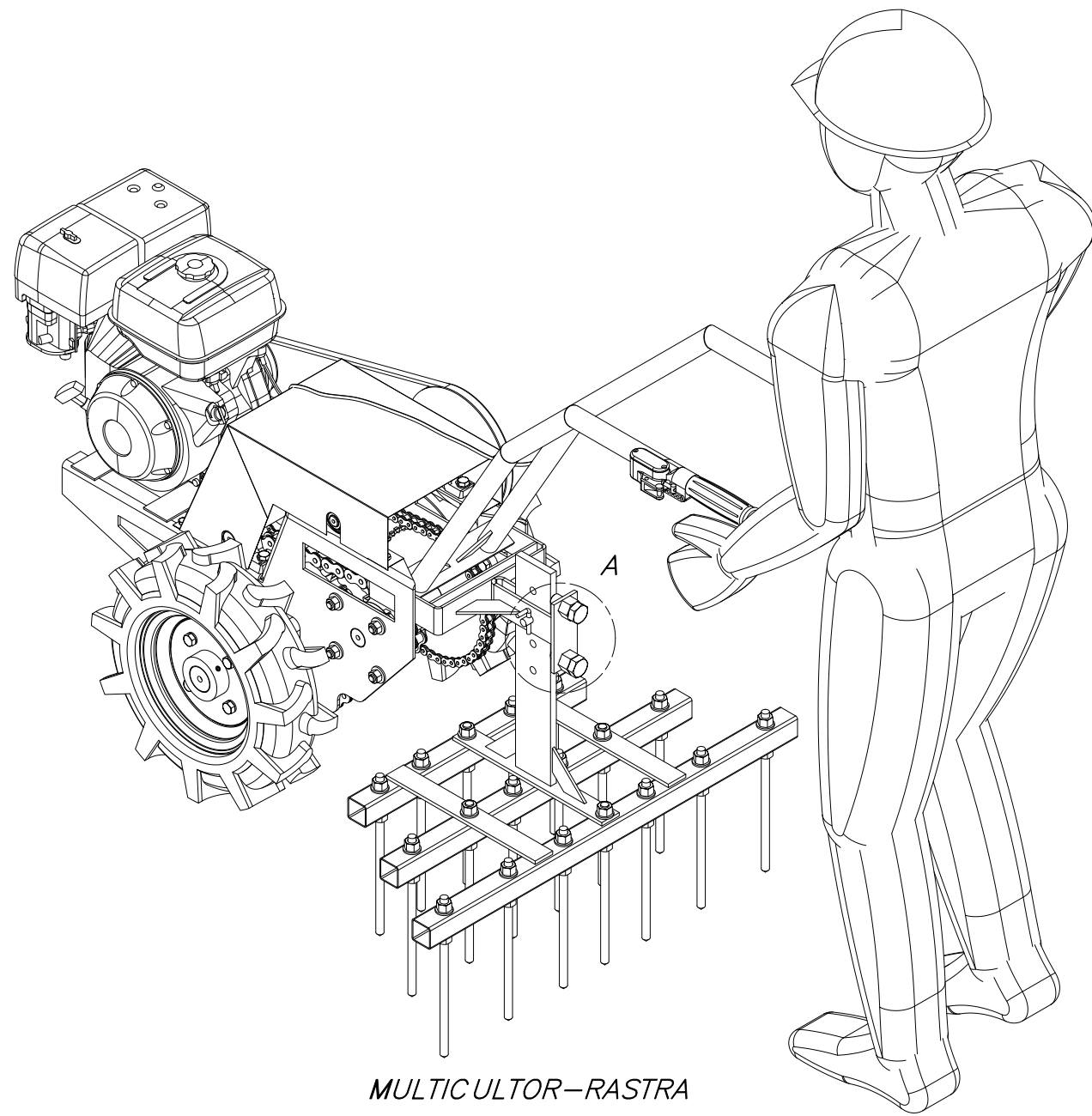
**TOLERANCIAS DIMENSIONALES  
SEGÚN DIN 7168**

| GRADO DE EXACTITUD | Más de 0,5 hasta 3 | Más de 3 hasta 6 | Más de 6 hasta 30 | Más de 30 hasta 120 | Más de 120 hasta 400 | Más de 400 hasta 1000 | Más de 1000 hasta 2000 |
|--------------------|--------------------|------------------|-------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| MEDIO              | ±0,1               | ±0,1             | ±0,2              | ±0,3                | ±0,5                 | ±0,8                  | ±1,2                   |

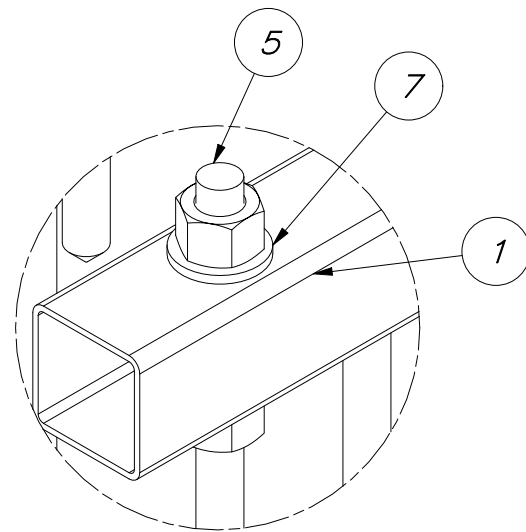
|              |             |             |
|--------------|-------------|-------------|
| 10 H7        | +15/0       | 10.015/10   |
| COTA NOMINAL | COTA MÁXIMA | COTA MÍNIMA |



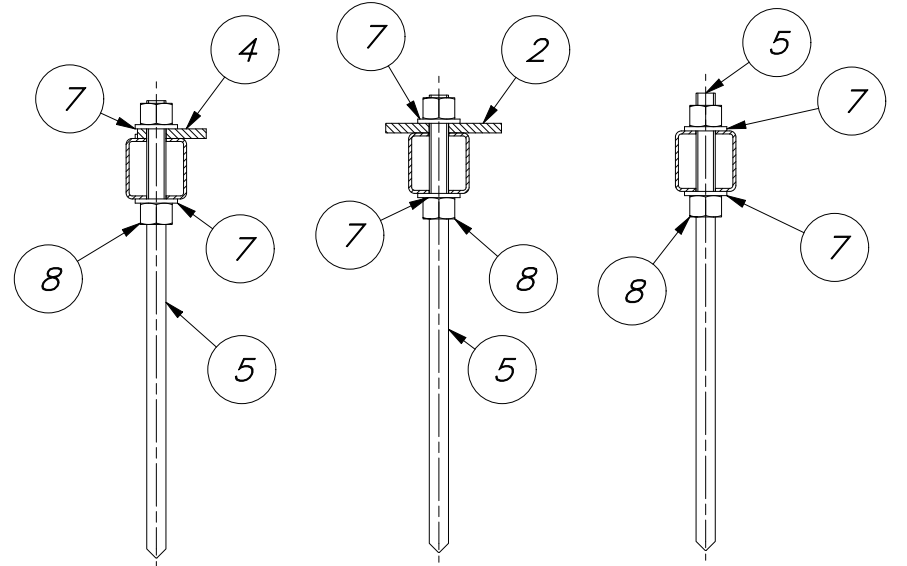
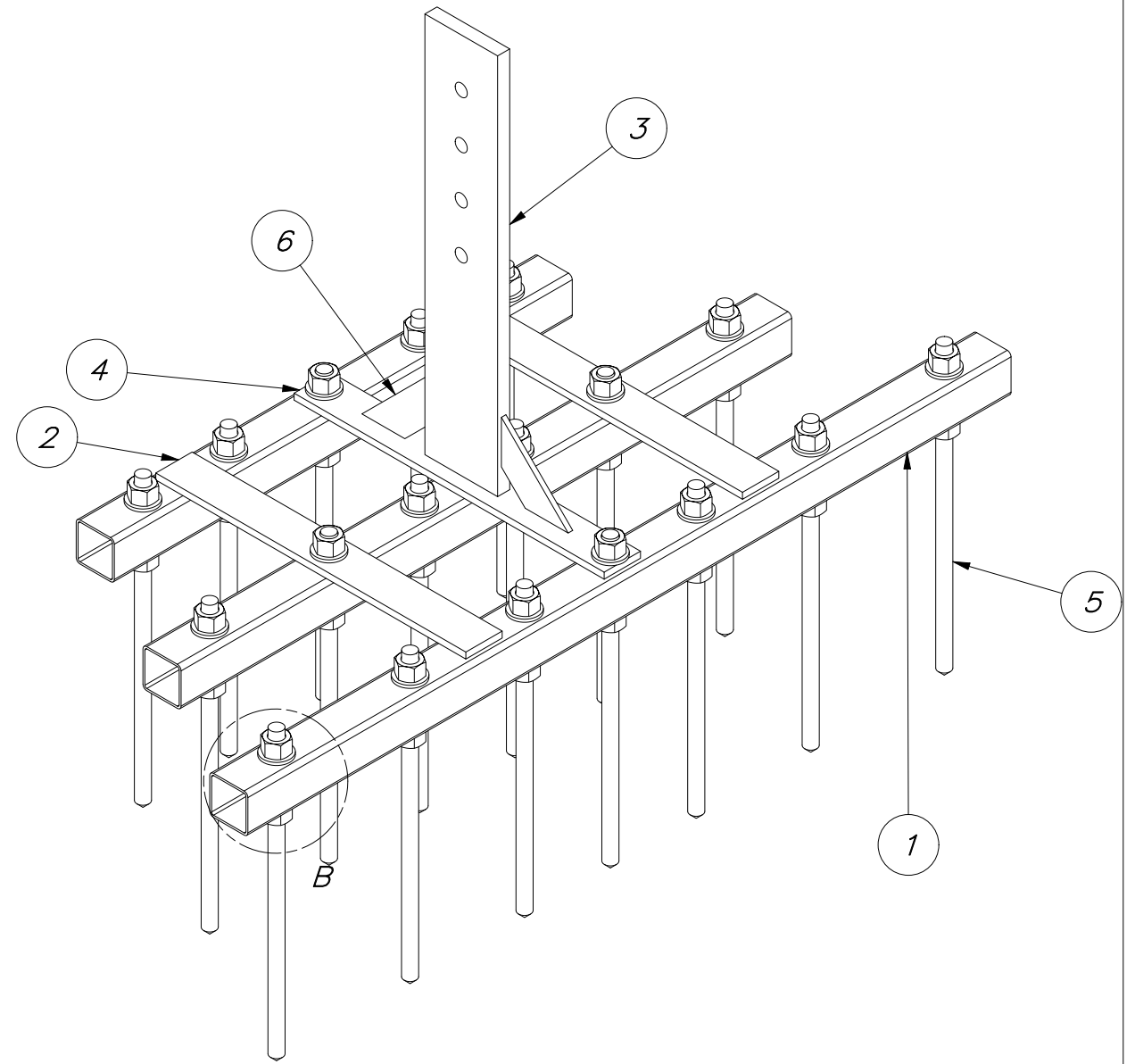
DETALLE A  
ESCALA 1 : 2



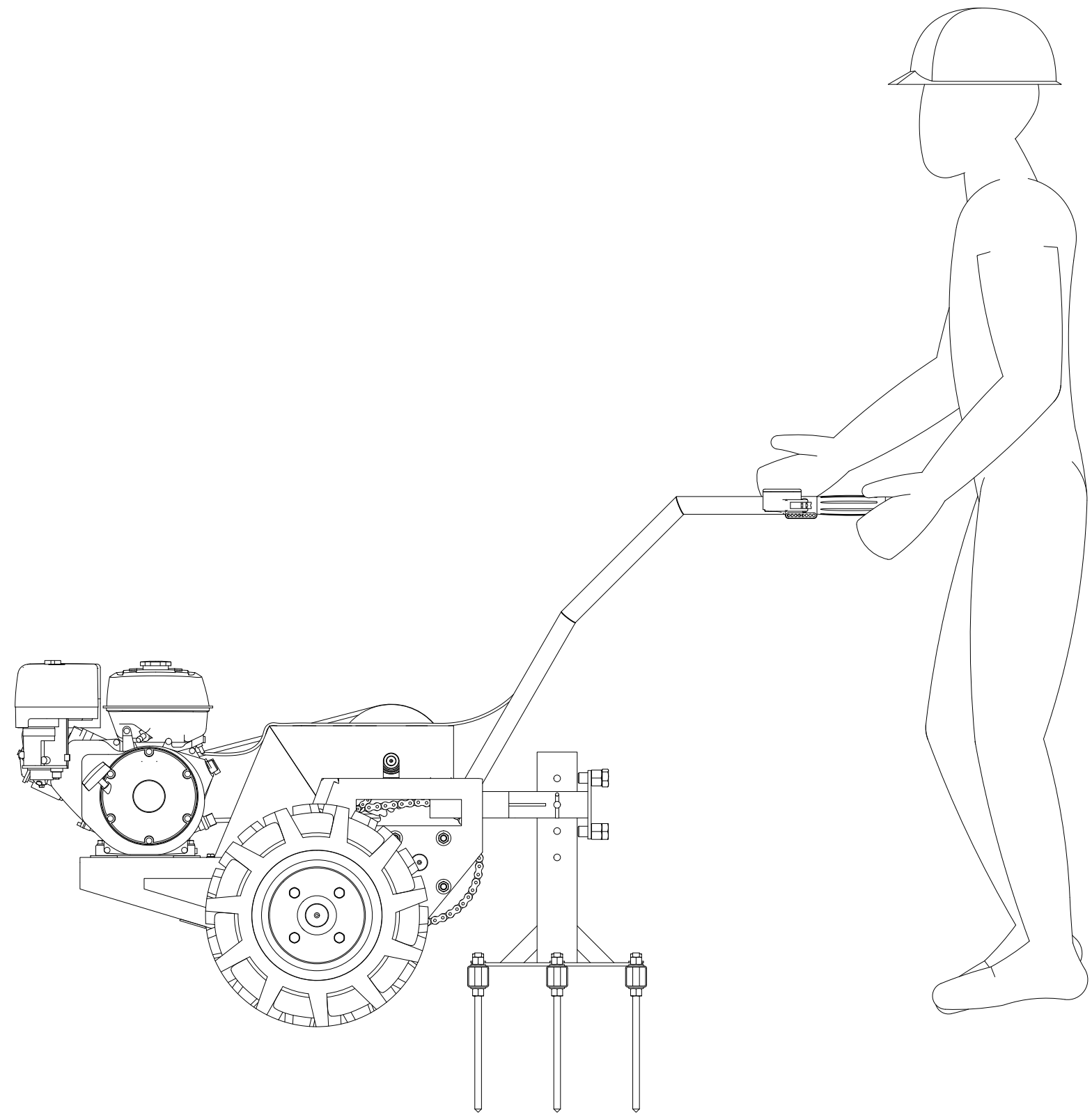
MULTICULTOR-RASTRA



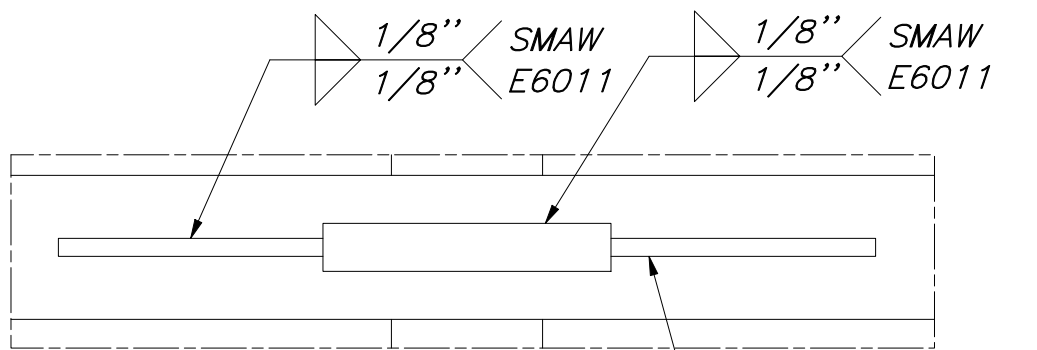
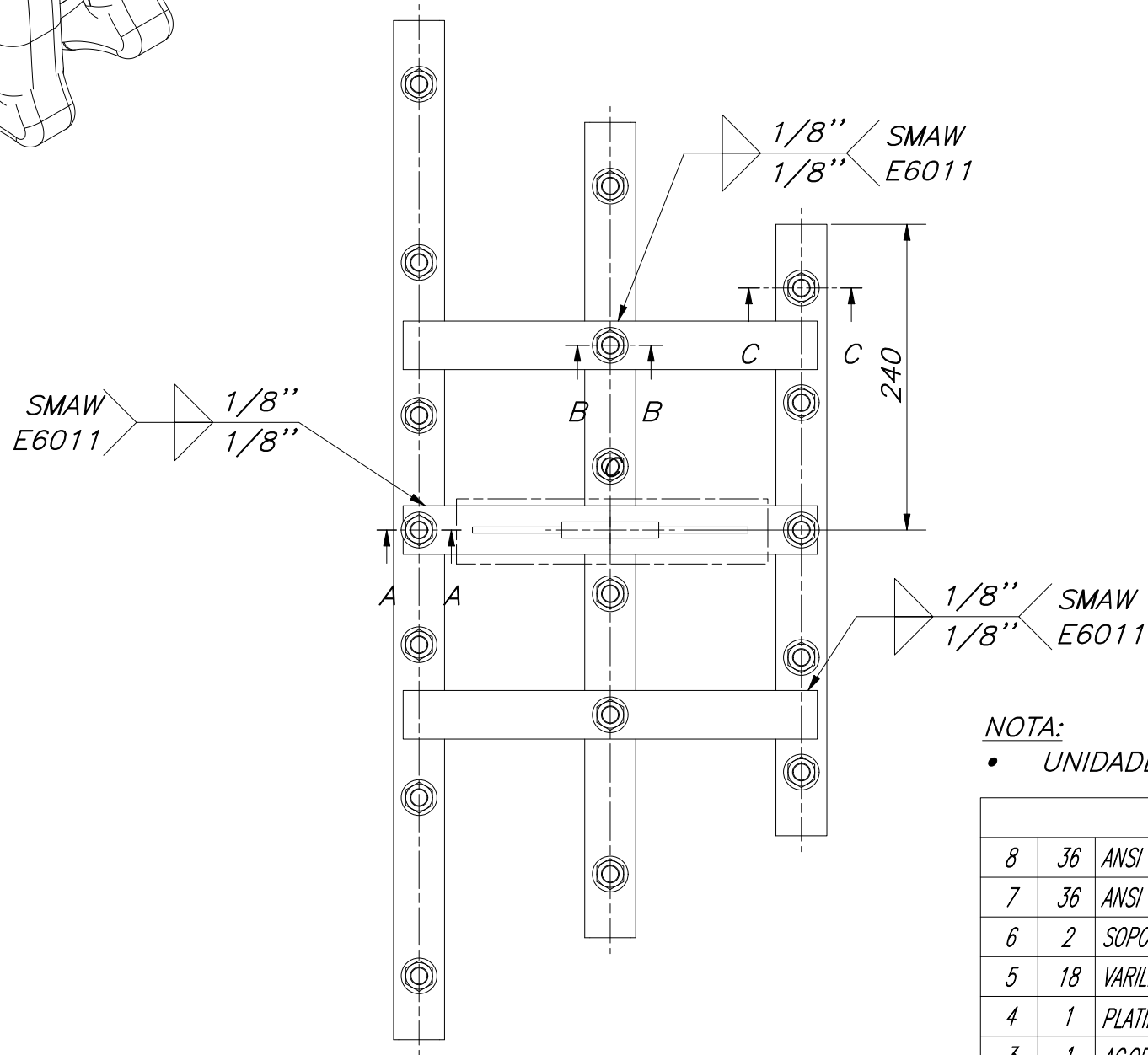
DETALLE B  
ESCALA 1 : 2



CORTE A-A    CORTE B-B    CORTE C-C



MULTICULTOR-RASTRA



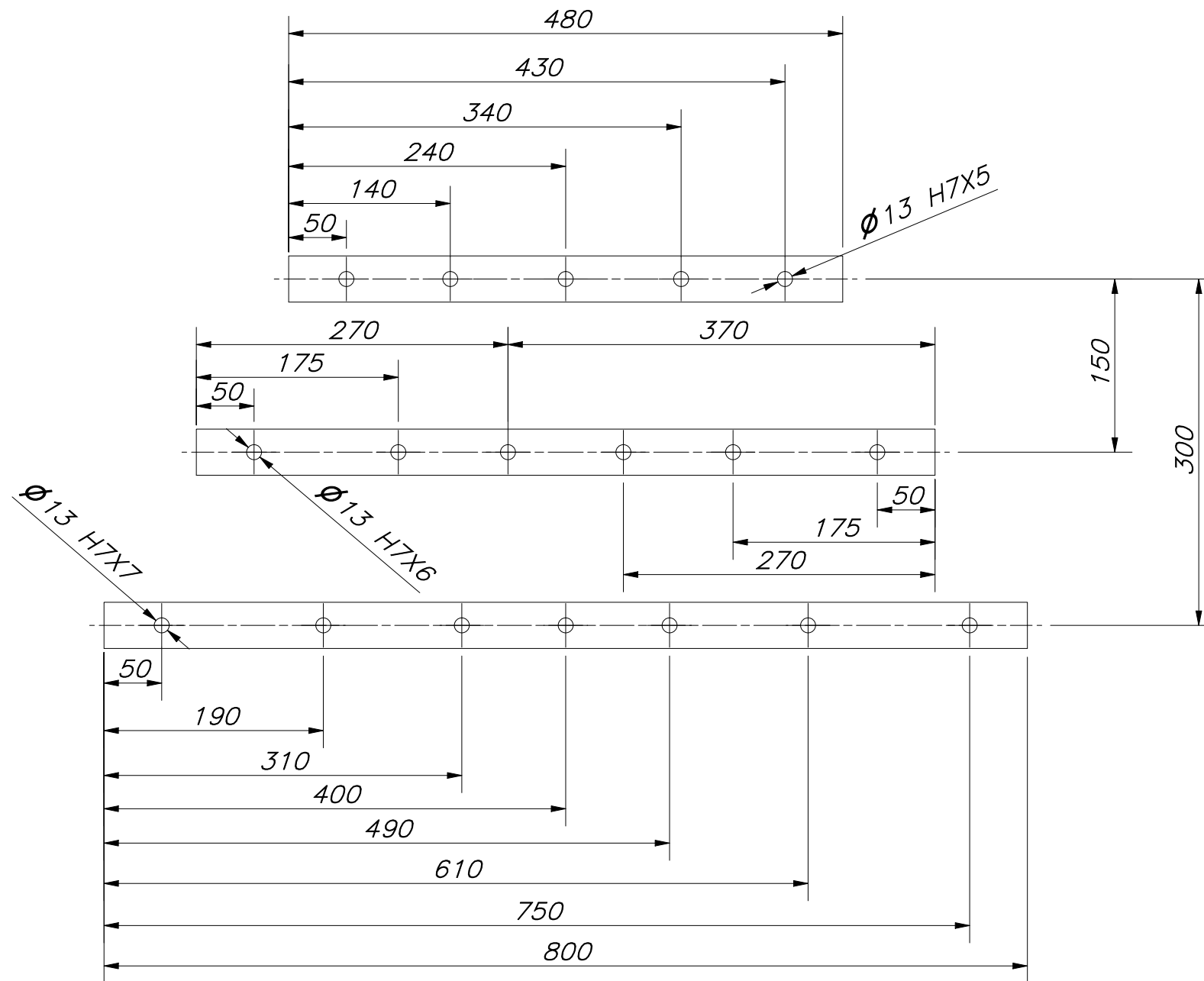
DETALLE C  
ESCALA 1 : 2

NOTA:  
• UNIDADES: mm, CASO QUE DIGA LO CONTRARIO

| LISTA DE COMPONENTES |       |                             |            |                |               |
|----------------------|-------|-----------------------------|------------|----------------|---------------|
| 8                    | 36    | ANSI B18.2.4.2M - M14x2     | B18.2.4.2M | Acero, suave   | ---           |
| 7                    | 36    | ANSI B18.22M - 14 N         | B18.22M    | Acero, suave   | ---           |
| 6                    | 2     | SOPORTE                     | ---        | Acero ASTM A36 | PLANO 16      |
| 5                    | 18    | VARILLAS                    | ---        | Acero ASTM A36 | PLANO 16      |
| 4                    | 1     | PLATINA LATERAL (TRAVESAÑO) | ---        | Acero ASTM A36 | PLANO 16      |
| 3                    | 1     | ACOPLE RASTRA (BRAZO)       | ---        | Acero ASTM A36 | PLANO 16      |
| 2                    | 2     | PLATINA CENTRAL (TRAVESAÑO) | ---        | Acero ASTM A36 | PLANO 16      |
| 1                    | 1     | ESTRUCTURA RASTRA           | ---        | ASTM 500       | PLANO 15      |
| POS.                 | CANT. | DESCRIPCIÓN                 | NORMA      | MATERIAL       | OBSERVACIONES |

