

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

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

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



TESIS

**DISEÑO DE UN SOPORTE ESTRUCTURAL PARA UNA CARGA
TOTAL DE 126 TONELADAS DEL EJE PRINCIPAL DE LA
CHANCADORA GIRATORIA FLSMIDTH 60"×113" PARA
REDUCIR LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO**

PRESENTADO POR:

Br. HERLES MARCO PUMA POLANCO

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

ASESOR:

Mgt. ARTURO MACEDO SILVA

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** Mgt. ARTURO MACEDO SILVA
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: DISEÑO DE UN SOPORTE ESTRUCTURAL
PARA UNA CARGA TOTAL DE 126 TONELADAS
DEL EJE PRINCIPAL DE LA CUANCADORA GIRATORIA
FLSMITH 60" x 113" PARA REDUCIR LOS COSTOS DE
MANTENIMIENTO.
Presentado por: HERNAN MARCO POMA POCANCO DNI N° 73792543;
presentado por: DNI N°:
Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO MECÁNICO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 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 10 %.

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.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
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.	

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, 1 de Julio de 2026


Firma

Post firma ARTURO MACEDO SILVA

Nro. de DNI 23821894

ORCID del Asesor 0000-0002-2794-949X

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid:** 27259:604118225

HERLES MARCO PUMA POLANCO

DISEÑO DE UN SOPORTE ESTRUCTURAL PARA UNA CARGA TOTAL DE 126 TONELADAS DEL EJE PRINCIPAL DE LA CHAN...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:604118225

Fecha de entrega

1 jul 2026, 8:30 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

1 jul 2026, 9:31 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

MC-TESIS HERLES PUMA - REV_01.07.pdf

Tamaño del archivo

6.3 MB



124 páginas

20.987 palabras

122.833 caracteres

10% 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 9 palabras)
- Trabajos entregados
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 10%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**
15 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.
-  **Texto oculto**
318 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

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

Con profundo cariño a mí querido
padre: Maximiliano Puma, por ser mi
guía y ejemplo para llegar donde
estoy.

Con eterno amor a mí a adorada
madre: Claudia Polanco, por su amor
incondicional y esfuerzo para hacer mí
un hombre de bien.

A Erica, por el amor que despertó en
mi corazón que día a día va creciendo
hasta el infinito.

A mis adorados hijos Maxhler y
Eidher que son mi principal
motivación y que hacen mi mundo
más bonito.

A mis hermanos Glenhs, Zahira y
Sandra, por ser el primer soporte en
mi vida.

Herles Marco Puma Polanco.



AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero agradecimiento.

- A Dios y la Virgen Inmaculada Concepción por estar siempre conmigo en cada decisión, fortalecer e iluminar mi mente.
- A mis tíos Mauro y Antonia por su apoyo incondicional
- A la UNSAAC por ser mi alma mater.
- A mi Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica por haberme acogido en sus aulas.
- A mis docentes y compañeros, por su paciencia y dedicación que jamás olvidaré.



RESUMEN

El presente trabajo de tesis propone el diseño de un soporte estructural fijo con capacidad para una carga de 126 toneladas, especialmente para su uso en el mantenimiento del eje principal de la chancadora giratoria Flsmidth 60"x113". El objetivo principal es optimizar los costos operativos de mantenimiento al eliminar de manera permanente la dependencia del alquiler de una grúa telescópica de 200 toneladas durante el cambio del anillo de empuje del eje de la chancadora giratoria.

Metodológicamente, la tesis desarrolla la definición de las características mecánicas del acero estructural, aplicando la normativa y combinaciones de carga del método LRFD (Diseño por Factores de Carga y Resistencia). El diseño analítico se valida mediante cálculos matemáticos simplificados y posteriormente se verifica computacionalmente utilizando el software de análisis estructural SAP2000, evaluando las cargas axiales, deformaciones y reacciones de la estructura propuesta. Finalmente, el estudio incluye una evaluación económica proyectada a cinco años que contrasta la fabricación del soporte estructural frente al alquiler histórico de grúas, demostrando la alta rentabilidad y ahorro potencial, validando así la viabilidad de la propuesta.

Palabras clave.

Diseño estructural, Método LRFD, Elementos finitos, Chancadora giratoria, Retorno de inversión.



ABSTRACT

This thesis proposes the design of a fixed structural support with a 126-ton load capacity, specifically intended for use in the maintenance of the main shaft of an FLSMIDTH 60"x113" gyratory crusher. The primary objective is to optimize operational maintenance costs by permanently eliminating the reliance on renting a 200-ton telescopic crane during the replacement of the gyratory crusher shaft's thrust ring.