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

| MÉTODO DE PROYECCIÓN                              |  | ESCALA                                                                |                     |
|---------------------------------------------------|--|-----------------------------------------------------------------------|---------------------|
|                                                   |  | RASTRA                                                                |                     |
|                                                   |  | 1 : 5                                                                 |                     |
| HOJA: 17                                          |  | AUTORES: BACH. SUNI PACCO ELVIS RENE<br>BACH. LOAIZA TAPE JUAN CARLOS | FECHA:<br>5/10/2025 |
| REVISADO POR: ING. ROOSBEL DENNIS MAMANI CASTILLO |  | FORMATO:<br>A2                                                        |                     |



**NOTA:**

- TODO LOS PERFILES:  $\square 38 \times 38 \times 3$  mm
- UNIDADES: mm, CASO QUE DIGA LO CONTRARIO

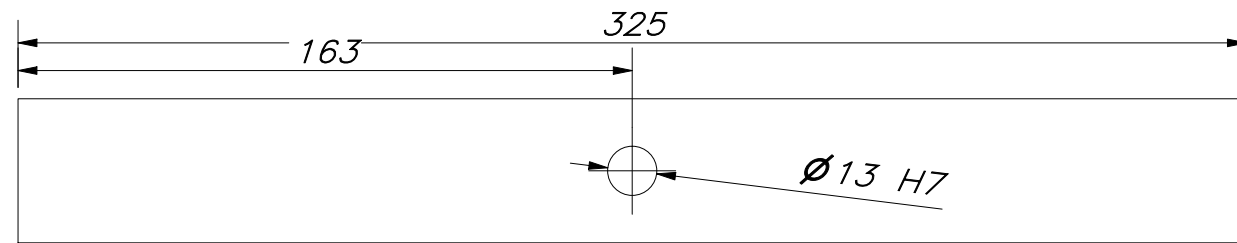
**PINTURA:**

1. PREPARACIÓN DE SUPERFICIES SEGÚN NORMA SSPC-SP6
2. DOS MANOS DE ANTICORROSIVO EXPÓXICO (2 A 3 WILLS)

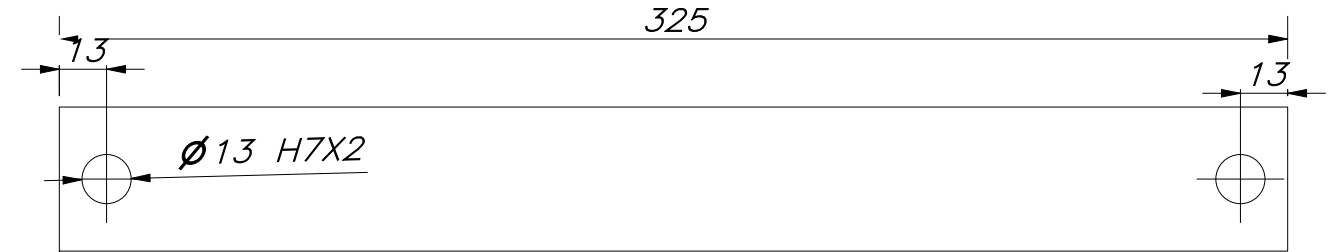
|                                                                                                  |                                                                        |                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| ACABADO SUPERFICIAL                                                                              | TOLERANCIA GENERAL                                                     | MATERIAL<br>ACERO ASTM A500 |
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA |                                                                        |                             |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN<br>                                                                         | ESTRUCTURA RASTRA                                                      | ESCALA<br>1 : 5             |
| HOJA: 18                                                                                         | AUTORES: BACH. SUNI PACCO ELVIS RENE<br>BACH. LOAIZA TAIPE JUAN CARLOS | FECHA:<br>5/10/2025         |
| REVISADO POR: ING. ROOSBEL DENNIS MAMANI CASTILLO                                                |                                                                        | FORMATO:<br>A3              |

| TOLERANCIAS DIMENSIONALES<br>SEGÚN DIN 7168 |                    |                  |                   |                     |                      |                       |                        |
|---------------------------------------------|--------------------|------------------|-------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| GRADO DE EXACTITUD                          | Más de 0,5 hasta 3 | Más de 3 hasta 6 | Más de 6 hasta 30 | Más de 30 hasta 120 | Más de 120 hasta 400 | Más de 400 hasta 1000 | Más de 1000 hasta 2000 |
| MEDIO                                       | $\pm 0,1$          | $\pm 0,1$        | $\pm 0,2$         | $\pm 0,3$           | $\pm 0,5$            | $\pm 0,8$             | $\pm 1,2$              |

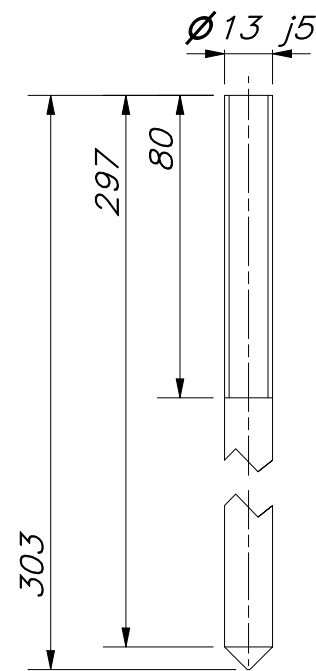
|              |             |             |
|--------------|-------------|-------------|
| 13 H7        | +18/0       | 13.018/13   |
| COTA NOMINAL | COTA MÁXIMA | COTA MÍNIMA |



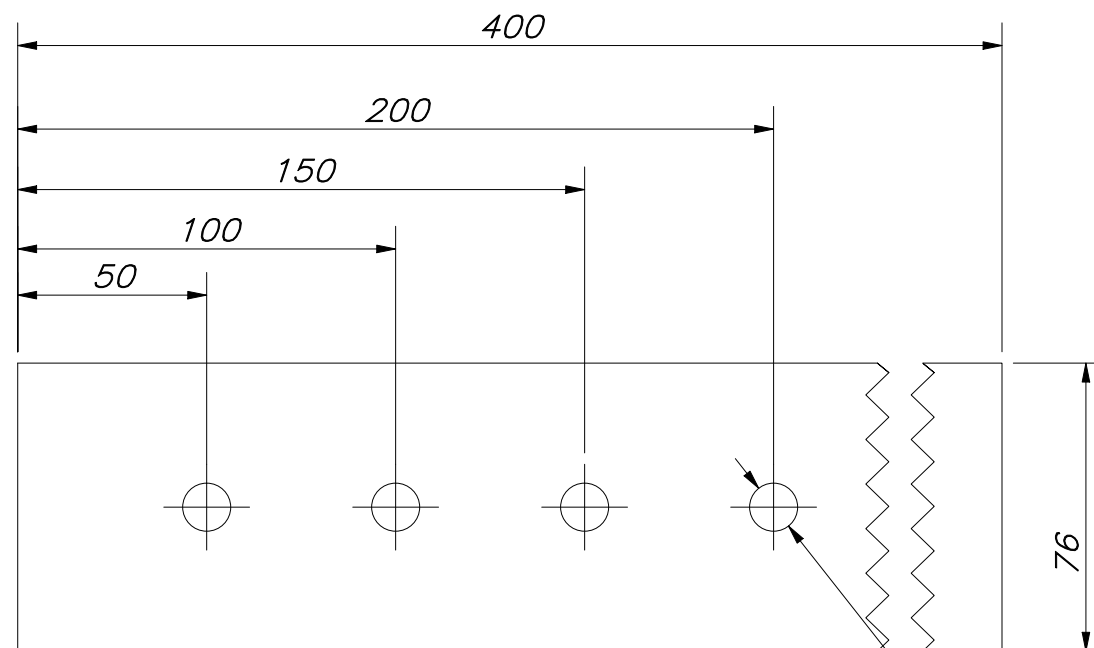
PLATINA LATERAL  
ESCALA 1 : 2  
PLATINA 1/4"x1 1/2"  
2 UNIDADES



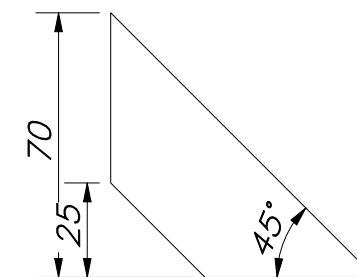
PLATINA CENTRAL  
ESCALA 1 : 2  
PLATINA 1/4"x1 1/2"  
1 UNIDAD



VARILLA  
ESCALA 1 : 2  
 $\varnothing$  1/2"  
18 UNIDADES



ACOPLE RASTRA (BRAZO)  
ESCALA 1 : 2  
PLATINA 1/2"x3"



SOPORTE  
ESCALA 1 : 2  
ESPESOR 3/16"  
2 UNIDADES

**NOTA:**

- UNIDADES: mm, CASO QUE DIGA LO CONTRARIO

**PINTURA:**

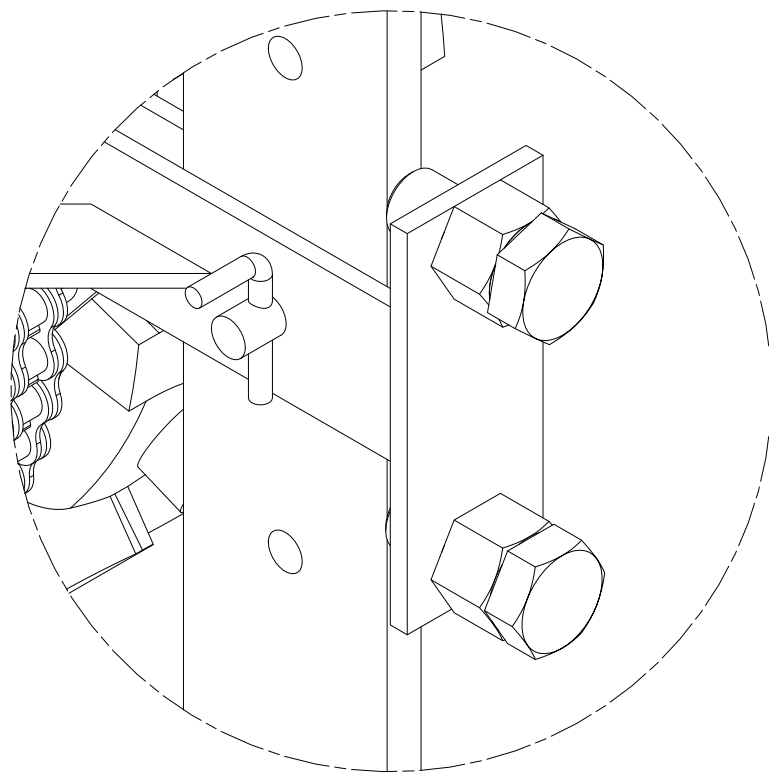
1. PREPARACIÓN DE SUPERFICIES SEGÚN NORMA SSPC-SP6
2. DOS MANOS DE ANTICORROSIVO EXPÓXICO (2 A 3 WILLS)

|                                                                                                  |                                                                        |                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| ACABADO SUPERFICIAL                                                                              | TOLERANCIA GENERAL                                                     | MATERIAL            |
|                                                                                                  |                                                                        | Acero ASTM A36      |
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA |                                                                        |                     |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN                                                                             | PLATINAS, VARILLAS Y ACOPLE<br>RASTRA (BRAZO)                          | ESCALA<br>1 : 2     |
|                                                                                                  |                                                                        |                     |
| HOJA: 19                                                                                         | AUTORES: BACH. SUNI PACCO ELVIS RENE<br>BACH. LOAIZA TAIPE JUAN CARLOS | FECHA:<br>5/10/2025 |
| REVISADO POR: ING. ROOSBEL DENNIS MAMANI CASTILLO                                                |                                                                        | FORMATO:<br>A3      |

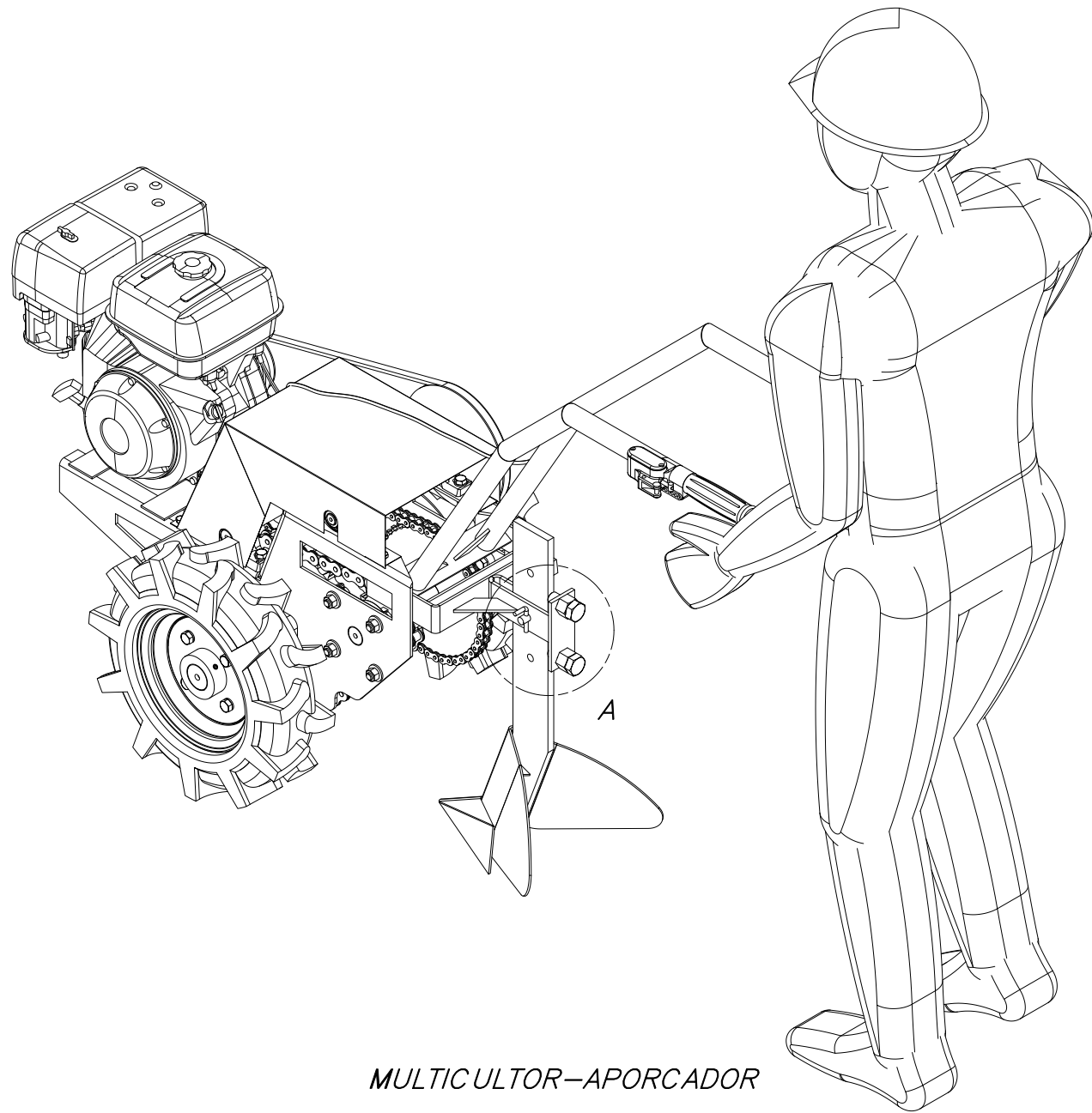
**TOLERANCIAS DIMENSIONALES  
SEGÚN DIN 7168**

| GRADO DE EXACTITUD | Más de 0,5 hasta 3 | Más de 3 hasta 6 | Más de 6 hasta 30 | Más de 30 hasta 120 | Más de 120 hasta 400 | Más de 400 hasta 1000 | Más de 1000 hasta 2000 |
|--------------------|--------------------|------------------|-------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| MEDIO              | ±0,1               | ±0,1             | ±0,2              | ±0,3                | ±0,5                 | ±0,8                  | ±1,2                   |

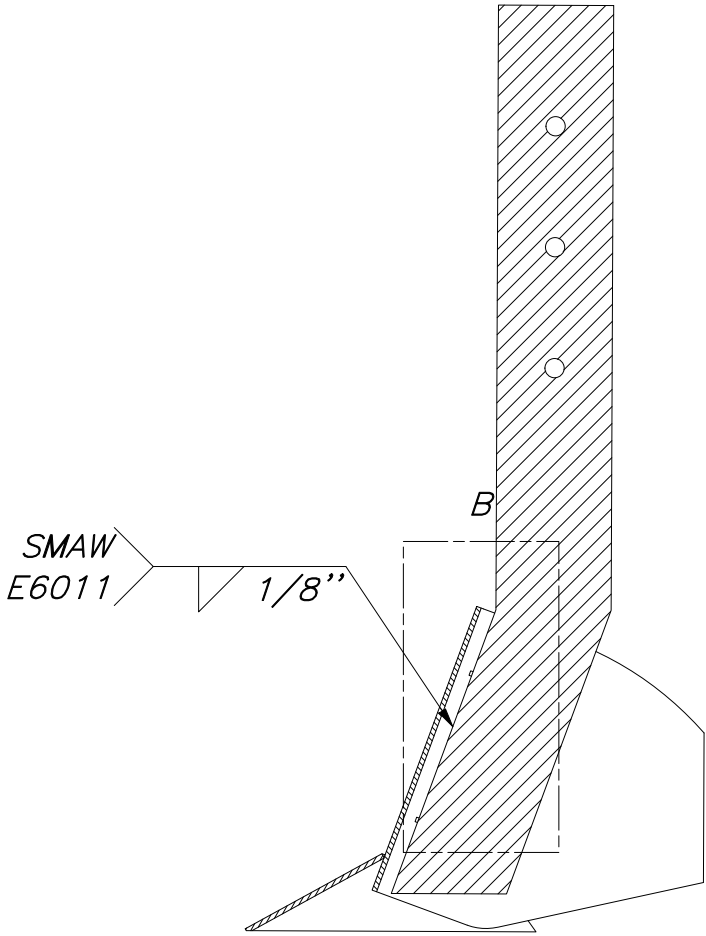
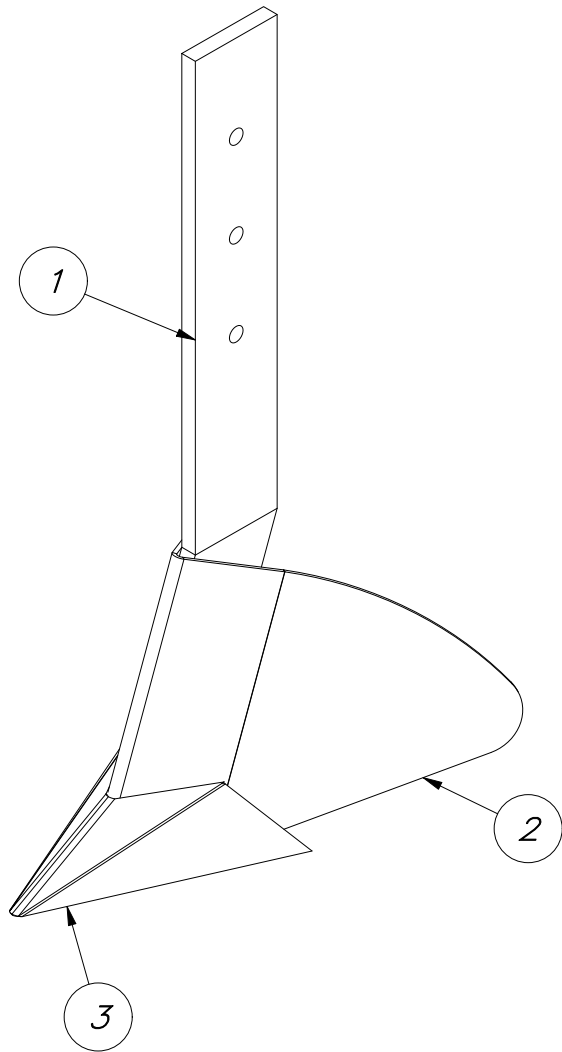
|              |             |             |
|--------------|-------------|-------------|
| 13 j5        | +5/-3       | 13.05/12.97 |
| 20 H7        | +21/0       | 20.021/21   |
| 13 H7        | +18/0       | 13.018/13   |
| COTA NOMINAL | COTA MÁXIMA | COTA MÍNIMA |



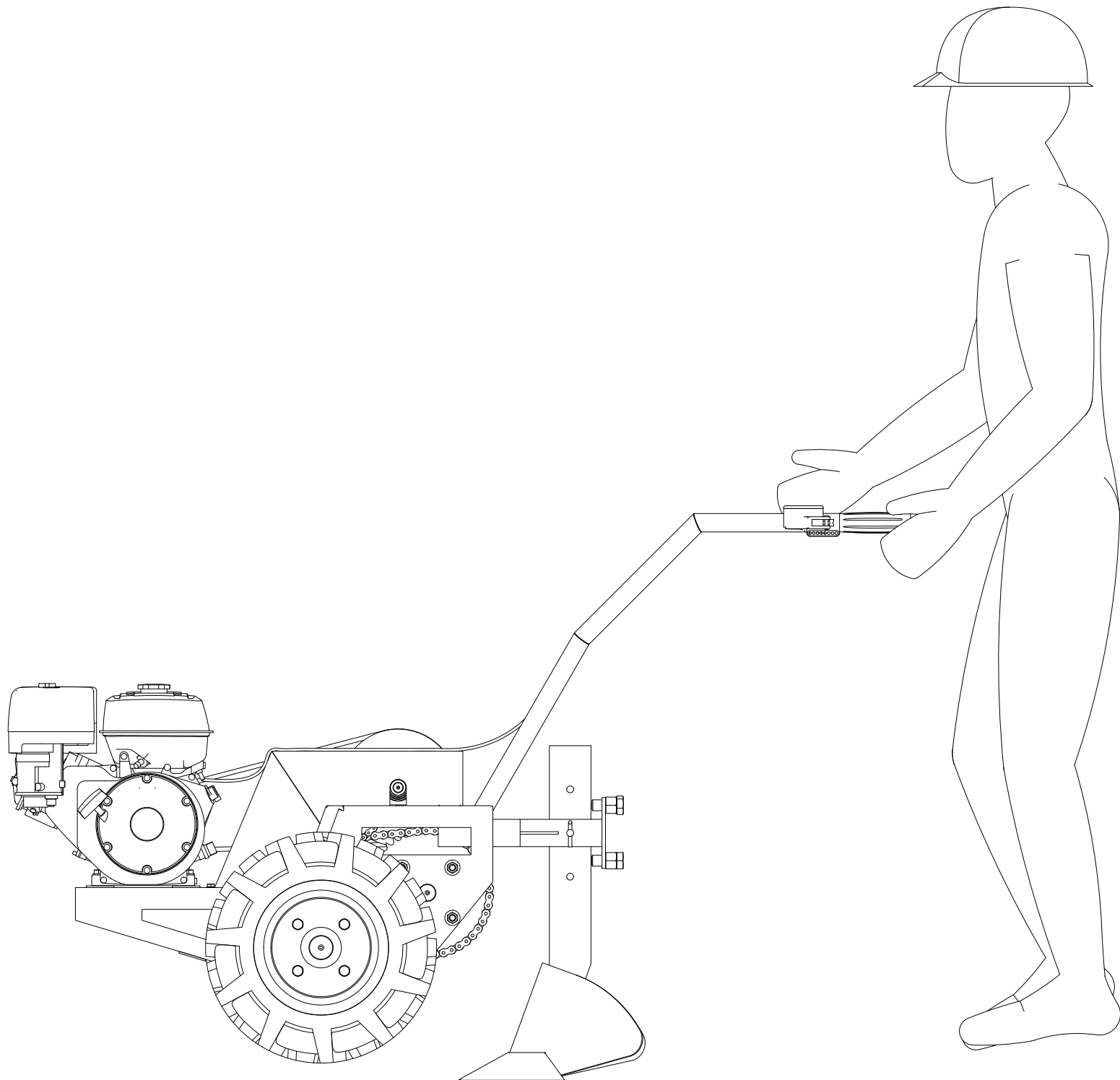
DETALLE A  
ESCALA 1 : 2



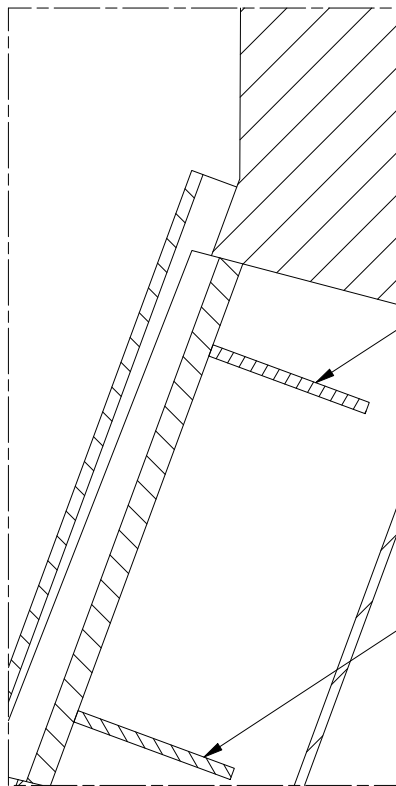
MULTICULTOR-APORCADOR



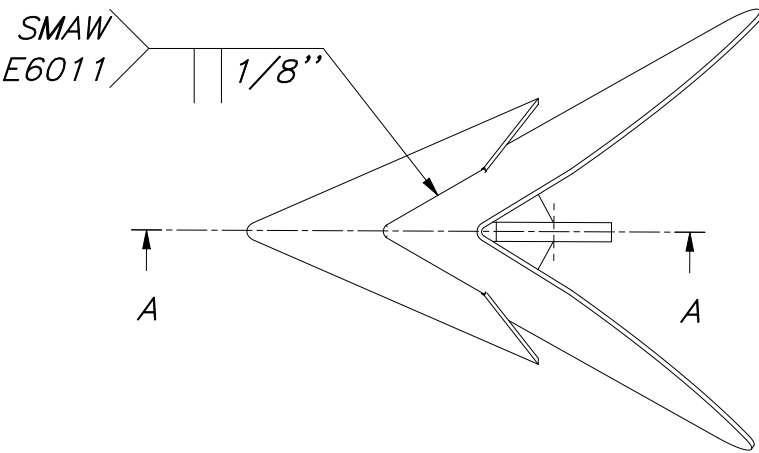
CORTE A-A

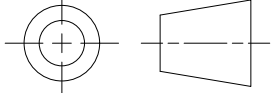


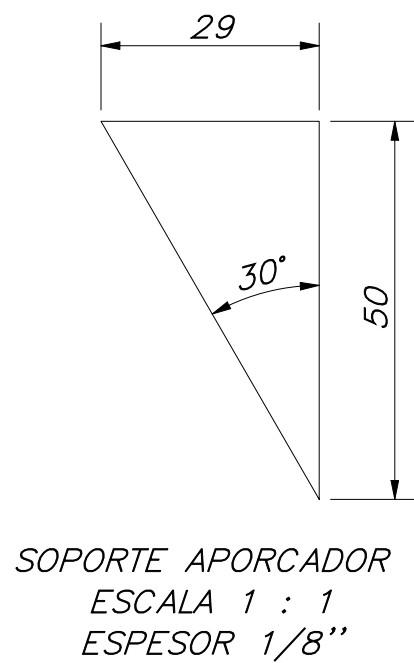
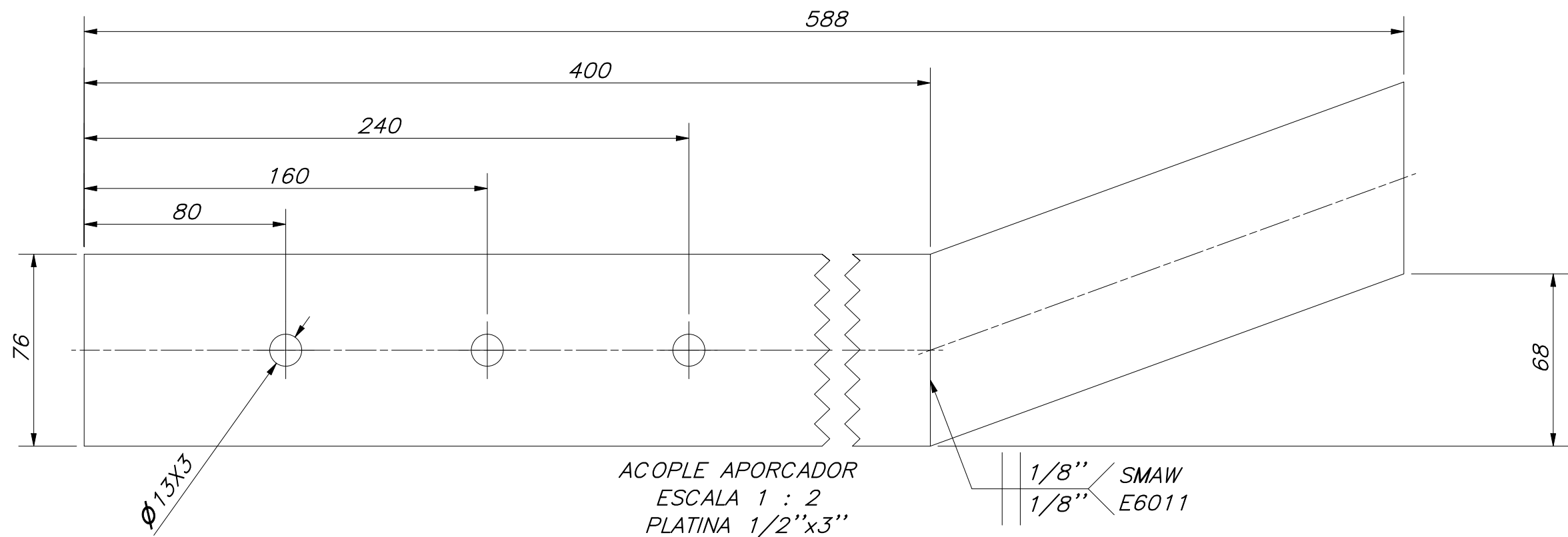
MULTICULTOR-APORCADOR



DETALLE B  
ESCALA 1 : 2



| LISTA DE COMPONENTES                                                                  |       |                                                                        |       |                 |                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------|------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------|---------------------|
| 4                                                                                     | 4     | SOPORTE APORCADOR                                                      | ---   | Acero ASTM A36  | PLANO 18            |
| 3                                                                                     | 1     | PUNTA                                                                  | ---   | Acero ASTM A653 | PLANO 19            |
| 2                                                                                     | 1     | VERTEDERA                                                              | ---   | Acero ASTM A36  | PLANO 19            |
| 1                                                                                     | 1     | ACOPLE APORCADOR (BRAZO)                                               | ---   | Acero ASTM A36  | PLANO 18            |
| POS.                                                                                  | CANT. | DESCRIPCIÓN                                                            | NORMA | MATERIAL        | OBSERVACIONES       |
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO                                    |       |                                                                        |       |                 |                     |
| ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECÁNICA                                            |       |                                                                        |       |                 |                     |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN                                                                  |       | APORCADOR                                                              |       |                 | ESCALA              |
|  |       |                                                                        |       |                 | 1 : 5               |
| HOJA: 20                                                                              |       | AUTORES: BACH. SUNI PACCO ELVIS RENE<br>BACH. LOAIZA TAIPE JUAN CARLOS |       |                 | FECHA:<br>5/10/2025 |
| REVISADO POR: ING. ROOSBEL DENNIS MAMANI CASTILLO                                     |       |                                                                        |       |                 | FORMATO:<br>A2      |



**NOTA:**

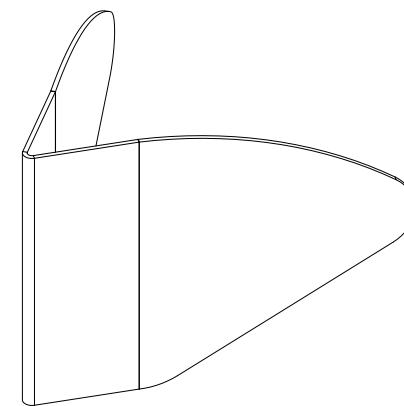
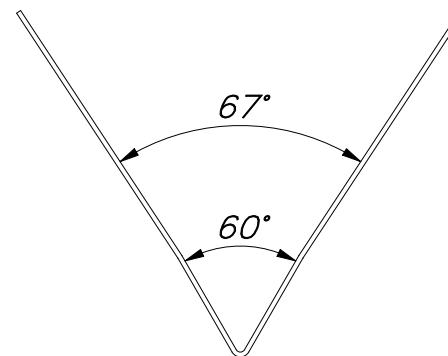
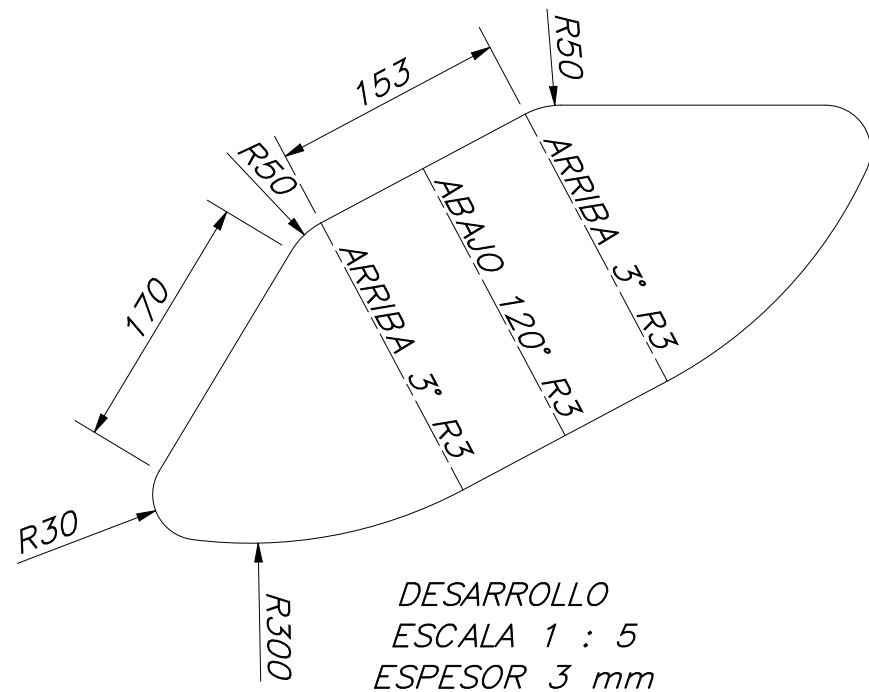
- UNIDADES: mm, CASO QUE DIGA LO CONTRARIO

**PINTURA:**

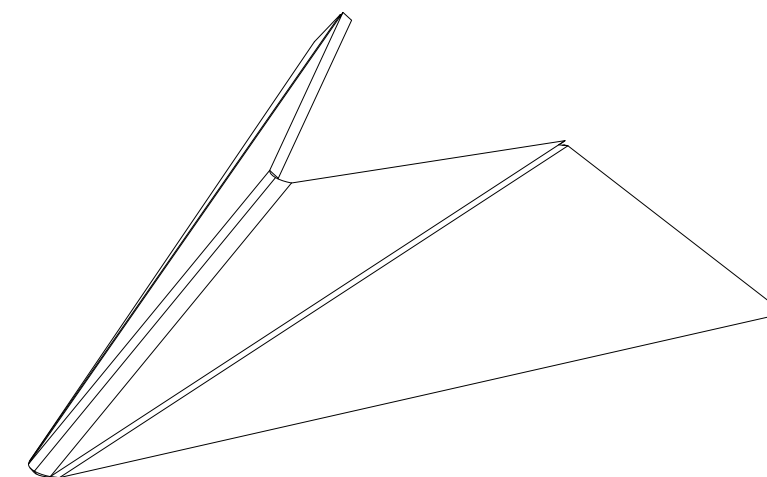
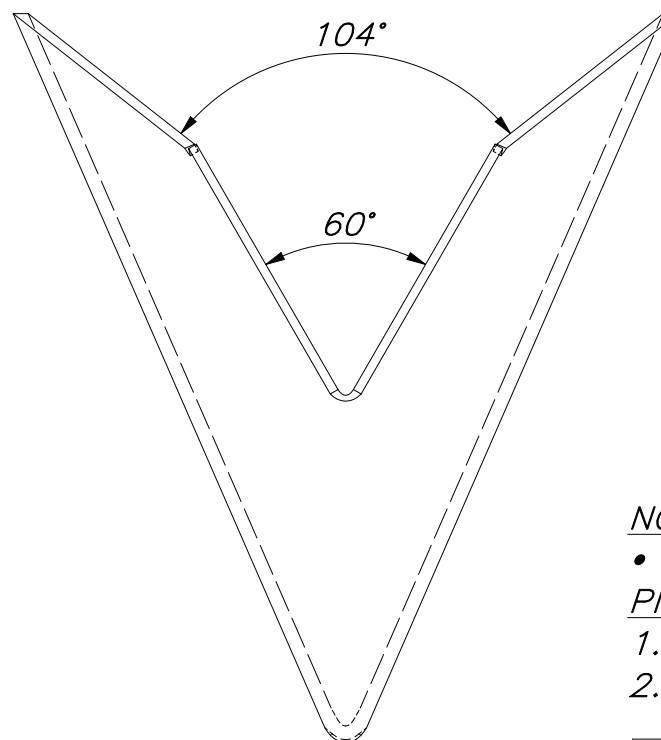
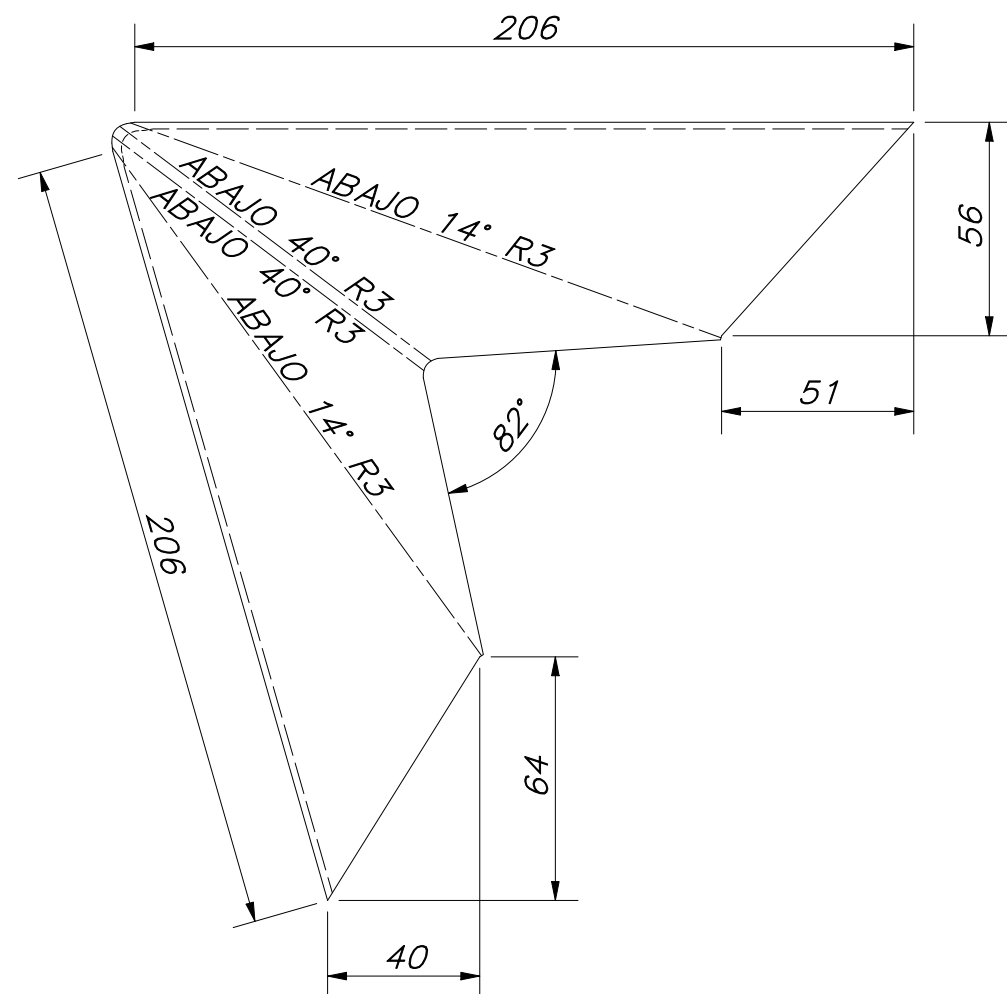
1. PREPARACIÓN DE SUPERFICIES SEGÚN NORMA SSPC-SP6
2. DOS MANOS DE ANTICORROSIVO EXPÓXICO (2 A 3 WILLS)

| ACABADO SUPERFICIAL                                                                              | TOLERANCIA GENERAL                                                     | MATERIAL         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------|
|                                                                                                  |                                                                        | Acero ASTM A36   |
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA |                                                                        |                  |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN                                                                             | ACOPLE APORCADOR (BRAZO)                                               | ESCALA           |
|                                                                                                  |                                                                        | 1 : 2            |
| HOJA: 21                                                                                         | AUTORES: BACH. SUNI PACCO ELVIS RENE<br>BACH. LOAIZA TAIPE JUAN CARLOS | FECHA: 5/10/2025 |
| REVISADO POR: ING. ROOSBEL DENNIS MAMANI CASTILLO                                                |                                                                        | FORMATO: A3      |

| COTA NOMINAL | COTA MÁXIMA | COTA MÍNIMA |
|--------------|-------------|-------------|
|              |             |             |



VERTEDERA  
ESCALA 1 : 5  
1 UNIDAD



PUNTA  
ESCALA 1 : 2  
1 UNIDAD

**NOTA:**

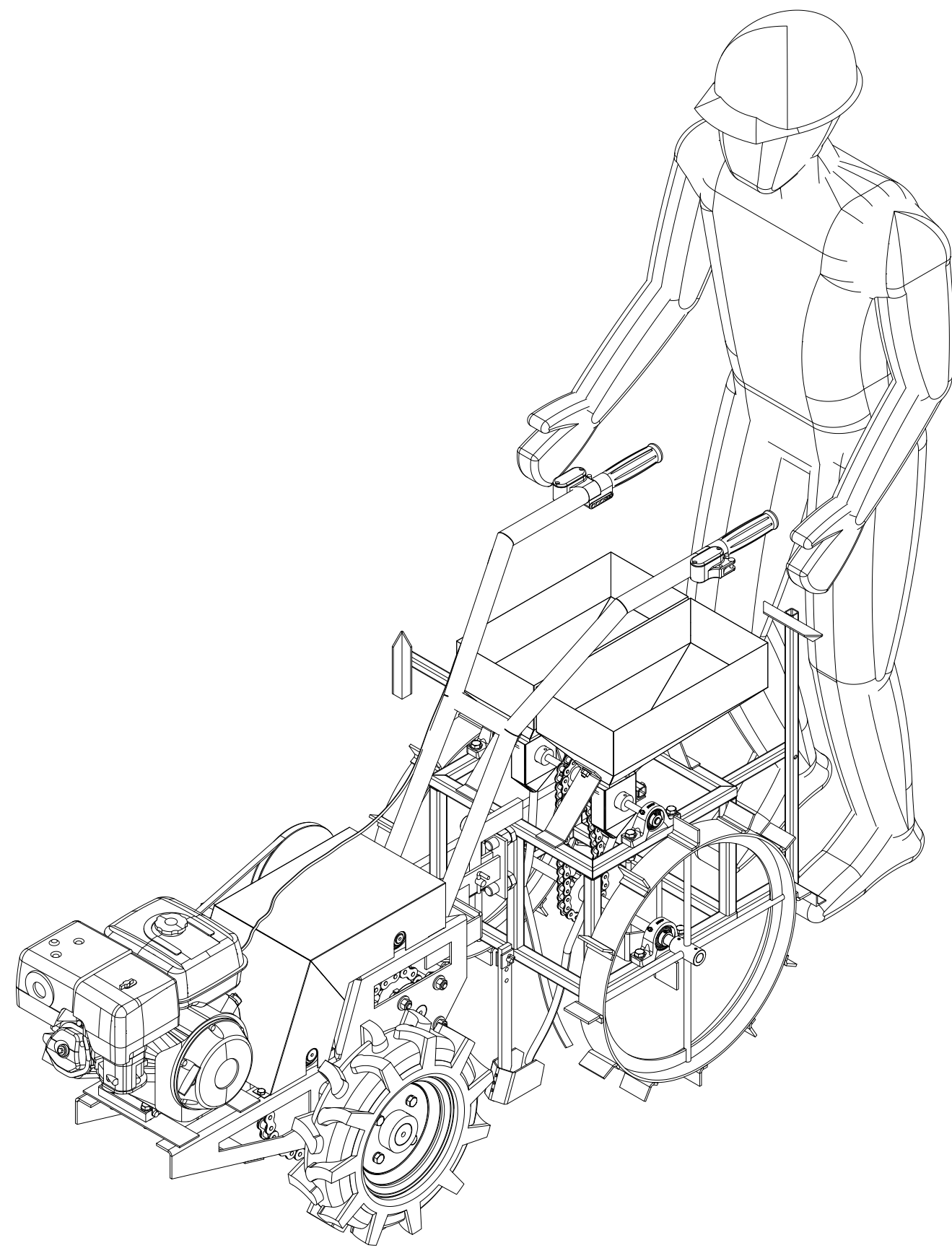
- UNIDADES: mm, CASO QUE DIGA LO CONTRARIO

**PINTURA:**

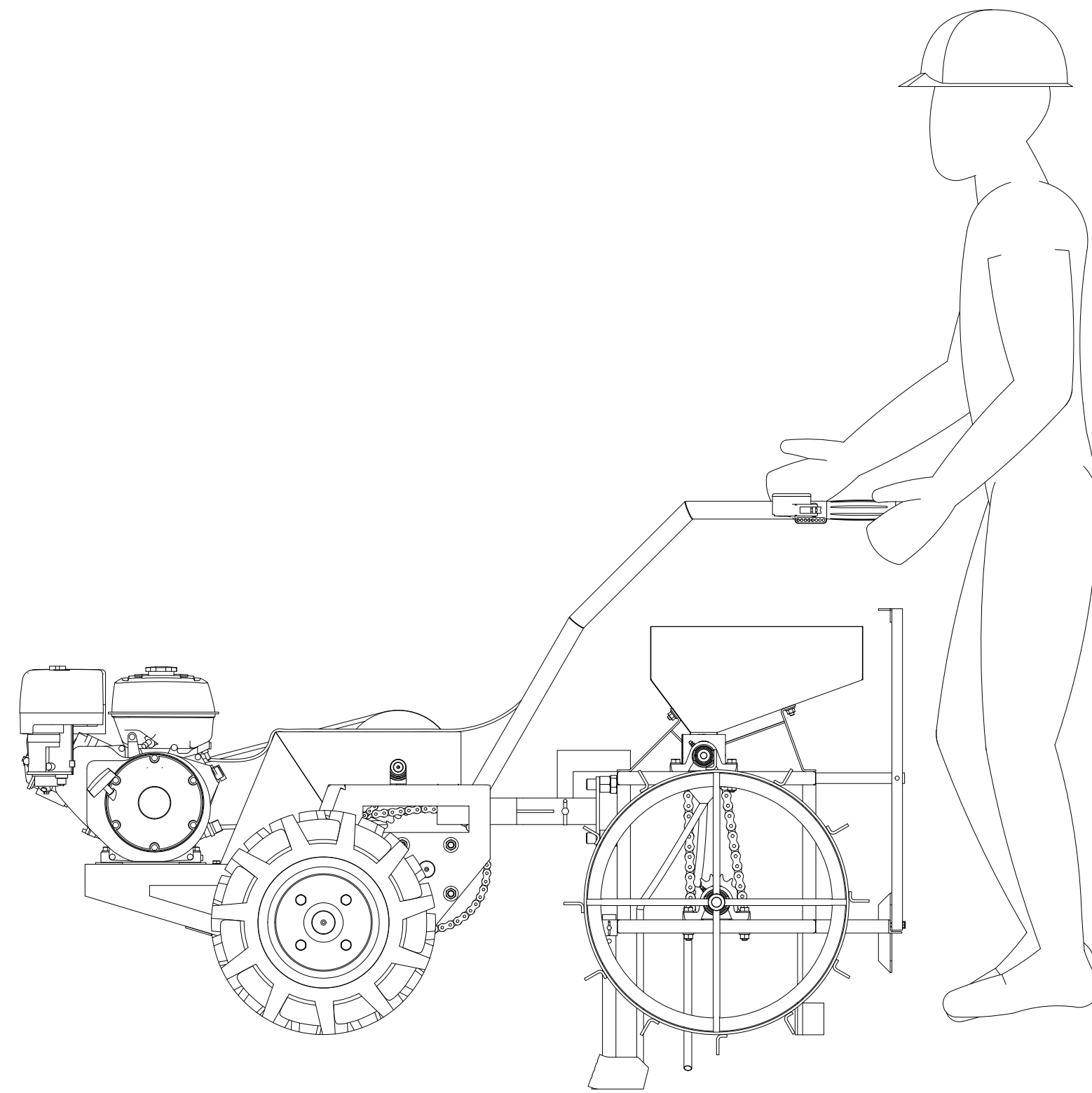
1. PREPARACIÓN DE SUPERFICIES SEGÚN NORMA SSPC-SP6
2. DOS MANOS DE ANTICORROSIVO EXPÓXICO (2 A 3 WILLS)

| ACABADO SUPERFICIAL                                                                              | TOLERANCIA GENERAL                                                     | MATERIAL             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------|
|                                                                                                  |                                                                        | Acero ASTM A36       |
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA |                                                                        |                      |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN                                                                             | VERTEDERA Y PUNTA                                                      |                      |
|                                                                                                  | ESCALA<br>1 : 5                                                        |                      |
| HOJA: 22                                                                                         | AUTORES: BACH. SUNI PACCO ELVIS RENE<br>BACH. LOAIZA TAIPE JUAN CARLOS | FECHA:<br>12/10/2025 |
| REVISADO POR: ING. ROOSBEL DENNIS MAMANI CASTILLO                                                |                                                                        | FORMATO:<br>A3       |

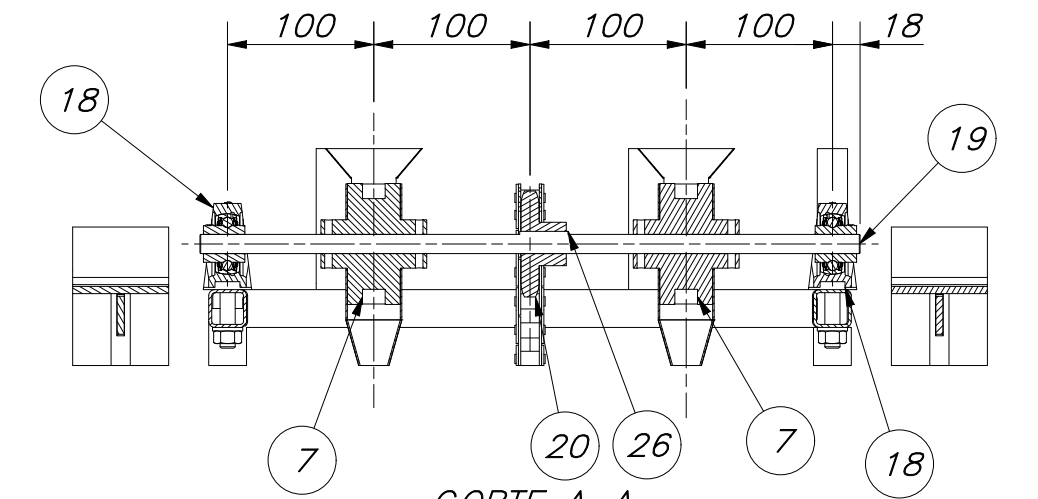
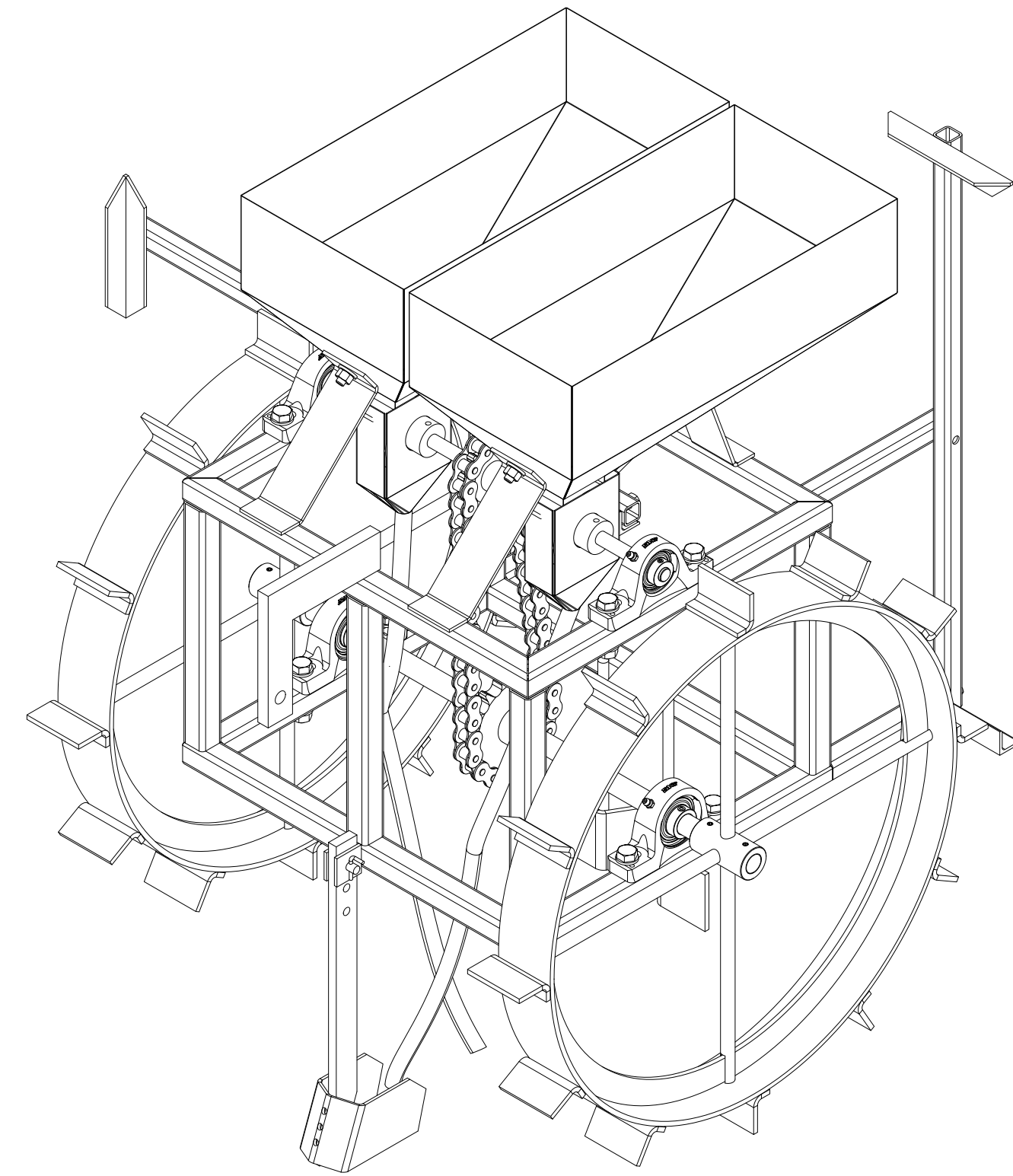
| COTA NOMINAL | COTA MÁXIMA | COTA MÍNIMA |
|--------------|-------------|-------------|
|--------------|-------------|-------------|



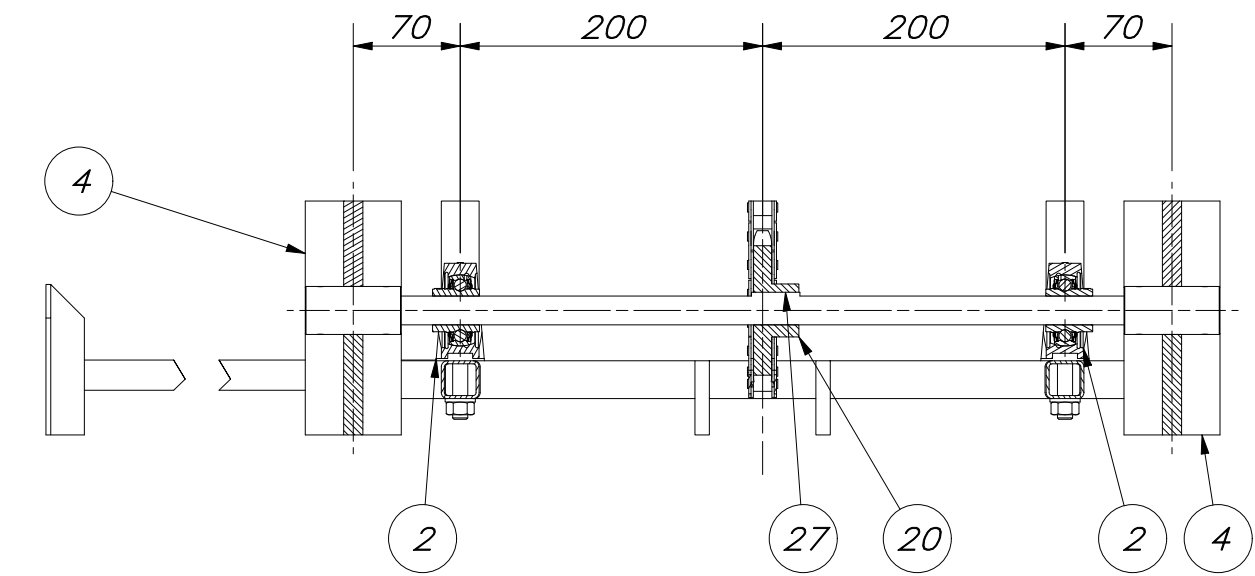
MULTICULTOR-SEMBRADORA



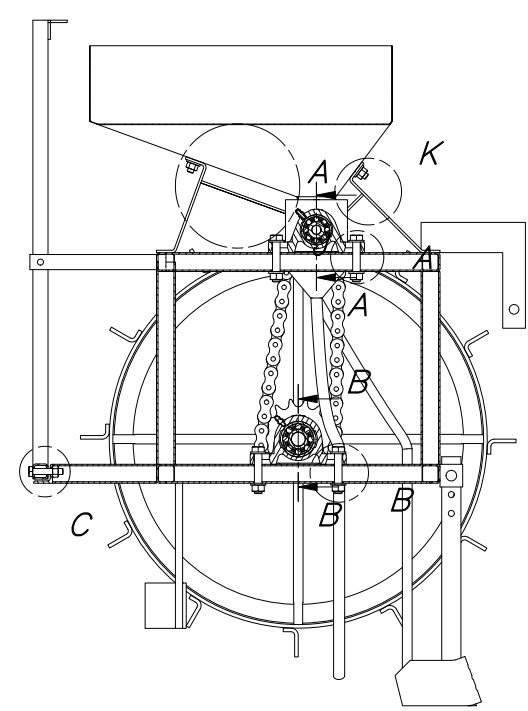
MULTICULTOR-SEMBRADORA



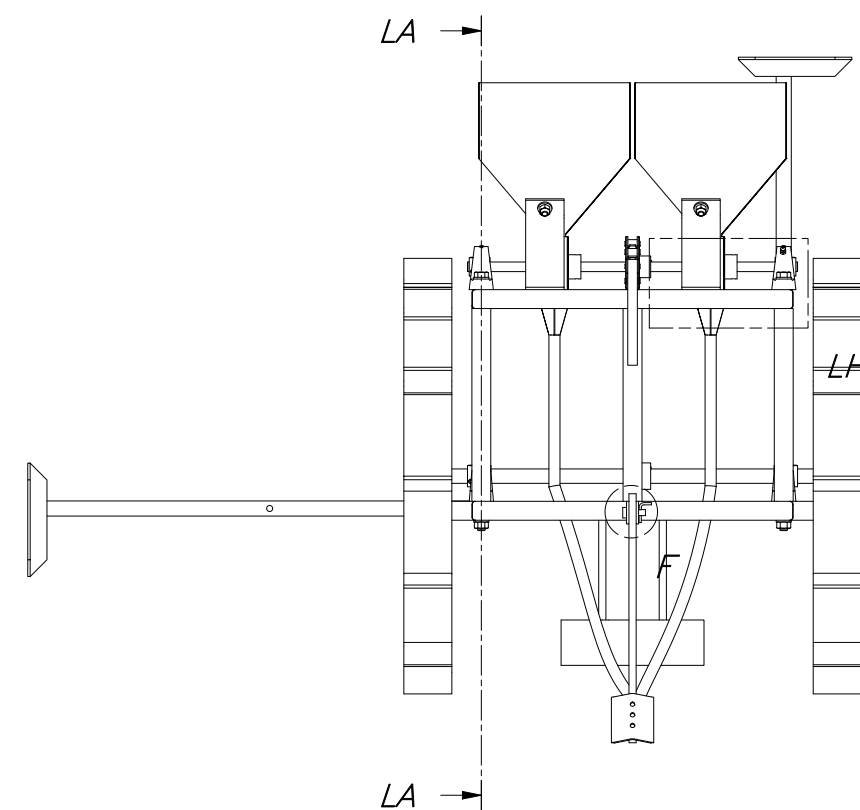
CORTE A-A  
ESCALA 1 : 5



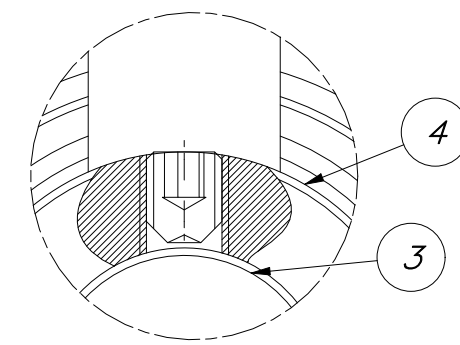
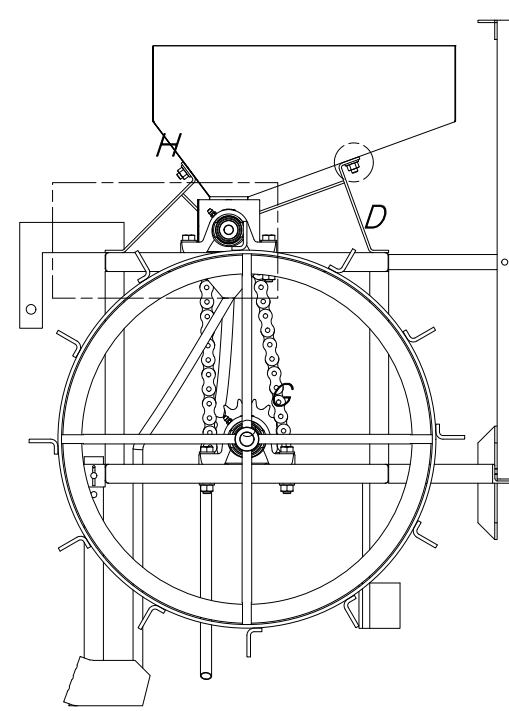
CORTE B-B  
ESCALA 1 : 5



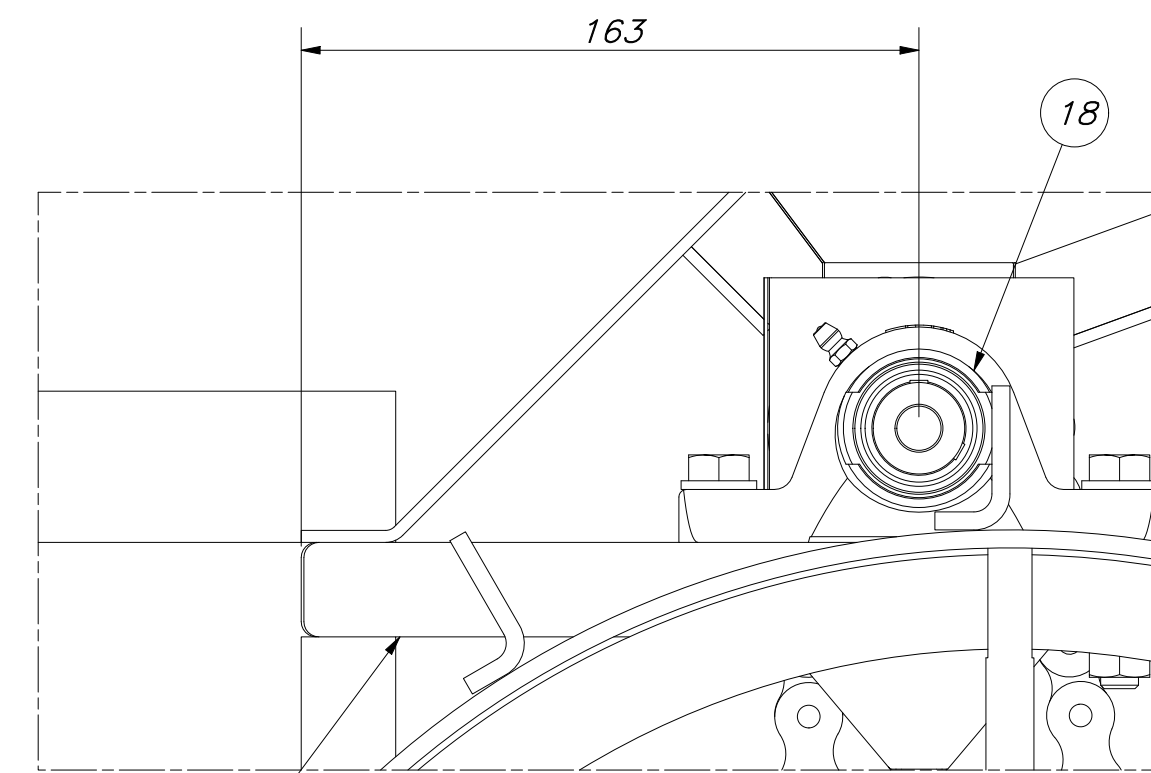
CORTE LA-LA



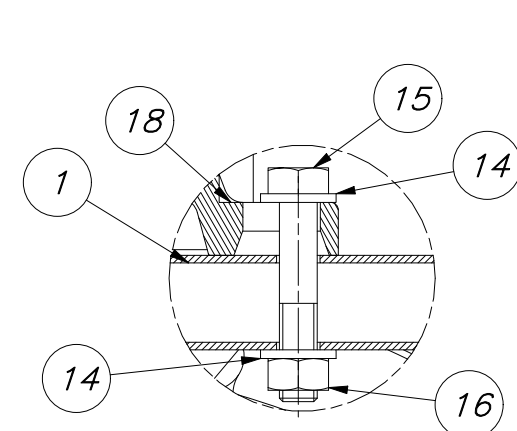
LA



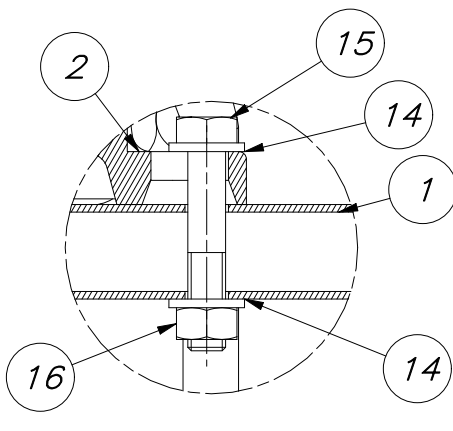
DETALLE G  
ESCALA 2 : 1



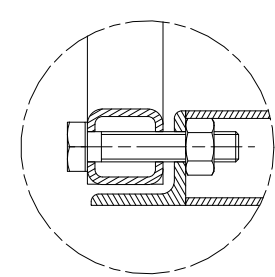
DETALLE H  
ESCALA 1 : 2



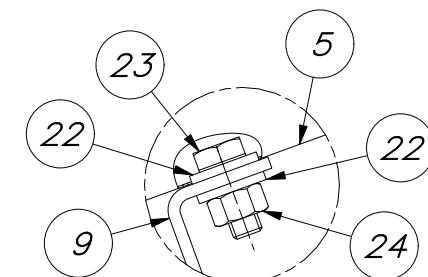
DETALLE A  
ESCALA 1 : 2



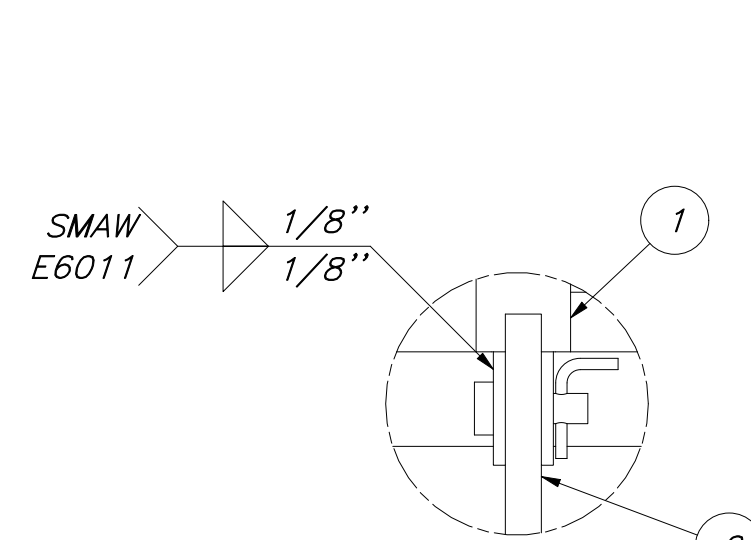
DETALLE B  
ESCALA 1 : 2



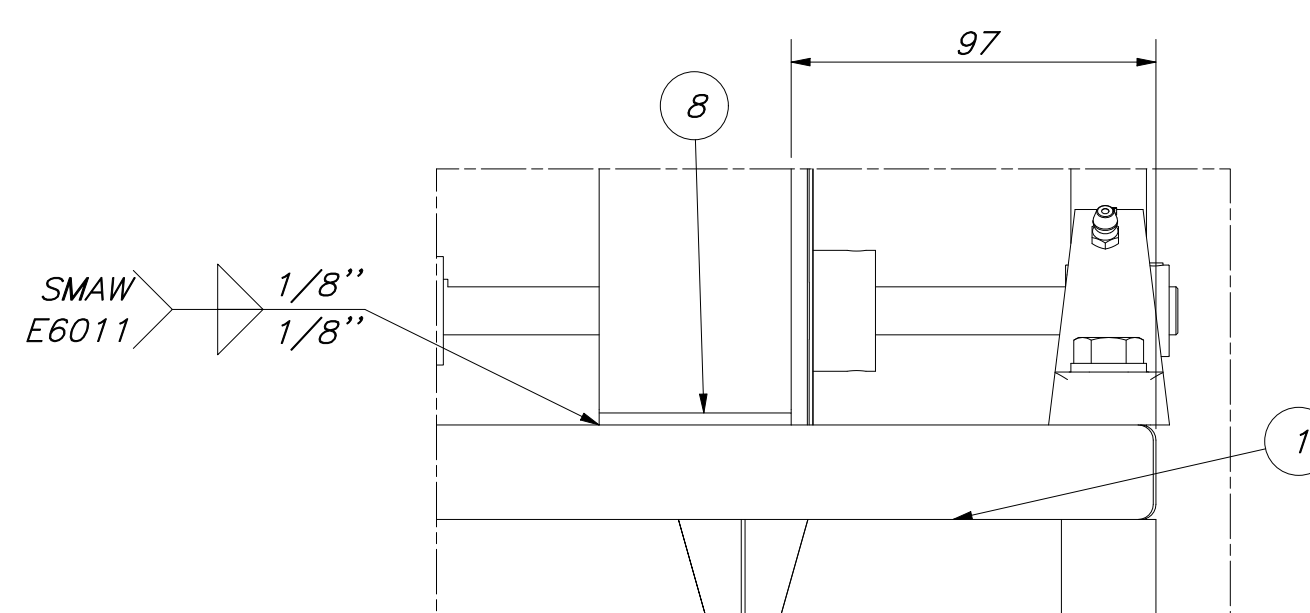
DETALLE C  
ESCALA 1 : 2



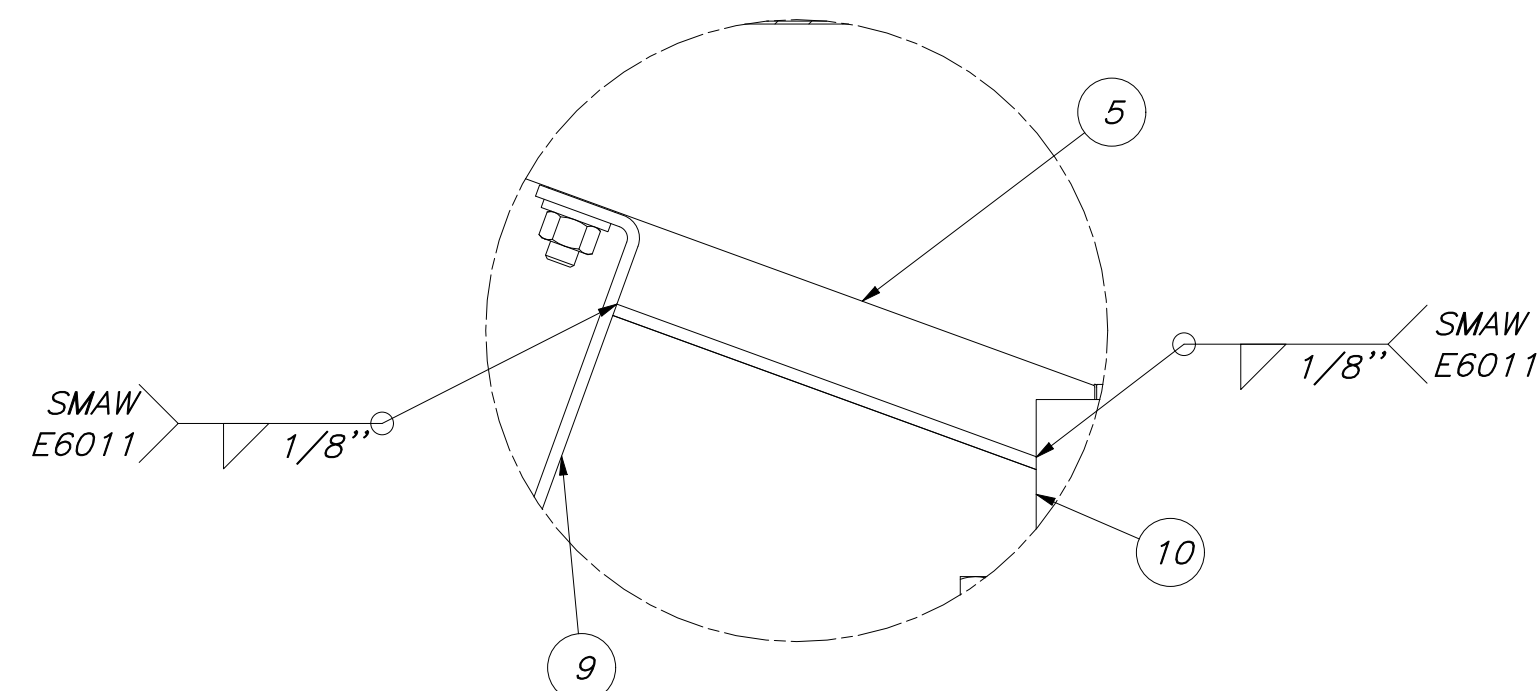
DETALLE D  
ESCALA 1 : 2



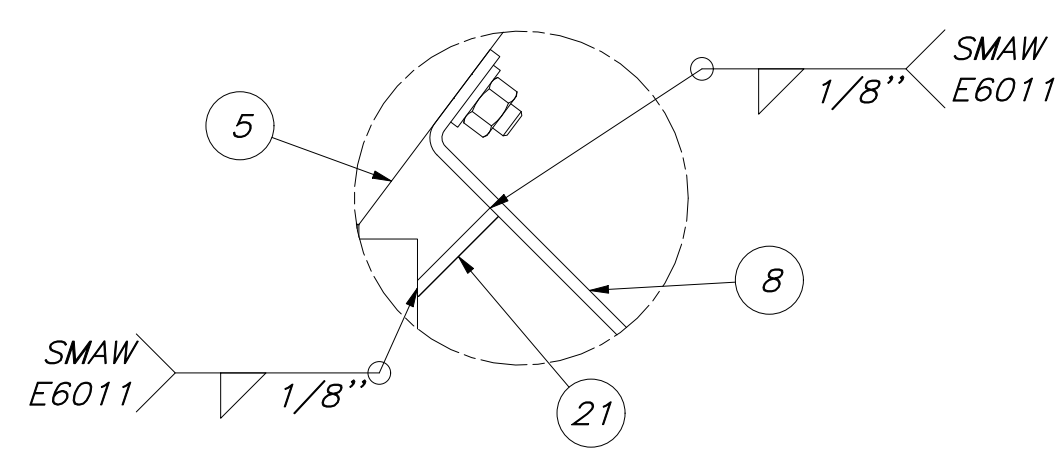
DETALLE F  
ESCALA 1 : 2



DETALLE LH  
ESCALA 1 : 2



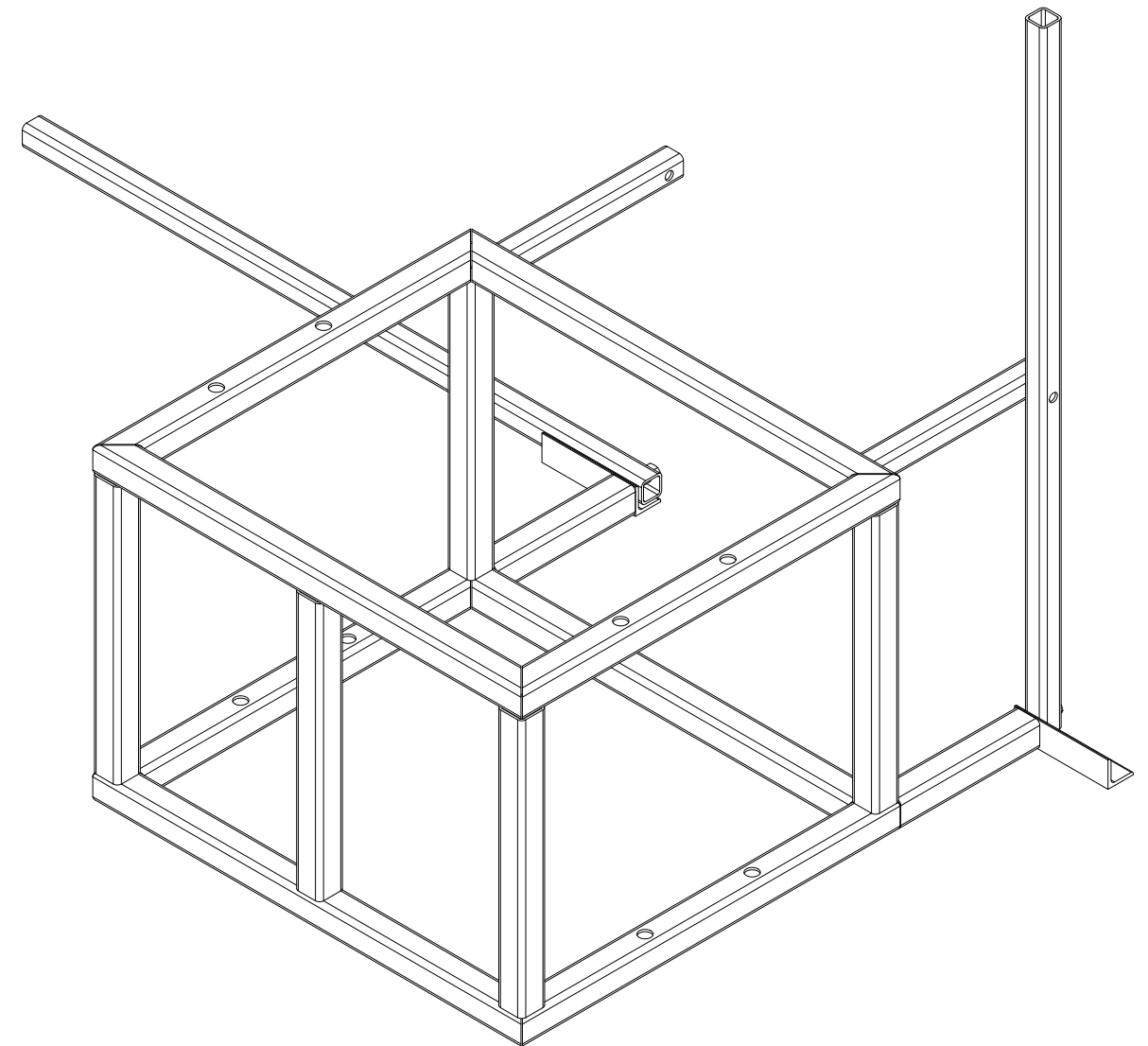
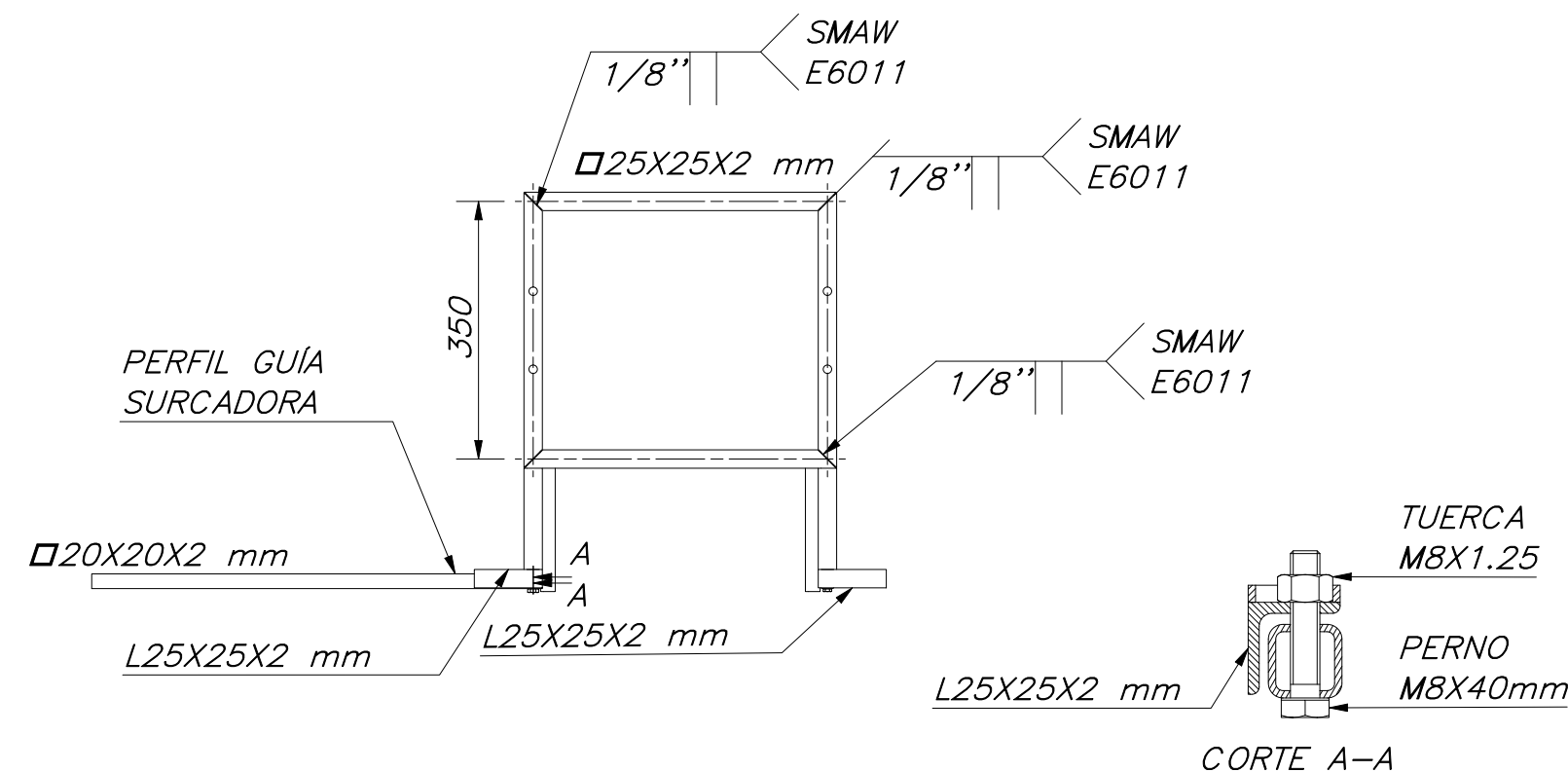
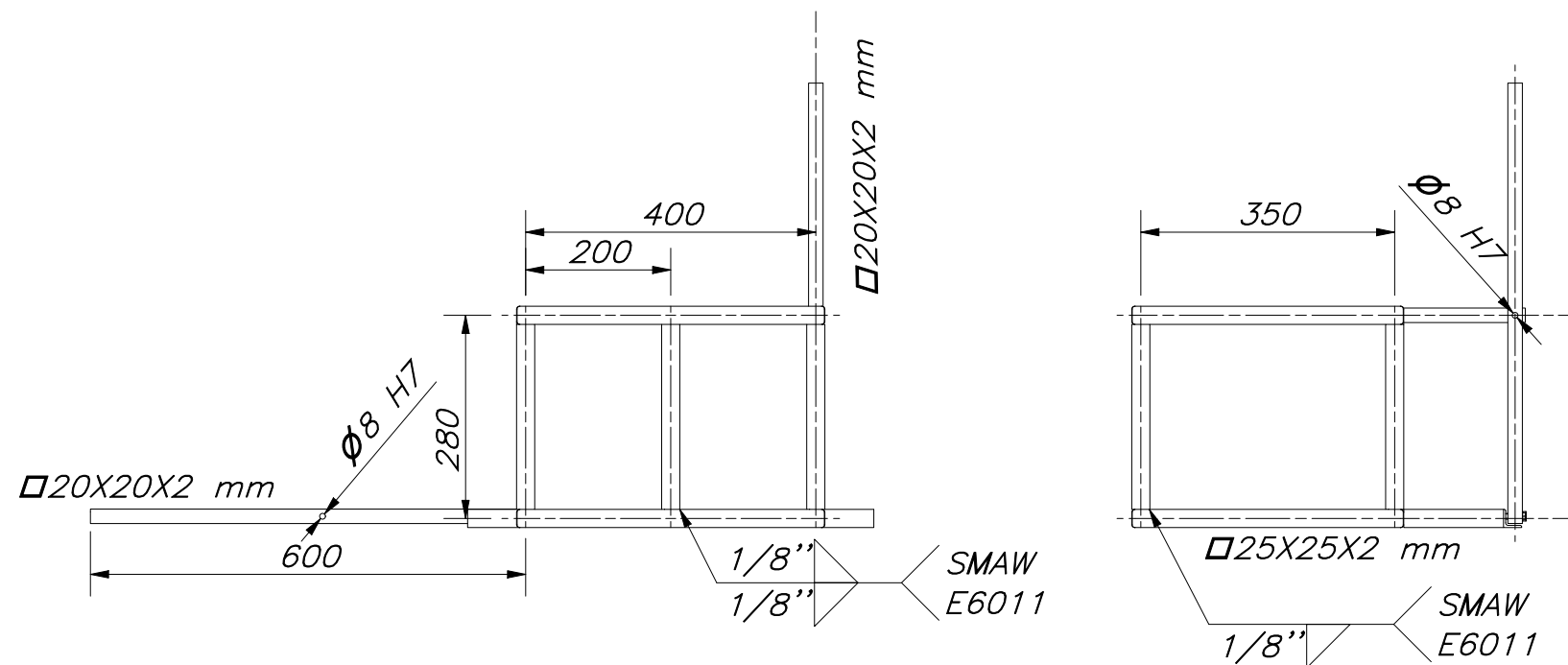
DETALLE J  
ESCALA 1 : 2



DETALLE K  
ESCALA 1 : 2

| LISTA DE COMPONENTES |       |                                       |                |                  |
|----------------------|-------|---------------------------------------|----------------|------------------|
| 27                   | 1     | DIN 6885 - A 6 x 6 x 32               | DIN 6885-1     | PLANO 22         |
| 26                   | 1     | DIN 6885 - A 5 x 5 x 32               | PLANO 22       |                  |
| 25                   | 1     | ACOPLE SEMBRADORA                     | Acero ASTM A36 | PLANO 29         |
| 24                   | 4     | ANSI B18.2.4.2M - M8x1.25             | B18.2.4.2M     | Acero, suave     |
| 23                   | 4     | AS 1110 - M8 x 20                     | AS 1110        | Acero, suave     |
| 22                   | 8     | ANSI B18.2.2M - 8 N                   | B18.2.2M       | Acero, suave     |
| 21                   | 4     | ALAMBRE                               | Acero ASTM A36 | DIÁMETRO 1/8"    |
| 20                   | 1     | CADENA ANSI 60                        | ---            | PLANO 22         |
| 19                   | 1     | EJE DE DOSIFICADOR                    | ---            | PLANO 22         |
| 18                   | 2     | SKF_SY 1/2 TF                         | ---            | DIÁMETRO 1/2 in  |
| 17                   | 1     | SISTEMA DE TAPADO DE SURCO            | ---            | PLANO 29         |
| 16                   | 8     | AS 1112 - M10 Tipo 5                  | AS 1112        | Acero, suave     |
| 15                   | 8     | ANSI B18.2.3.5M - M10 x 1.5 x 55      | B18.2.3.5M     | Acero, suave     |
| 14                   | 16    | ANSI B18.2.2M - 10 N                  | B18.2.2M       | Acero, suave     |
| 13                   | 2     | MARCADOR DE SURCOS                    | ---            | PLANO 29         |
| 12                   | 2     | SUMINISTRO DE SEMILLAS Y FERTILIZANTE | ---            | PLANO 30         |
| 11                   | 2     | CUBIERTA MANGUERA                     | ---            | PLANO 30         |
| 10                   | 2     | CUBIERTA DOSIFICADOR                  | ---            | PLANO 30         |
| 9                    | 2     | SEGUNDO APOYO                         | ---            | PLANO 26         |
| 8                    | 2     | PRIMER APOYO                          | ---            | PLANO 26         |
| 7                    | 2     | DOSIFICADOR                           | ---            | PLANO 28         |
| 6                    | 1     | SURCADOR                              | ---            | PLANO 27         |
| 5                    | 2     | TOLVAS DE SEMILLA Y FERTILIZANTE      | ---            | PLANO 26         |
| 4                    | 2     | RUEDA METÁLICA                        | ---            | PLANO 23         |
| 3                    | 1     | EJE DE LA RUEDA                       | ---            | PLANO 22         |
| 2                    | 2     | CHUMACERA DE PIE, SKF_SY 3/4          | ---            | DIÁMETROS 3/4 in |
| 1                    | 1     | ESTRUCTURA-SEMBRADORA                 | ---            | PLANO 21         |
| POS.                 | CANT. | DESCRIPCIÓN                           | NORMA          | MATERIAL         |
|                      |       |                                       |                | OBSERVACIONES    |

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO |                                                                        |                  |             |
|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|
| ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECÁNICA         |                                                                        |                  |             |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN                               | SEMBRADORA                                                             |                  | ESCALA      |
|                                                    |                                                                        |                  | 1 : 5       |
| HOJA: 23                                           | AUTORES: BACH. SUNI PACCO ELVIS RENE<br>BACH. LOAIZA TAIPE JUAN CARLOS | FECHA: 9/10/2025 |             |
| REVISADO POR: ING. ROOSBEL DENNIS MAMANI CASTILLO  |                                                                        |                  | FORMATO: A1 |



**NOTA:**

- UNIDADES: mm, CASO QUE DIGA LO CONTRARIO

**PINTURA:**

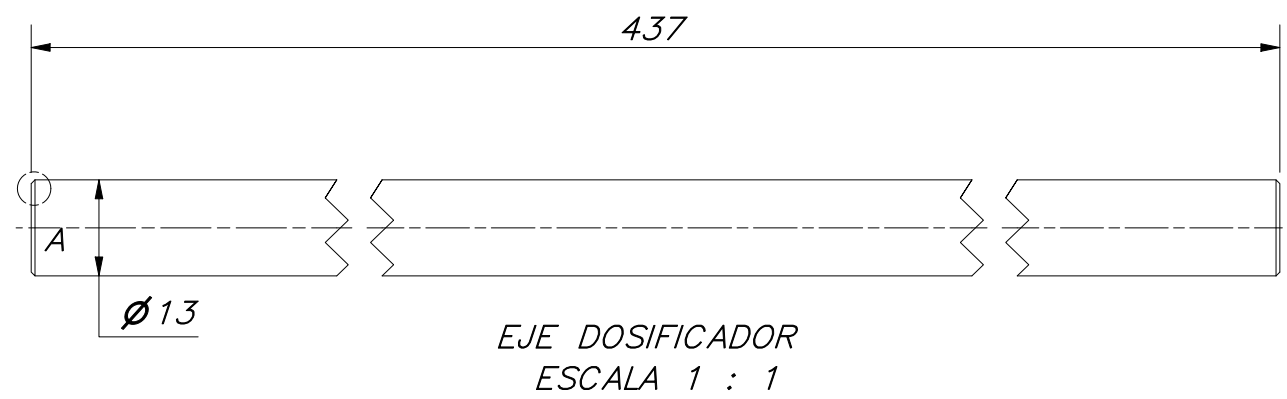
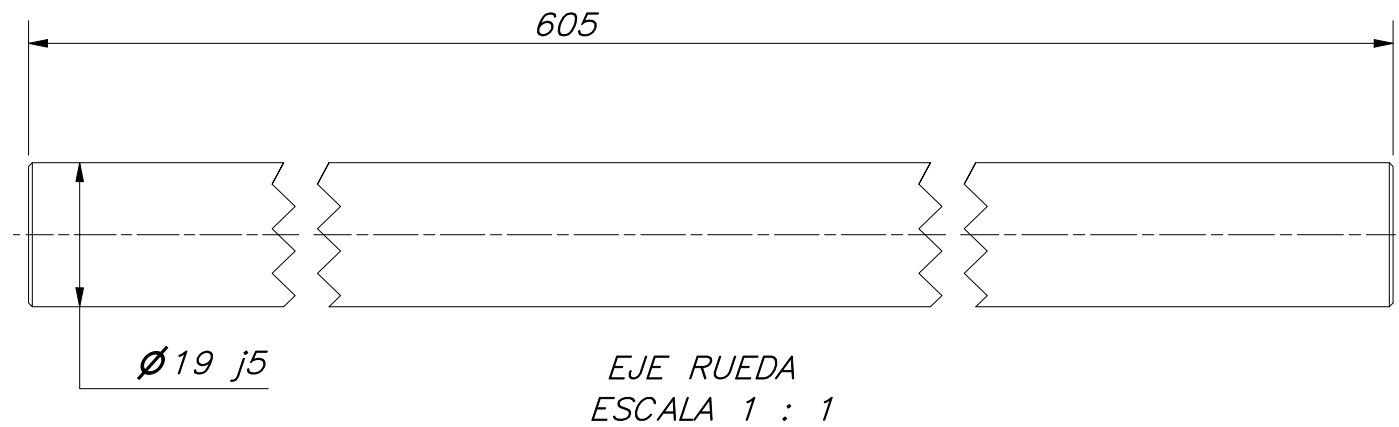
1. PREPARACIÓN DE SUPERFICIES SEGÚN NORMA SSPC-SP6
2. DOS MANOS DE ANTICORROSIVO EXPÓXICO (2 A 3 WILLS)

| ACABADO SUPERFICIAL                                                                              | TOLERANCIA GENERAL                                                     | MATERIAL         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------|
|                                                                                                  |                                                                        | ACERO ASTM A500  |
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA |                                                                        |                  |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN                                                                             | ESCALA                                                                 |                  |
|                                                                                                  | 1 : 10                                                                 |                  |
| HOJA: 24                                                                                         | AUTORES: BACH. SUNI PACCO ELVIS RENE<br>BACH. LOAIZA TAIPE JUAN CARLOS | FECHA: 8/10/2025 |
| REVISADO POR: ING. ROOSBEL DENNIS MAMANI CASTILLO                                                |                                                                        | FORMATO: A3      |

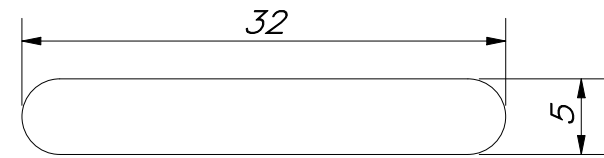
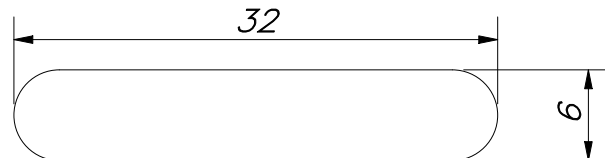
**TOLERANCIAS DIMENSIONALES  
SEGÚN DIN 7168**

| GRADO DE EXACTITUD | Más de 0,5 hasta 3 | Más de 3 hasta 6 | Más de 6 hasta 30 | Más de 30 hasta 120 | Más de 120 hasta 400 | Más de 400 hasta 1000 | Más de 1000 hasta 2000 |
|--------------------|--------------------|------------------|-------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| MEDIO              | ±0,1               | ±0,1             | ±0,2              | ±0,3                | ±0,5                 | ±0,8                  | ±1,2                   |

| 8 H7         | +15/0       | 8.015/8     |
|--------------|-------------|-------------|
| COTA NOMINAL | COTA MÁXIMA | COTA MÍNIMA |

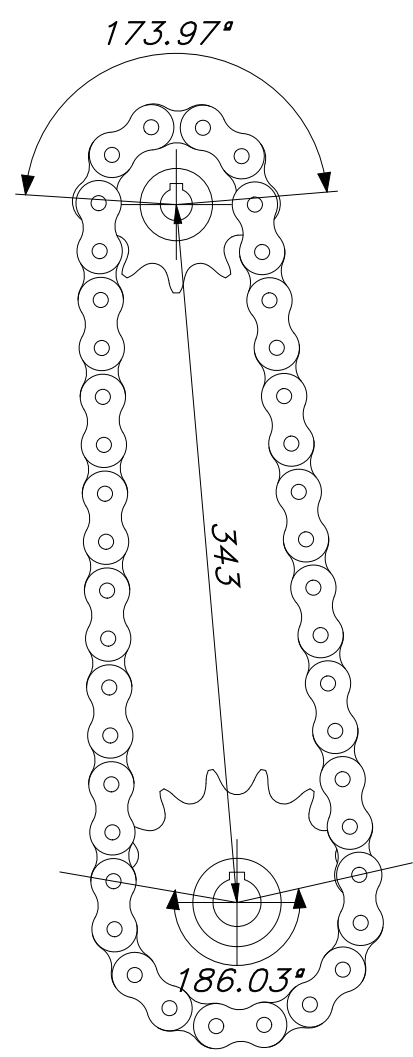
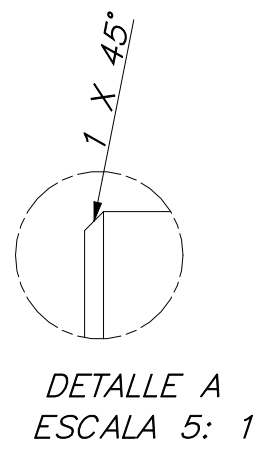


TODOS LOS EJES CHAFLANES DE 1X45° AMBOS LADOS



CHAVETA 6X6X32  
ESCALA 2 : 1  
AISI 1045

CHAVETA 5X5X32  
ESCALA 2 : 1  
AISI 1045

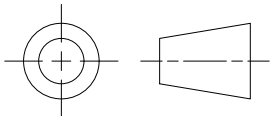


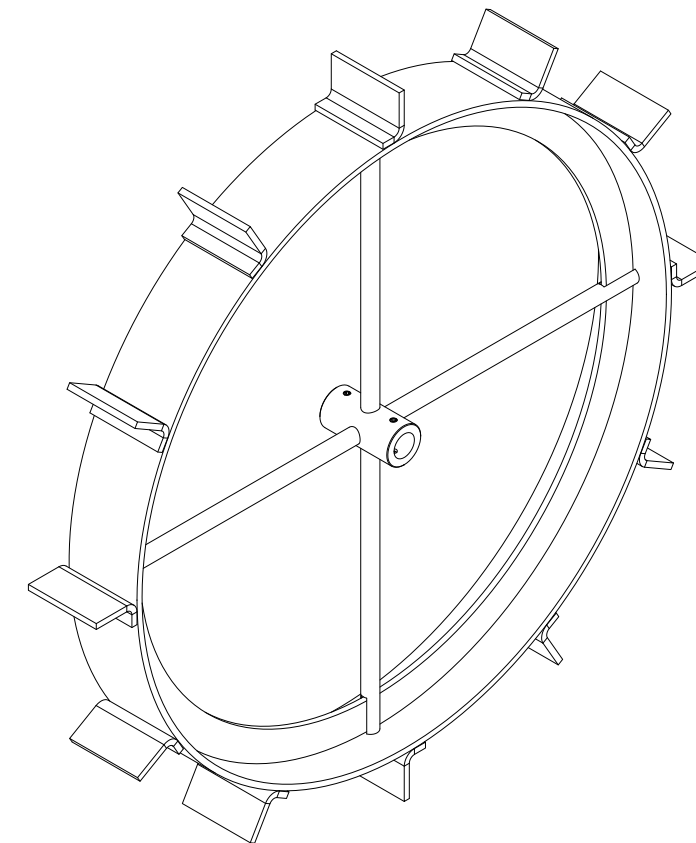
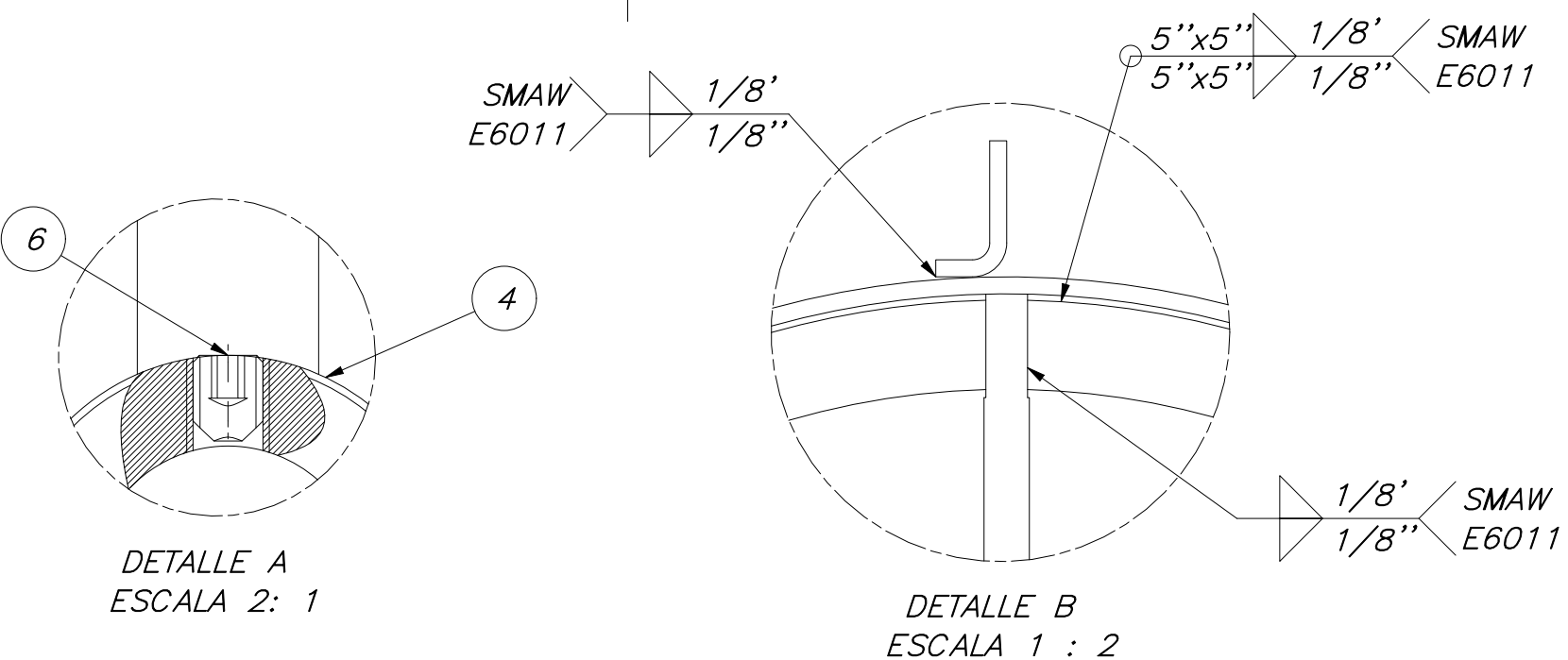
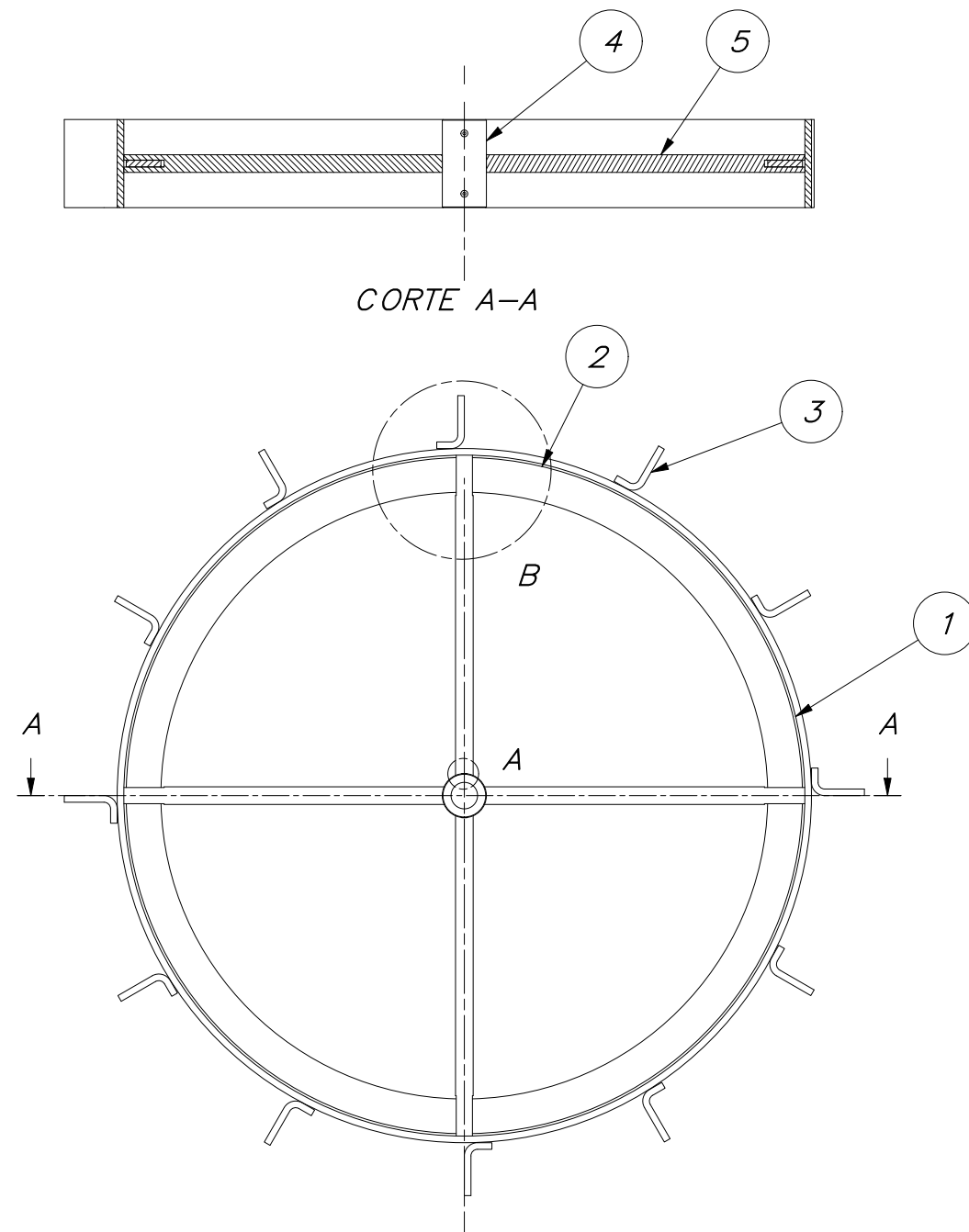
- TRASMISIÓN POR CADENA
- ANSI 60
  - RELACIÓN DE TRANSMISIÓN: 1/1.6
  - NUMERO DE DIENTES DEL PIÑÓN MENOR: 10
  - NUMERO DE DIENTES DEL PIÑÓN MAYOR: 16

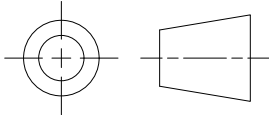
NOTA:  
• UNIDADES: mm, CASO QUE DIGA LO CONTRARIO

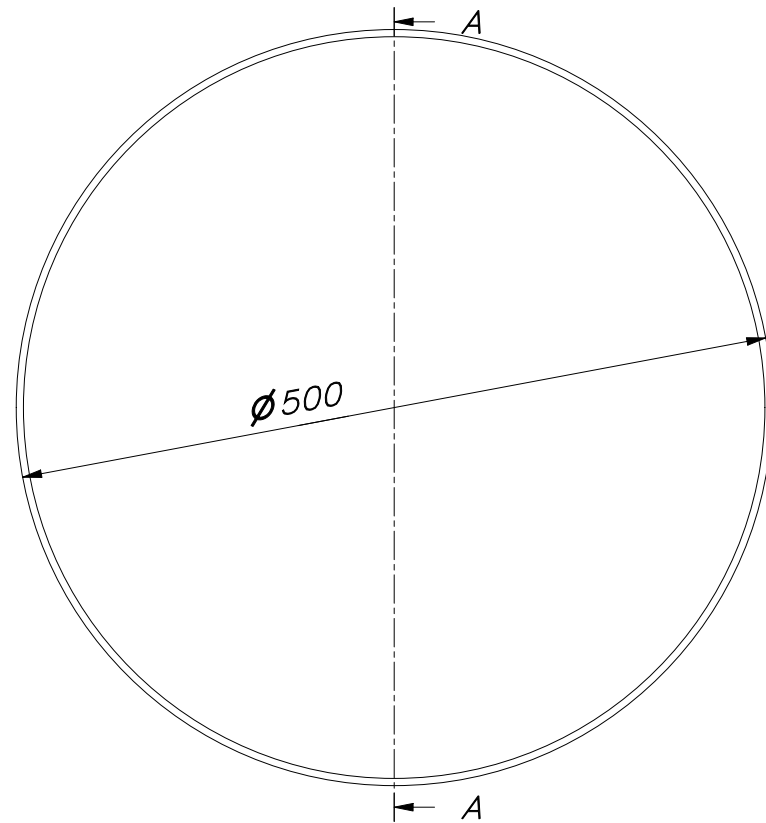
| TOLERANCIAS DIMENSIONALES<br>SEGÚN DIN 7168 |                    |                  |                   |                     |                      |                       |                        |
|---------------------------------------------|--------------------|------------------|-------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| GRADO DE EXACTITUD                          | Más de 0,5 hasta 3 | Más de 3 hasta 6 | Más de 6 hasta 30 | Más de 30 hasta 120 | Más de 120 hasta 400 | Más de 400 hasta 1000 | Más de 1000 hasta 2000 |
| MEDIO                                       | ±0,1               | ±0,1             | ±0,2              | ±0,3                | ±0,5                 | ±0,8                  | ±1,2                   |

|              |             |             |
|--------------|-------------|-------------|
| 13 j5        | +5/-4       | 13.05/12.96 |
| 19 j5        | +5/-4       | 19.05/18.96 |
| COTA NOMINAL | COTA MÁXIMA | COTA MÍNIMA |

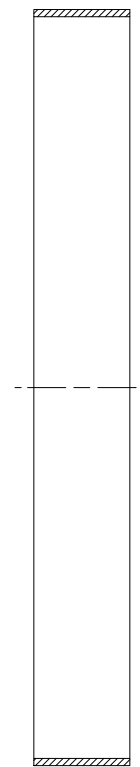
|                                                                                                               |                                                                        |                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| ACABADO SUPERFICIAL                                                                                           | TOLERANCIA GENERAL                                                     | MATERIAL<br><br>Acero AISI 1045 |
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA              |                                                                        |                                 |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN<br> | EJES DE LA RUEDA,<br>DOSIFICADOR Y CADENA                              | ESCALA<br><br>1 : 1             |
| HOJA: 25                                                                                                      | AUTORES: BACH. SUNI PACCO ELVIS RENE<br>BACH. LOAIZA TAIPE JUAN CARLOS | FECHA:<br>9/10/2025             |
| REVISADO POR: ING. ROOSBEL DENNIS MAMANI CASTILLO                                                             |                                                                        | FORMATO:<br>A3                  |



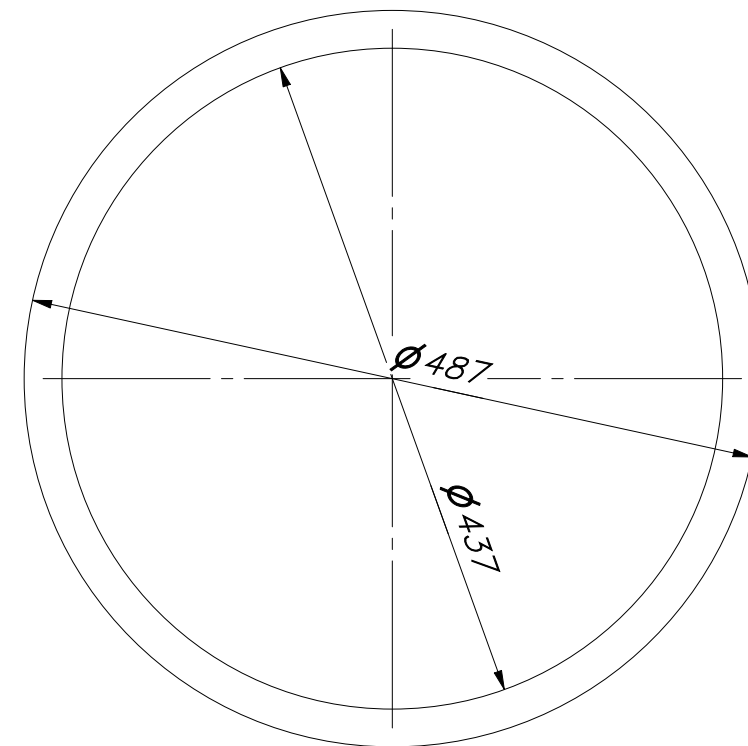
| LISTA DE COMPONENTES                                                                  |       |                                                                        |         |                |                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------|------------------------------------------------------------------------|---------|----------------|---------------------|
| 6                                                                                     | 4     | AS 1421 – M5 x 10 Prisionero                                           | AS 1421 | Acero, suave   | ---                 |
| 5                                                                                     | 4     | RAYO                                                                   | ---     | Acero ASTM A36 | DIÁMETRO DE 1/2 in  |
| 4                                                                                     | 1     | CUBO RUEDA                                                             | ---     | AISI 1045      | PLANO 25            |
| 3                                                                                     | 12    | UÑA-RUEDA                                                              | ---     | Acero ASTM A36 | PLANO 24            |
| 2                                                                                     | 1     | ARO-RUEDA                                                              | ---     | Acero ASTM A36 | PLANO 24            |
| 1                                                                                     | 1     | SOPORTE-RUEDA                                                          | ---     | Acero ASTM A36 | PLANO 24            |
| POS.                                                                                  | CANT. | DESCRIPCIÓN                                                            | NORMA   | MATERIAL       | OBSERVACIONES       |
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO                                    |       |                                                                        |         |                |                     |
| ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA                                            |       |                                                                        |         |                |                     |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN                                                                  |       | RUEDA METÁLICA                                                         |         |                | ESCALA              |
|  |       |                                                                        |         |                | 1 : 5               |
| HOJA: 26                                                                              |       | AUTORES: BACH. SUNI PACCO ELVIS RENE<br>BACH. LOAIZA TAIPE JUAN CARLOS |         |                | FECHA:<br>7/10/2025 |
| REVISADO POR: ING. ROOSBEL DENNIS MAMANI CASTILLO                                     |       |                                                                        |         |                | FORMATO:<br>A3      |



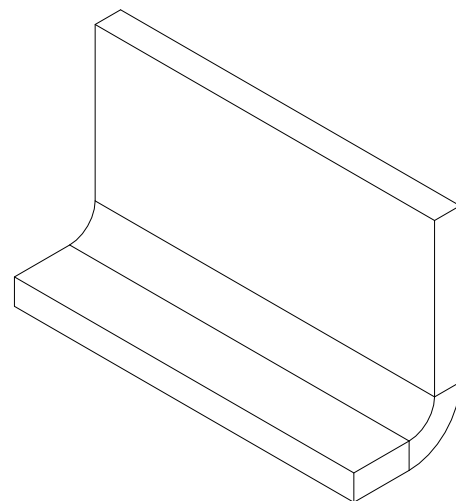
SOPORTE-RUEDA  
ESCALA 1 : 5  
PLATINA 3/16"x2 1/2"



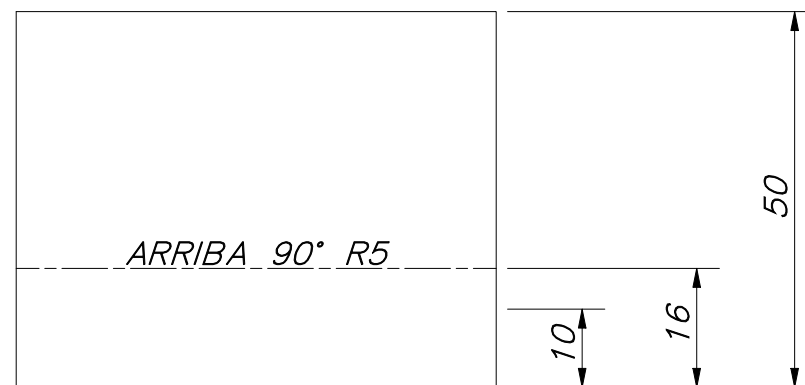
CORTE A-A



ARAO-RUEDA  
ESCALA 1 : 5



UÑA-RUEDA  
ESCALA 1 : 1



DESARROLLO  
ESCALA 1 : 1  
PLATINA 3/16"x2 1/2"  
12 UNIDADES

**NOTA:**

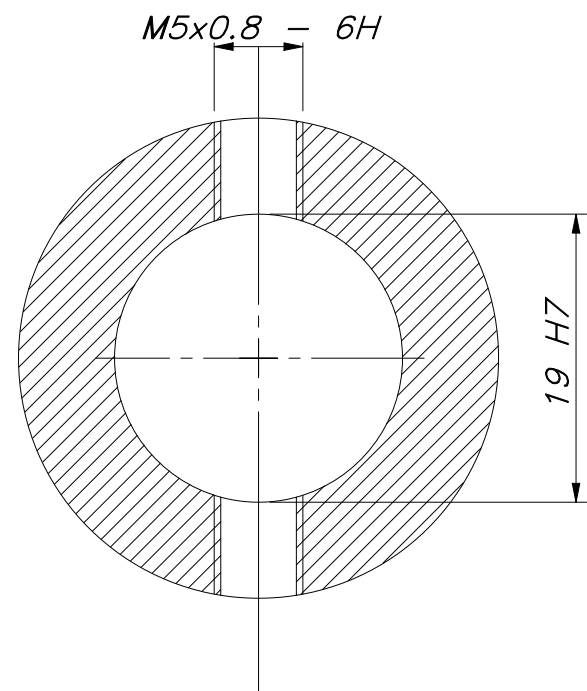
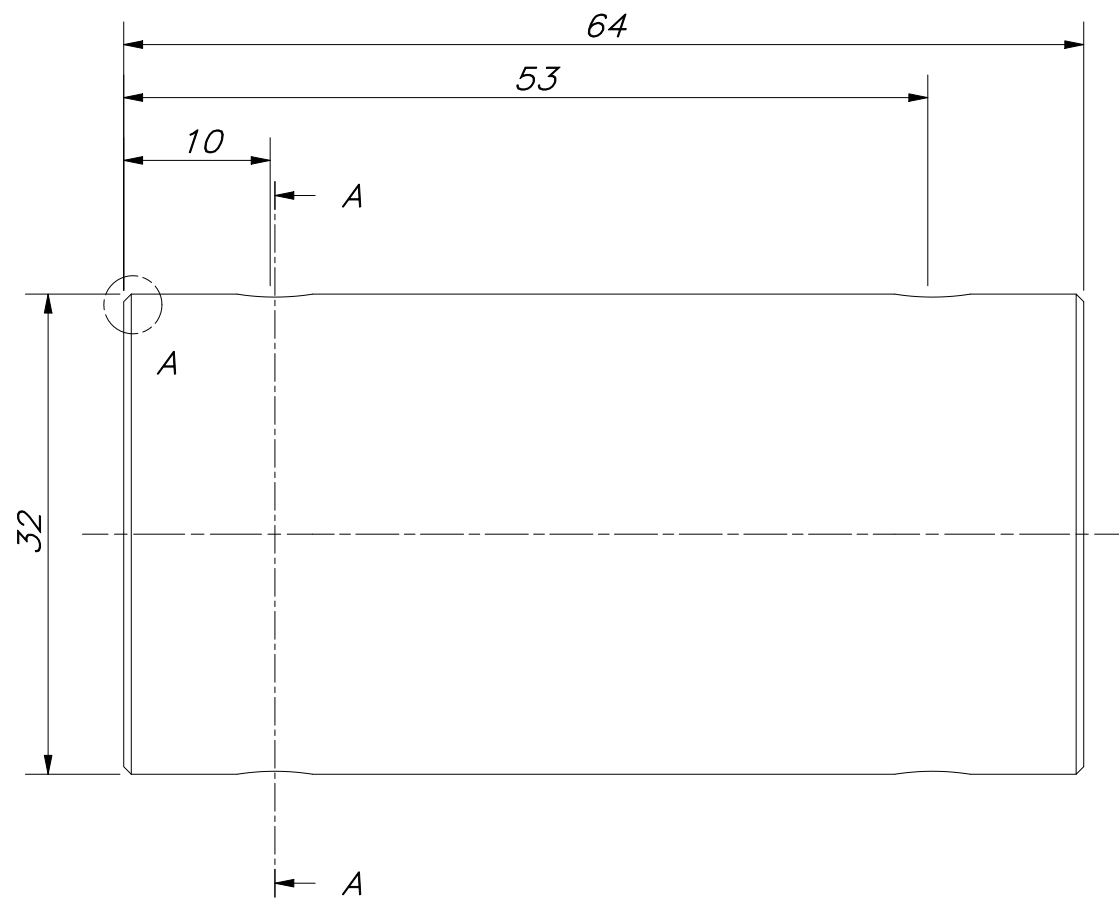
- TODOS LOS ELEMENTOS. ESPESOR 3/16 in
- UNIDADES: mm, CASO QUE DIGA LO CONTRARIO

**PINTURA:**

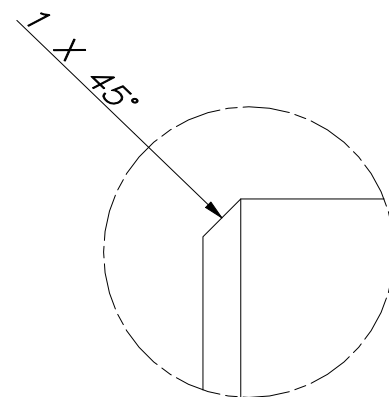
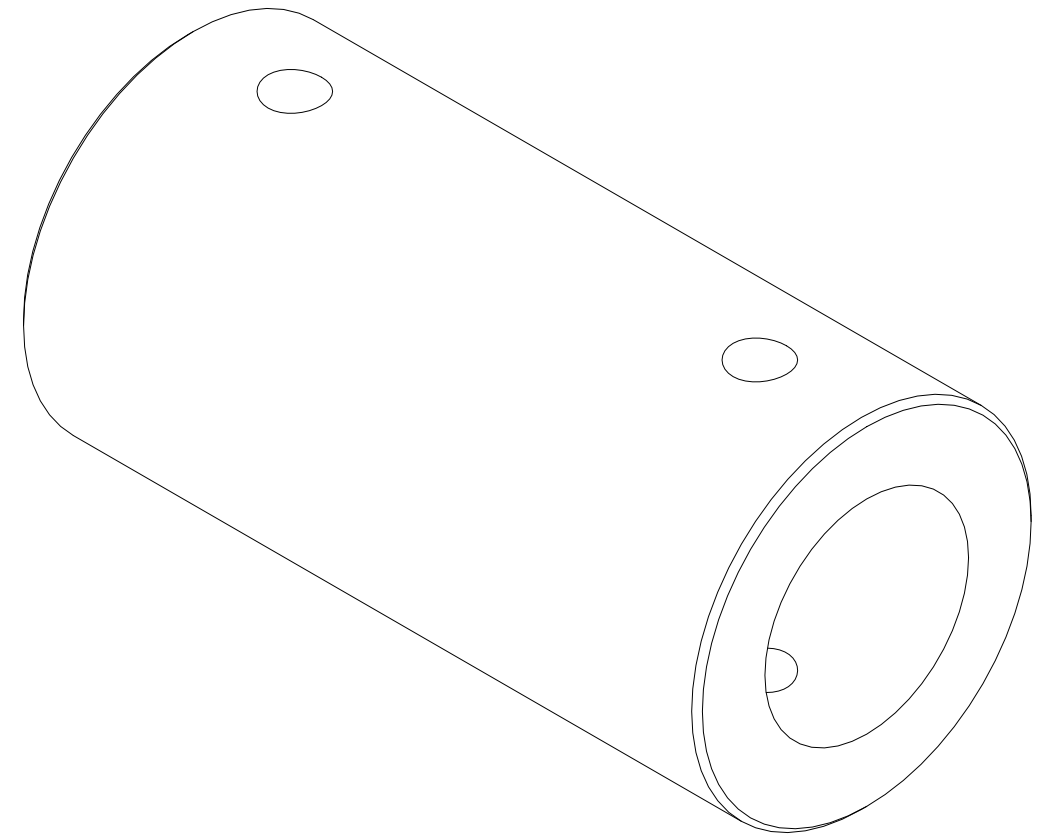
1. PREPARACIÓN DE SUPERFICIES SEGÚN NORMA SSPC-SP6
2. DOS MANOS DE ANTICORROSIVO EXPÓXICO (2 A 3 WILLS)

| ACABADO SUPERFICIAL                                                                              | TOLERANCIA GENERAL                                                     | MATERIAL            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|---------------------|
|                                                                                                  |                                                                        | Acero ASTM A36      |
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA |                                                                        |                     |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN                                                                             | SOPORTE-RUEDA                                                          |                     |
|                                                                                                  | ESCALA<br>1 : 5                                                        |                     |
| HOJA: 27                                                                                         | AUTORES: BACH. SUNI PACCO ELVIS RENE<br>BACH. LOAIZA TAIPE JUAN CARLOS | FECHA:<br>7/10/2025 |
| REVISADO POR: ING. ROOSBEL DENNIS MAMANI CASTILLO                                                |                                                                        | FORMATO:<br>A3      |

| COTA NOMINAL | COTA MÁXIMA | COTA MÍNIMA |
|--------------|-------------|-------------|
|              |             |             |



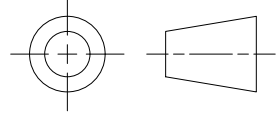
CORTE A-A



DETALLE A  
ESCALA 10: 1

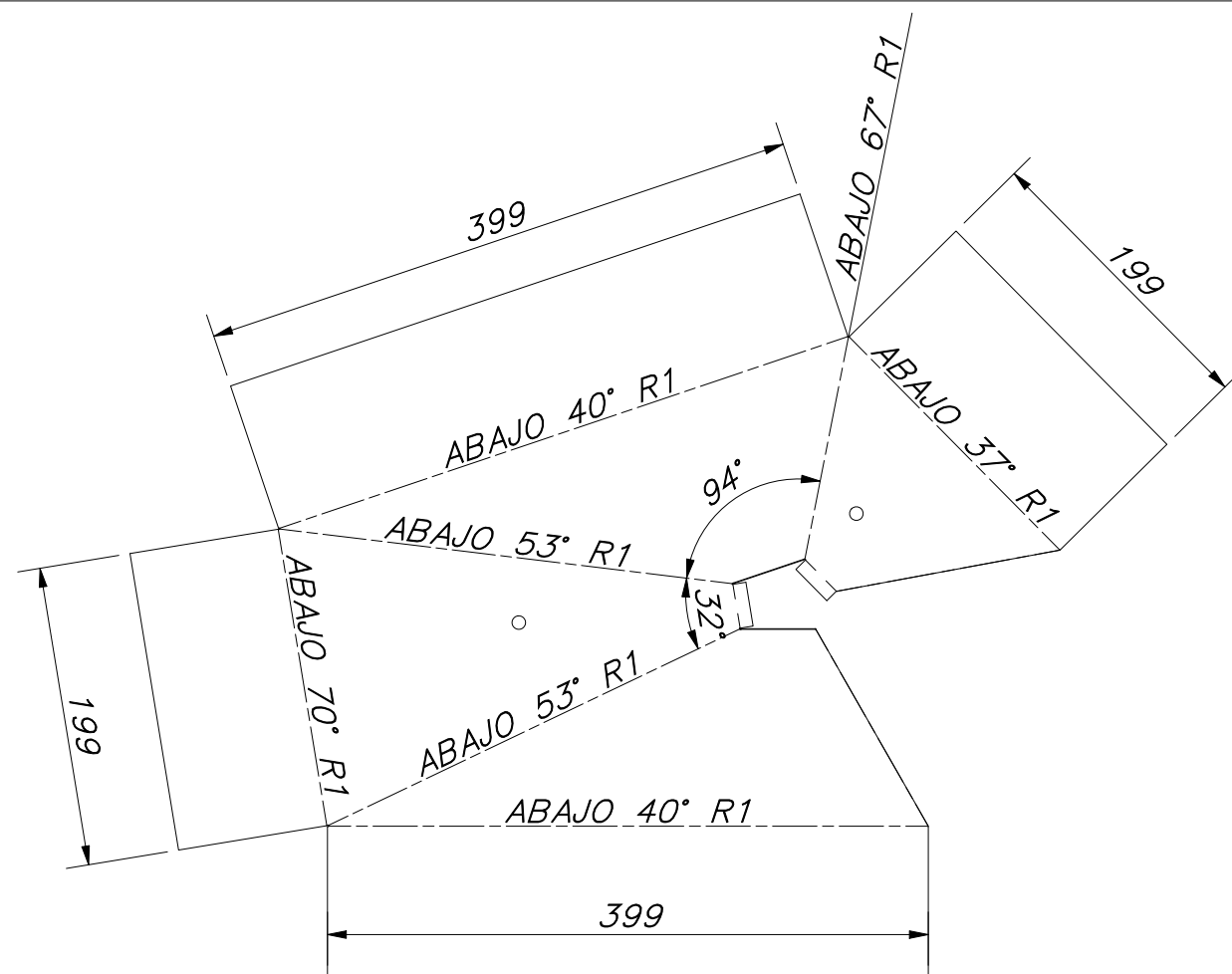
NOTA:

- UNIDADES: mm, CASO QUE DIGA LO CONTRARIO

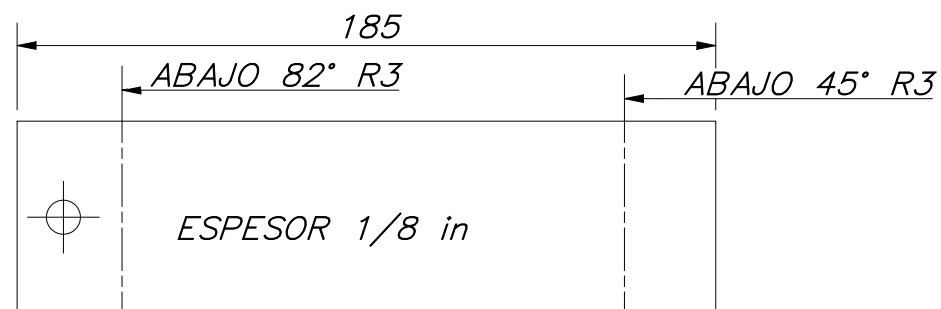
|                                                                                                               |                                                                        |                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| ACABADO SUPERFICIAL                                                                                           | TOLERANCIA GENERAL                                                     | MATERIAL<br>AISI 1045 |
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA              |                                                                        |                       |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN<br> | CUBO RUEDA                                                             | ESCALA<br>2: 1        |
| HOJA: 28                                                                                                      | AUTORES: BACH. SUNI PACCO ELVIS RENE<br>BACH. LOAIZA TAIPE JUAN CARLOS | FECHA:<br>9/10/2025   |
| REVISADO POR: ING. ROOSBEL DENNIS MAMANI CASTILLO                                                             |                                                                        | FORMATO:<br>A3        |

| TOLERANCIAS DIMENSIONALES<br>SEGÚN DIN 7168 |                    |                  |                   |                     |                      |                       |                        |
|---------------------------------------------|--------------------|------------------|-------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| GRADO DE EXACTITUD                          | Más de 0,5 hasta 3 | Más de 3 hasta 6 | Más de 6 hasta 30 | Más de 30 hasta 120 | Más de 120 hasta 400 | Más de 400 hasta 1000 | Más de 1000 hasta 2000 |
| MEDIO                                       | ±0,1               | ±0,1             | ±0,2              | ±0,3                | ±0,5                 | ±0,8                  | ±1,2                   |

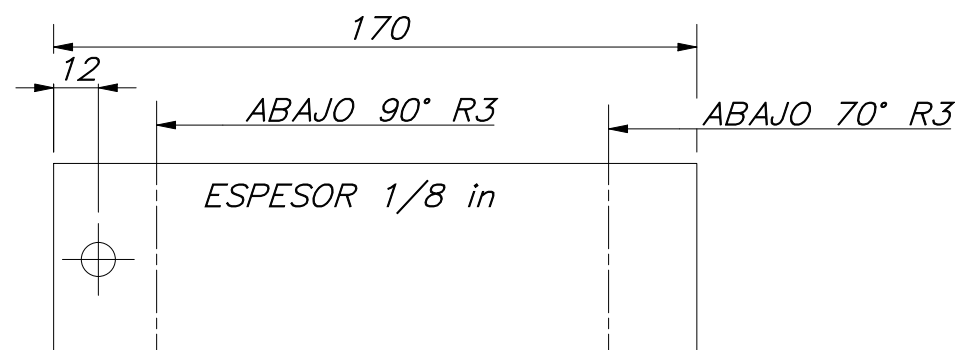
|              |             |             |
|--------------|-------------|-------------|
| 19 H7        | +21/0       | 19.021/19   |
| COTA NOMINAL | COTA MÁXIMA | COTA MÍNIMA |



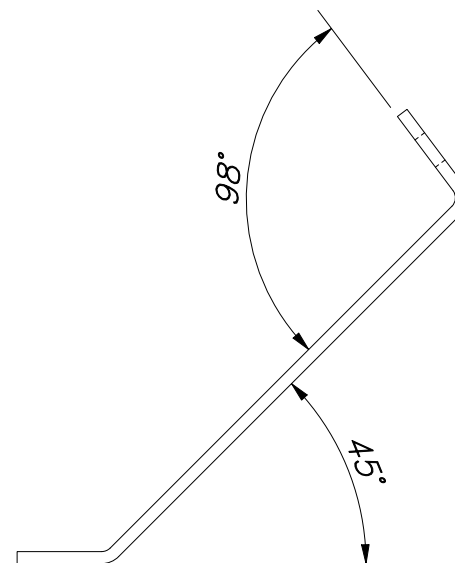
DESARROLLO  
ESCALA 1 : 5  
ESPESOR 1.2 mm



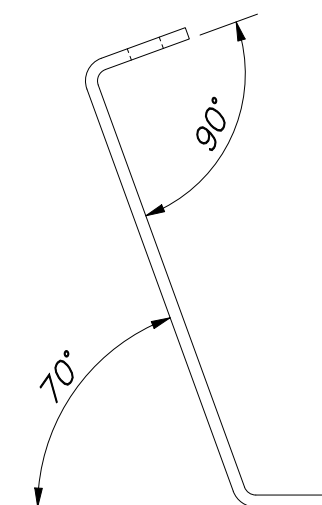
DESARROLLO  
ESCALA 1 : 2



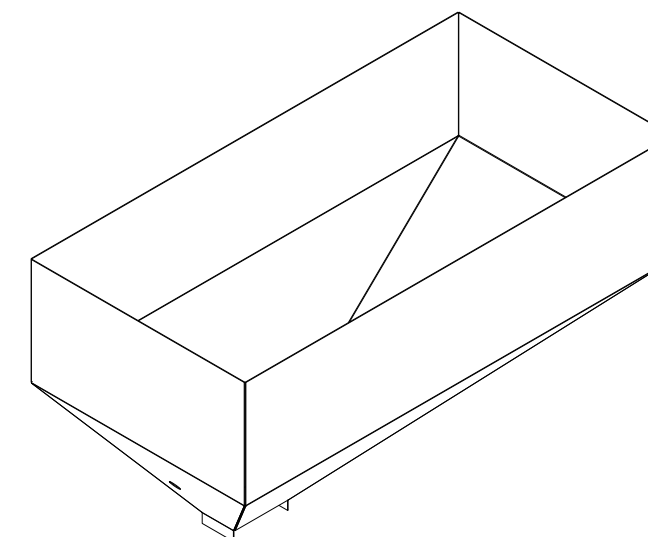
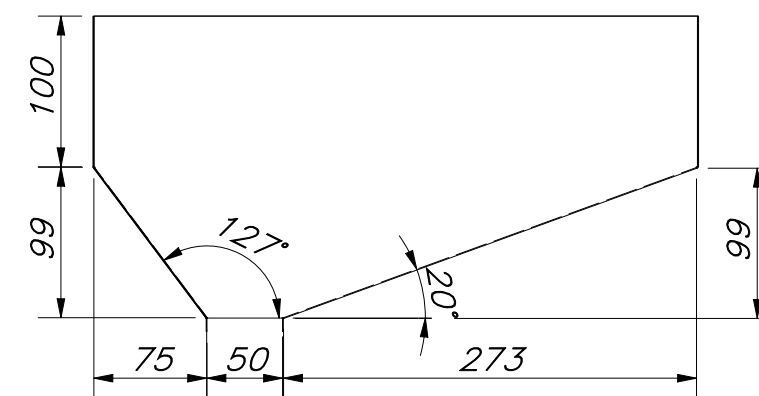
DESARROLLO  
ESCALA 1 : 2



PRIMER APOYO  
ESCALA 1 : 2  
PLATINA 1/8"x2"



SEGUNDO APOYO  
ESCALA 1 : 2  
PLATINA 1/8"x2"



TOLVA  
ESCALA 1 : 5  
2 UNIDADES

#### NOTA:

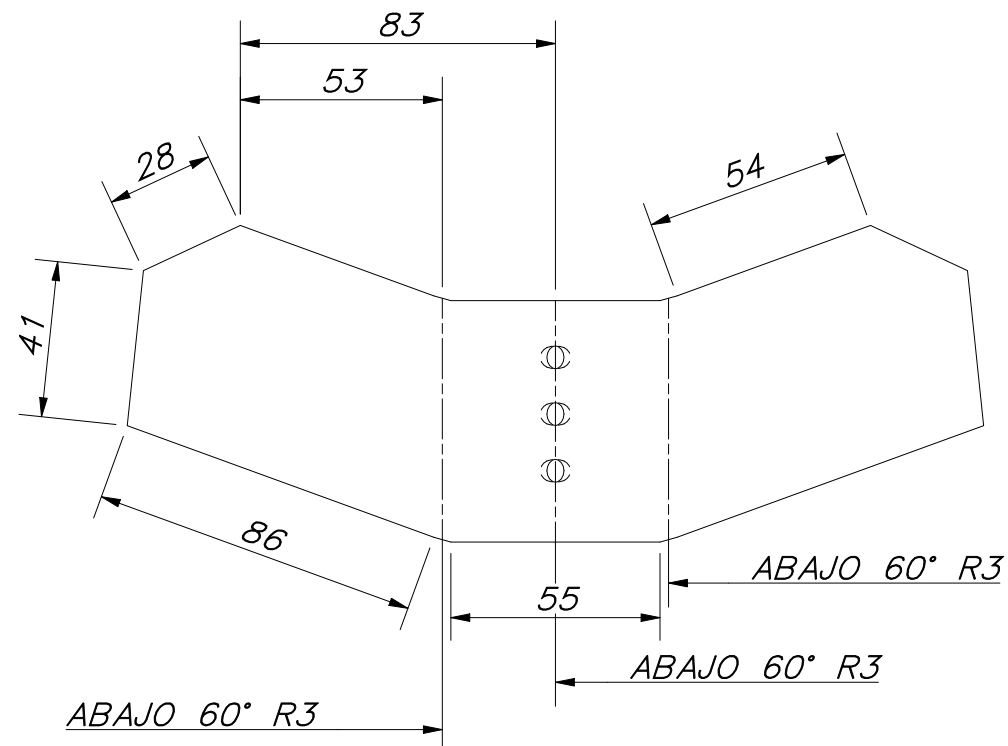
- UNIDADES: mm, CASO QUE DIGA LO CONTRARIO

#### PINTURA:

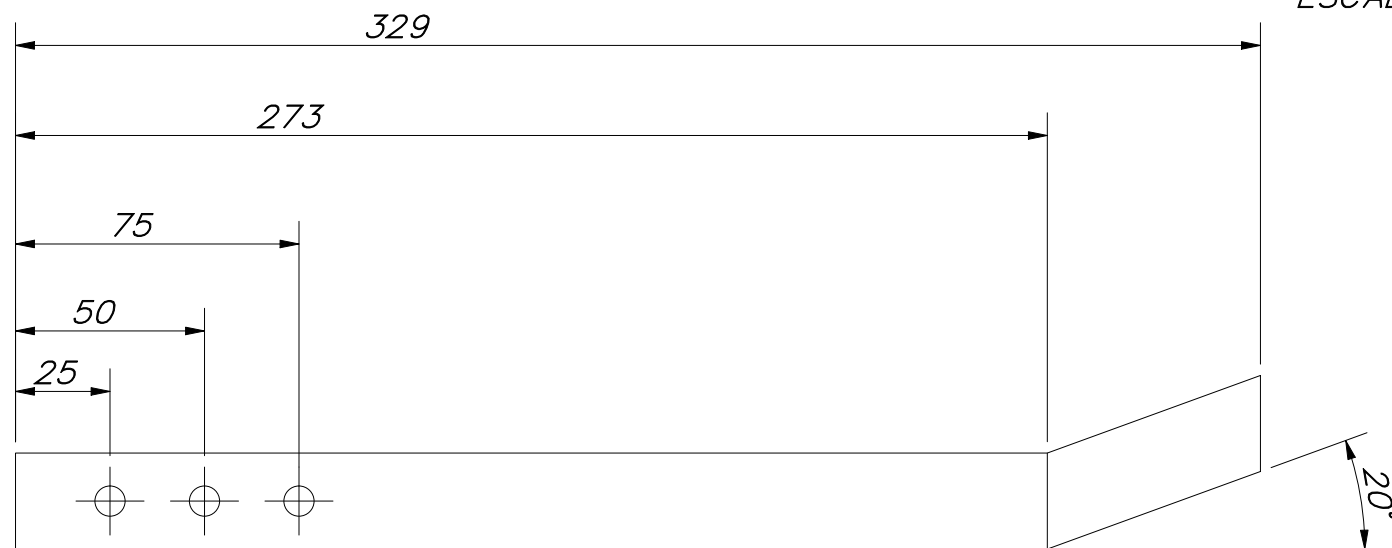
1. PREPARACIÓN DE SUPERFICIES SEGÚN NORMA SSPC-SP6
2. DOS MANOS DE ANTICORROSIVO EXPÓXICO (2 A 3 WILLS)

| ACABADO SUPERFICIAL                                                                              | TOLERANCIA GENERAL                                                     | MATERIAL            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|---------------------|
|                                                                                                  |                                                                        | Acero inoxidable    |
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA |                                                                        |                     |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN                                                                             | TOLVAS DE SEMILLA Y<br>FERTILIZANTE Y APOYOS                           | ESCALA              |
|                                                                                                  |                                                                        | 1 : 5               |
| HOJA: 29                                                                                         | AUTORES: BACH. SUNI PACCO ELVIS RENE<br>BACH. LOAIZA TAIPE JUAN CARLOS | FECHA:<br>7/10/2025 |
| REVISADO POR: ING. ROOSBEL DENNIS MAMANI CASTILLO                                                |                                                                        | FORMATO:<br>A3      |

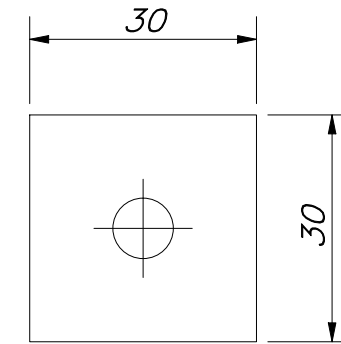
| COTA<br>NOMINAL | COTA<br>MÁXIMA | COTA<br>MÍNIMA |
|-----------------|----------------|----------------|
|-----------------|----------------|----------------|



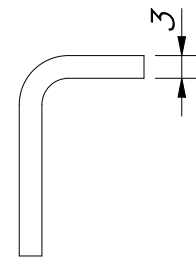
DESARROLLO SURCADOR  
ESCALA 1 : 2  
ESPESOR 1/8"



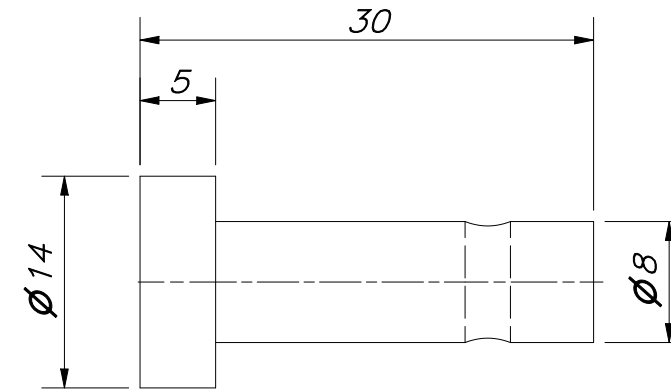
BRAZO  
ESCALA 1 : 2  
PLATINA 3/8"x1"



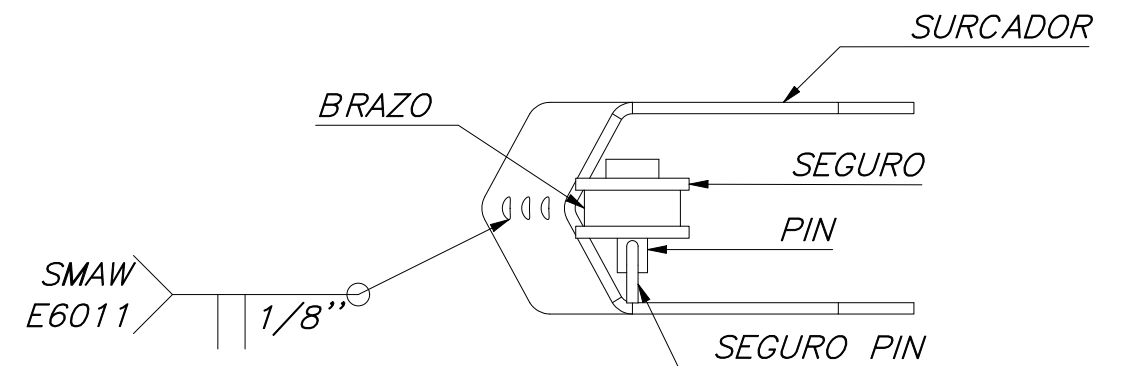
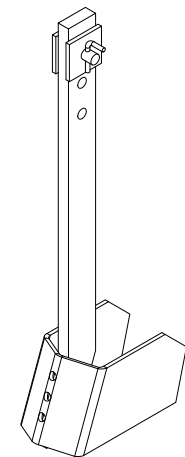
SEGURO  
ESCALA 1: 1  
ESPESOR 1/8"



SEGURO PIN  
ESCALA 1: 1



PIN  
ESCALA 2: 1

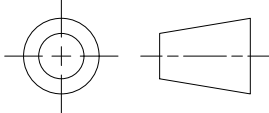


#### NOTA:

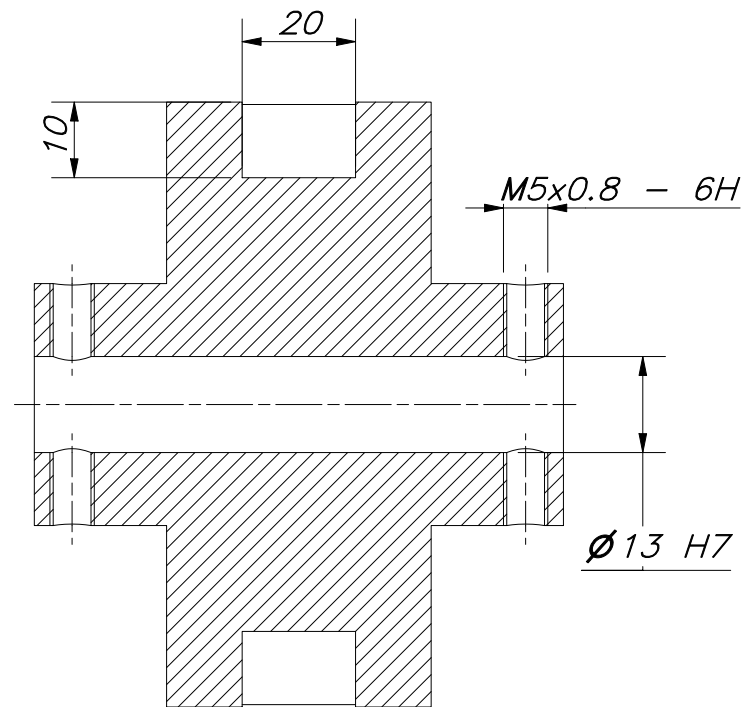
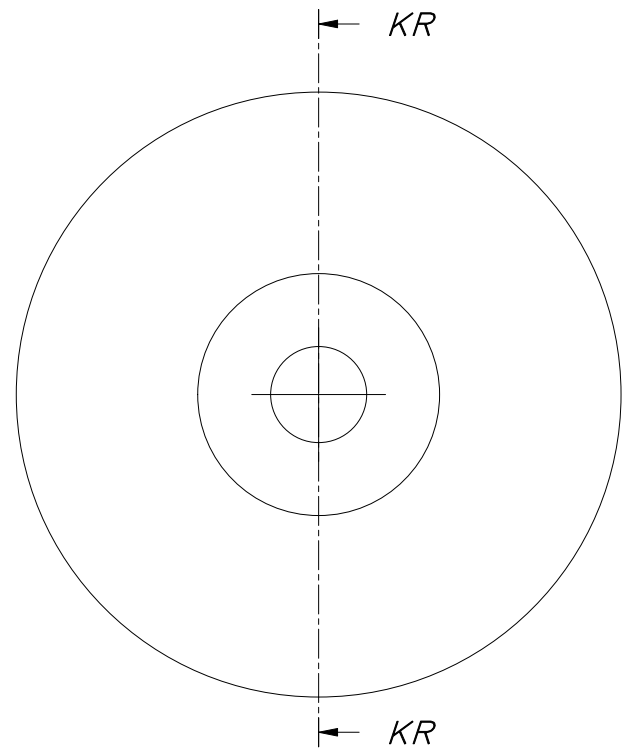
- UNIDADES: mm, CASO QUE DIGA LO CONTRARIO
- LA SOLDADURA EXISTENTE ES ENTRE EL BRAZO Y EL SURCADOR POR PUNTOS

#### PINTURA:

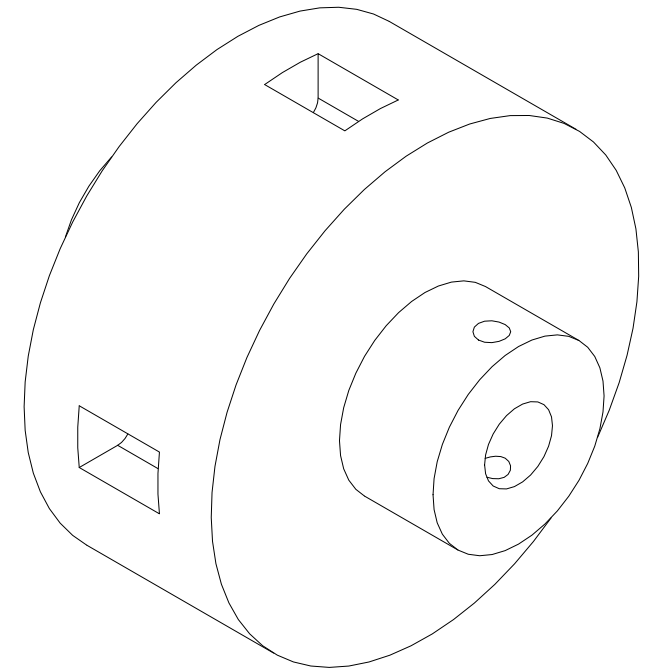
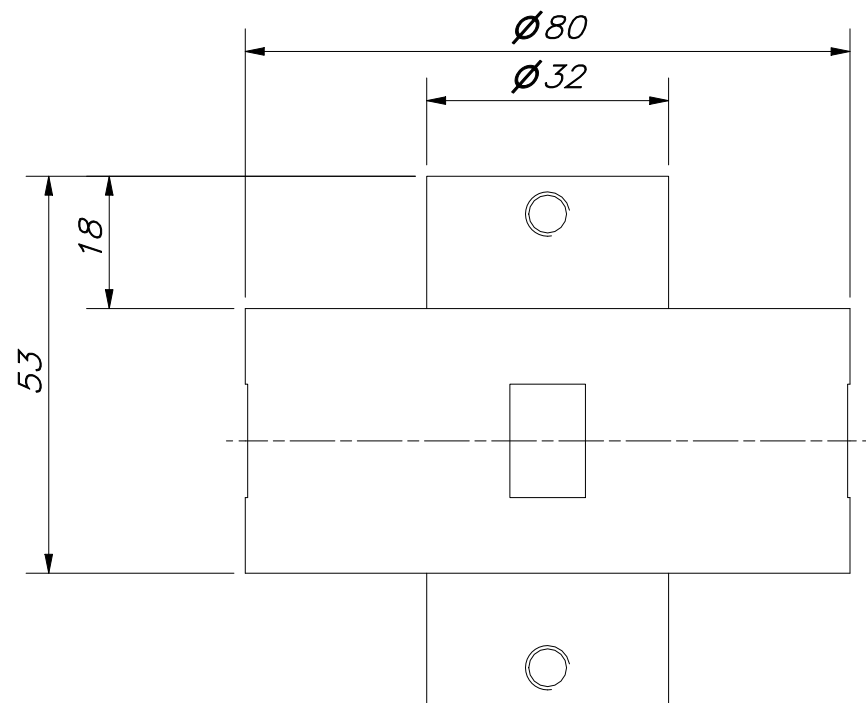
1. PREPARACIÓN DE SUPERFICIES SEGÚN NORMA SSPC-SP6
2. DOS MANOS DE ANTICORROSIVO EXPÓXICO (2 A 3 WILLS)

|                                                                                                               |                    |                                                                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|------------------------------------------------------------------------|
| ACABADO SUPERFICIAL                                                                                           | TOLERANCIA GENERAL | MATERIAL                                                               |
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA              |                    |                                                                        |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN<br> | SURCADOR           | ESCALA<br><br>1 : 5                                                    |
| HOJA: 30                                                                                                      |                    | AUTORES: BACH. SUNI PACCO ELVIS RENE<br>BACH. LOAIZA TAIPE JUAN CARLOS |
| REVISADO POR: ING. ROOSBEL DENNIS MAMANI CASTILLO                                                             |                    |                                                                        |
|                                                                                                               |                    | FECHA: 1/06/2026<br><br>FORMATO: A3                                    |

| COTA NOMINAL | COTA MÁXIMA | COTA MÍNIMA |
|--------------|-------------|-------------|
|--------------|-------------|-------------|



CORTE KR-KR



DOSIFICADOR  
ESCALA 1 : 1  
2 UNIDADES

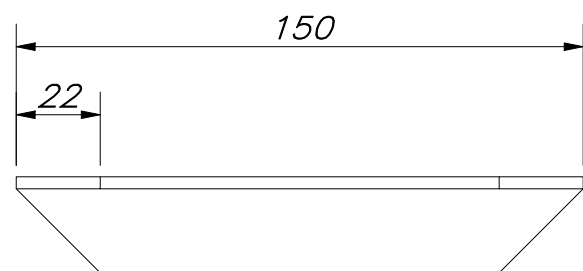
NOTA:

- UNIDADES: mm, CASO QUE DIGA LO CONTRARIO

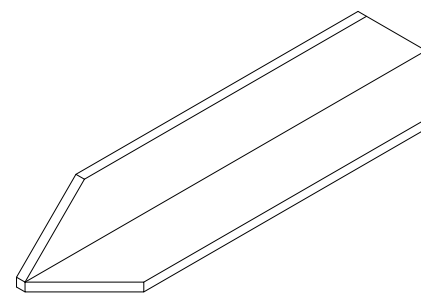
|                                                                                                  |                                                                        |                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------|
| ACABADO SUPERFICIAL                                                                              | TOLERANCIA GENERAL                                                     | MATERIAL         |
|                                                                                                  |                                                                        | Acero inoxidable |
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA |                                                                        |                  |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN                                                                             | DOSIFICADOR                                                            | ESCALA           |
|                                                                                                  |                                                                        | 1 : 1            |
| HOJA: 31                                                                                         | AUTORES: BACH. SUNI PACCO ELVIS RENE<br>BACH. LOAIZA TAIPE JUAN CARLOS | FECHA: 8/10/2025 |
| REVISADO POR: ING. ROOSBEL DENNIS MAMANI CASTILLO                                                |                                                                        | FORMATO: A3      |

| TOLERANCIAS DIMENSIONALES<br>SEGÚN DIN 7168 |                    |                  |                   |                     |                      |                       |                        |
|---------------------------------------------|--------------------|------------------|-------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| GRADO DE EXACTITUD                          | Más de 0,5 hasta 3 | Más de 3 hasta 6 | Más de 6 hasta 30 | Más de 30 hasta 120 | Más de 120 hasta 400 | Más de 400 hasta 1000 | Más de 1000 hasta 2000 |
| MEDIO                                       | ±0,1               | ±0,1             | ±0,2              | ±0,3                | ±0,5                 | ±0,8                  | ±1,2                   |

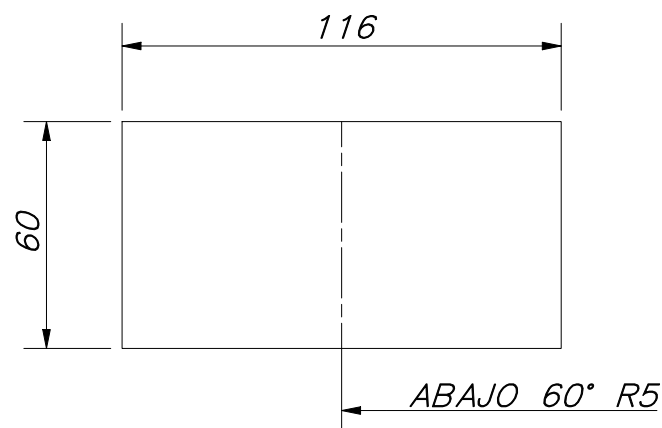
|              |             |             |
|--------------|-------------|-------------|
| 13 H7        | +18/0       | 13.018/13   |
| COTA NOMINAL | COTA MÁXIMA | COTA MÍNIMA |



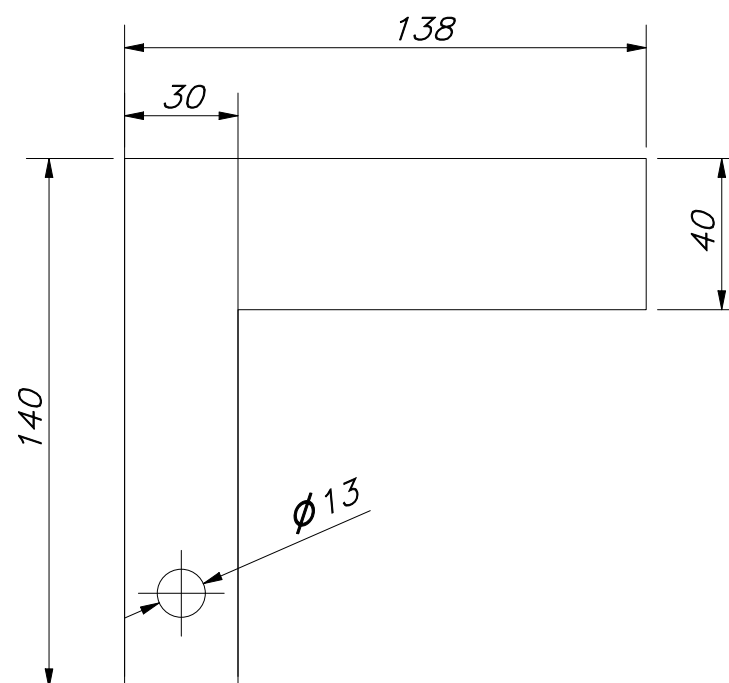
PERFIL ANGULAR 1"x1"x1/8"  
ESCALA 1 : 2



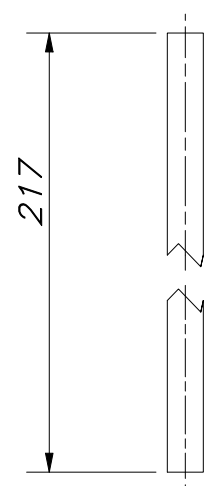
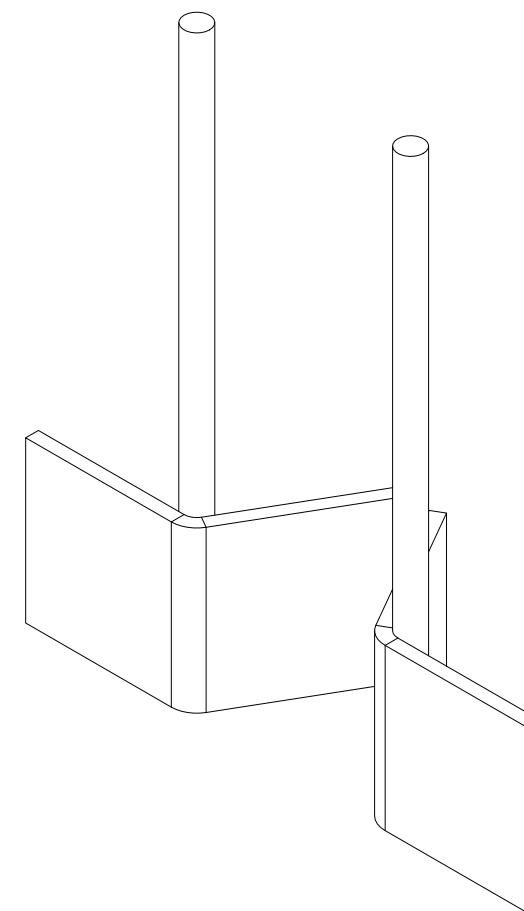
MARCADOR DE SURCOS  
ESCALA 1 : 2  
2 UNIDADES



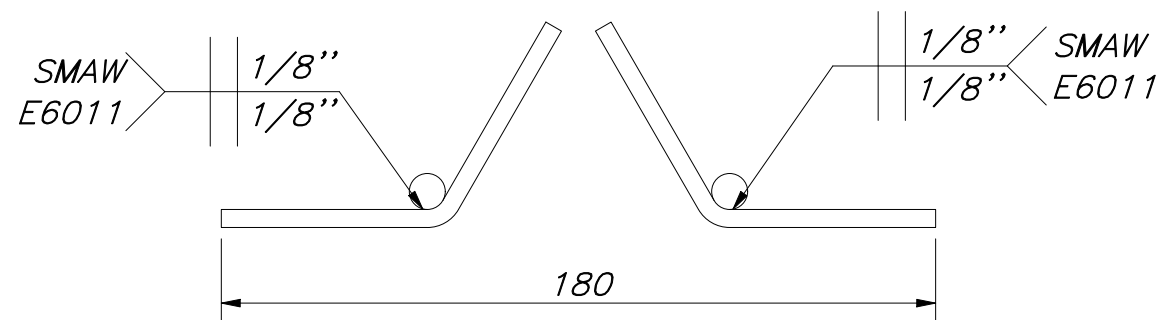
DESARROLLO TAPADO  
ESCALA 1 : 2  
ESPESOR 3/16"



ACOPLE SEMBRADORA  
ESCALA 1 : 2  
ESPESOR 1/2"



VARILLAS  
ESCALA 1 : 2  
Ø 3/8"



NOTA:

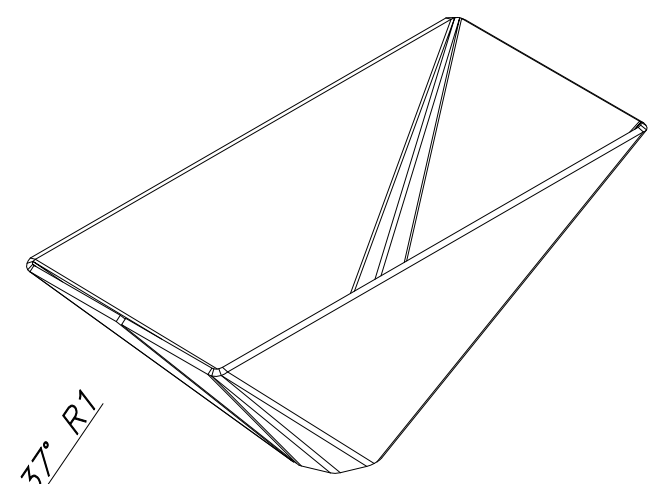
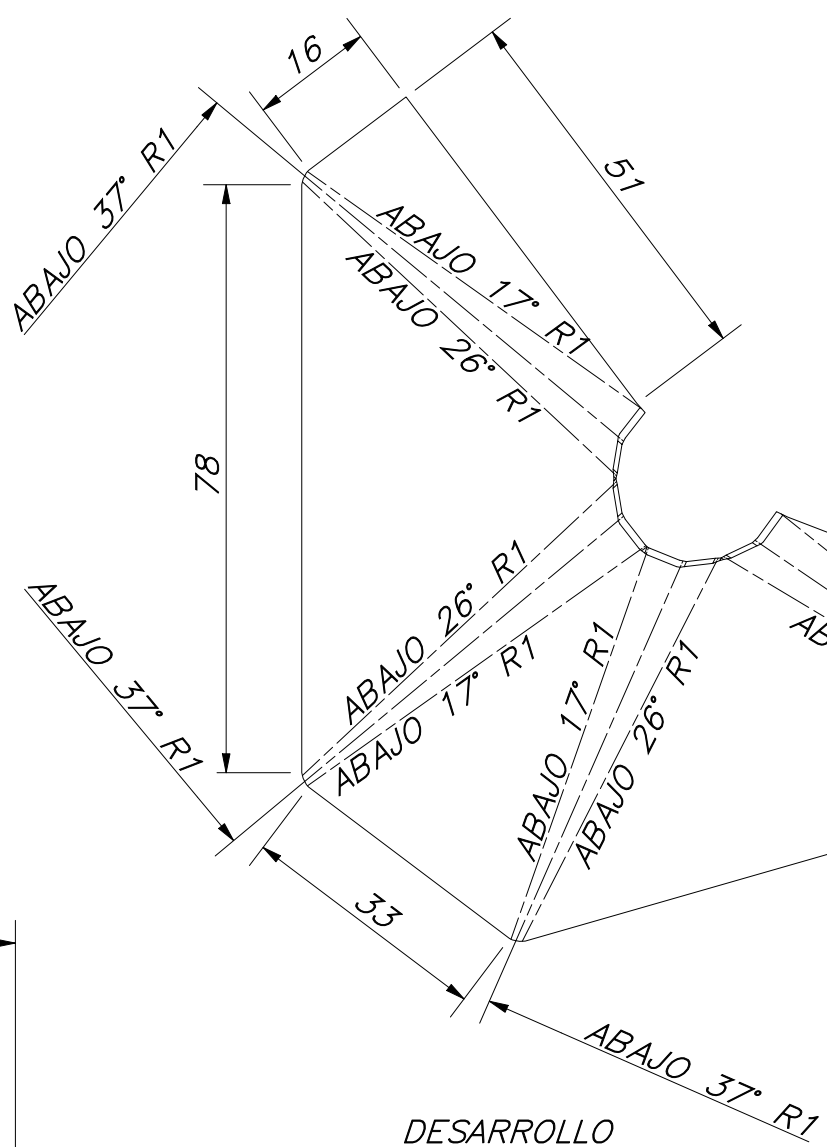
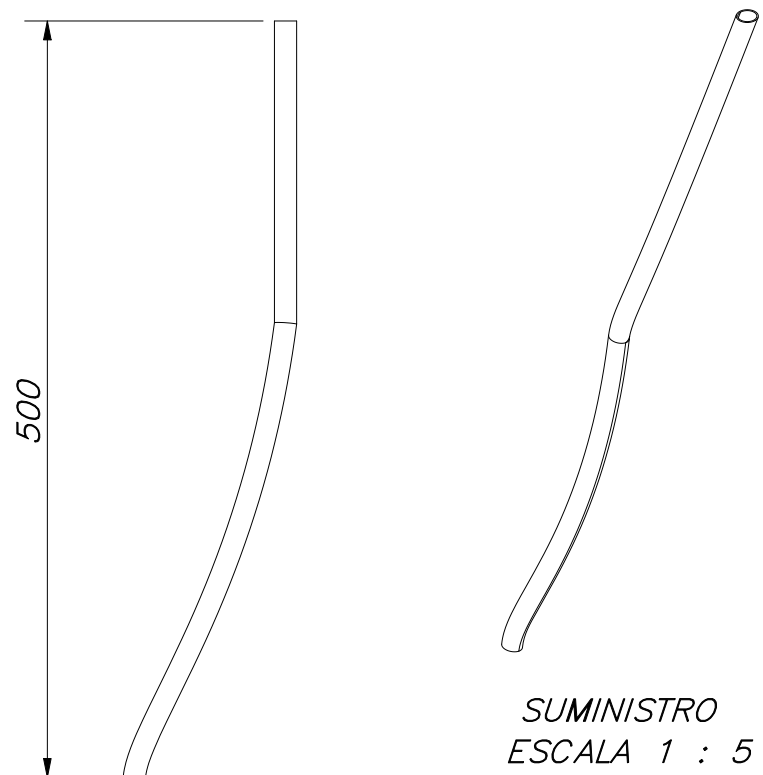
- UNIDADES: mm, CASO QUE DIGA LO CONTRARIO

PINTURA:

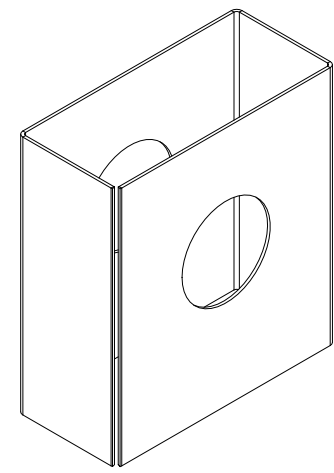
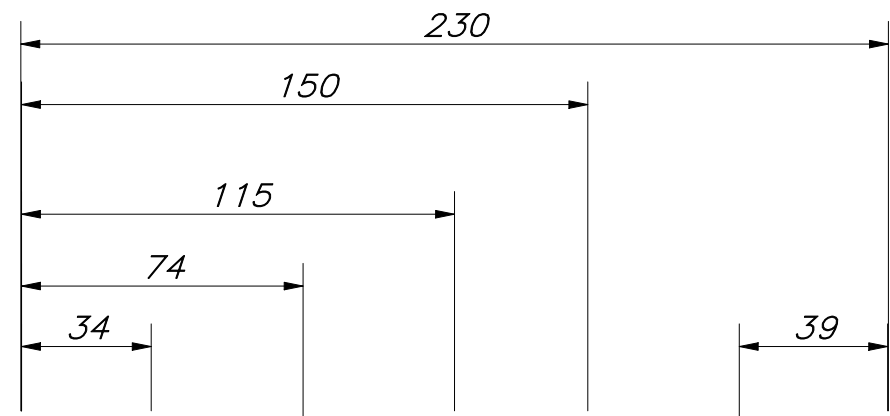
1. PREPARACIÓN DE SUPERFICIES SEGÚN NORMA SSPC-SP6
2. DOS MANOS DE ANTICORROSIVO EXPÓXICO (2 A 3 WILLS)

|                                                                                                  |                                                                        |                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| ACABADO SUPERFICIAL                                                                              | TOLERANCIA GENERAL                                                     | MATERIAL             |
|                                                                                                  |                                                                        | Acero ASTM A36       |
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA |                                                                        |                      |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN                                                                             | MARCADOR DE SURCOS Y<br>SISTEMA DE TAPADO                              | ESCALA<br>1 : 2      |
| HOJA: 32                                                                                         | AUTORES: BACH. SUNI PACCO ELVIS RENE<br>BACH. LOAIZA TAIPE JUAN CARLOS | FECHA:<br>25/11/2025 |
| REVISADO POR: ING. ROOSBEL DENNIS MAMANI CASTILLO                                                |                                                                        | FORMATO:<br>A3       |

|                 |                |                |
|-----------------|----------------|----------------|
| COTA<br>NOMINAL | COTA<br>MÁXIMA | COTA<br>MÍNIMA |
|-----------------|----------------|----------------|



CUBIERTA MANGUERA  
ESCALA 1 : 1  
2 UNIDADES



CUBIERTA DOSIFICADOR  
ESCALA 1 : 2  
2 UNIDADES

**NOTA:**

- UNIDADES: mm, CASO QUE DIGA LO CONTRARIO

**PINTURA:**

1. PREPARACIÓN DE SUPERFICIES SEGÚN NORMA SSPC-SP6
2. DOS MANOS DE ANTICORROSIVO EXPÓXICO (2 A 3 WILLS)

| ACABADO SUPERFICIAL                                                                              | TOLERANCIA GENERAL                                                     | MATERIAL          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------|
|                                                                                                  |                                                                        | Plástico, negro   |
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA |                                                                        |                   |
| MÉTODO DE PROYECCIÓN                                                                             | TUBOS DE SUMINISTRO DE SEMILLAS Y FERTILIZANTE                         | ESCALA            |
|                                                                                                  |                                                                        | 1 : 5             |
| HOJA: 33                                                                                         | AUTORES: BACH. SUNI PACCO ELVIS RENE<br>BACH. LOAIZA TAIPE JUAN CARLOS | FECHA: 15/11/2025 |
| REVISADO POR: ING. ROOSBEL DENNIS MAMANI CASTILLO                                                |                                                                        | FORMATO: A3       |

| TOLERANCIAS DIMENSIONALES<br>SEGÚN DIN 7168 |                    |                  |                   |                     |                      |                       |                        |
|---------------------------------------------|--------------------|------------------|-------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| GRADO DE EXACTITUD                          | Más de 0,5 hasta 3 | Más de 3 hasta 6 | Más de 6 hasta 30 | Más de 30 hasta 120 | Más de 120 hasta 400 | Más de 400 hasta 1000 | Más de 1000 hasta 2000 |
| MEDIO                                       | ±0,1               | ±0,1             | ±0,2              | ±0,3                | ±0,5                 | ±0,8                  | ±1,2                   |

|              |             |             |
|--------------|-------------|-------------|
| 33 H7        | +25/0       | 33.025/33   |
| COTA NOMINAL | COTA MÁXIMA | COTA MÍNIMA |