Methodologically, the thesis establishes the definition of the mechanical characteristics of the structural steel, applying the standards and load combinations of the LRFD (Load and Resistance Factor Design) method. The analytical design is validated through simplified mathematical calculations and subsequently verified computationally using the SAP2000 structural analysis software, evaluating the axial loads, deformations, and reactions of the proposed structure. Finally, the study includes an economic evaluation projected over a five-year period that contrasts the manufacturing of the structural support against historical crane rental expenses, demonstrating high profitability and potential savings, thereby validating the feasibility of the proposal.

Keywords.

Structural design, LRFD method, Finite elements, Gyratory crusher, Return on investment.



ÍNDICE

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTOS.....	II
RESUMEN.....	III
ABSTRACT.....	IV
ÍNDICE.....	V
LISTA DE TABLAS.....	XII
LISTA DE FIGURAS.....	XIV
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XVI
CAPÍTULO I GENERALIDADES.....	18
1.1. Introducción.....	18
1.1.1. Ámbito geográfico.....	19
1.1.2. Diagrama de flujo y descripción del equipo.....	19
1.1.2.1. Chancadora giratoria.....	20
1.2. Descripción del problema.....	22
1.2.1. Planteamiento del problema.....	22
1.2.2. Formulación del problema.....	24
1.2.2.1. Problema principal.....	24
1.2.2.2. Problemas específicos.....	24
1.3. Objetivos.....	24
1.3.1. Objetivo general.....	24
1.3.2. Objetivos específicos.....	25



1.4. Justificación	25
1.4.1. Justificación de la necesidad	25
1.4.2. Justificación del problema.....	26
1.5. Hipótesis	26
1.5.1. Hipótesis general	26
1.5.2. Hipótesis específica.....	26
1.6. Sistema de variables de diseño	27
1.6.1. Variables independientes.....	27
1.6.2. Variables dependientes.....	27
1.7. Alcances y limitaciones	28
1.7.1. Alcances	28
1.7.2. Limitaciones	28
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	29
2.1. Antecedentes de estudio	29
2.2. Bases teóricas	29
2.2.1. Diseño estructural.....	29
2.2.2. Procedimiento del diseño estructural	30
2.2.2.1. Etapa conceptual o planeamiento.....	31
2.2.2.2. Configuración preliminar estructural	31
2.2.2.3. Determinación de las cargas.....	31
2.2.2.4. Selección preliminar de los miembros estructurales.....	31
2.2.2.5. Análisis estructural.....	31



2.2.2.6. Evaluación o etapa de diseño	31
2.2.2.7. Decisión o etapa final del diseño	32
2.2.2.8. Elaboración de planos de diseño y especificaciones.....	32
2.2.3. Estructura metálica	33
2.2.4. Condiciones que debe cumplir una estructura.....	33
2.2.5. El acero como material estructural	33
2.2.5.1. Diagrama esfuerzo – deformación	34
2.2.5.2. Ventajas del acero estructural	35
2.2.5.3. Desventajas del acero estructural	36
2.2.6. Tipo de perfiles estructurales	36
2.2.7. Tipo de conexiones o uniones en estructuras	37
2.2.8. Junta	38
2.2.9. Conexión	38
2.2.10. Conexiones soldadas.....	38
2.2.11. Conexiones apernadas.....	39
2.2.12. Consideraciones generales de diseño	40
2.2.12.1.Consideraciones de diseño	40
2.2.12.2.Consideraciones de materiales	40
2.2.12.3.Consideraciones costos	40
2.2.12.4.Consideraciones de seguridad	40
2.2.13. Métodos de análisis AISC.....	40
2.2.13.1.Método AISFC LRFD.....	41



2.2.13.2. Ventajas.....	42
2.2.13.3. Combinaciones de carga para el método LRFD	42
2.2.14. Método de los elementos finitos	42
CAPÍTULO III PARÁMETROS DE CÁLCULO.....	45
3.1. Alcance	45
3.2. Código y normas aplicables.....	46
3.3. Especificaciones técnicas	47
3.3.1. Material	47
3.3.2. Perfiles.....	47
3.3.3. Unión estructural	47
3.4. Identificación de cargas	48
3.4.1. Carga muerta	49
3.4.2. Carga viva	49
3.5. Combinación de cargas.....	49
CAPÍTULO IV CÁLCULO ESTRUCTURAL POR EL MÉTODO LRFD.....	51
4.1. Verificación preliminar de elemento vertical a compresión.....	51
4.1.1. Selección del perfil.....	52
4.2. Análisis matemático armadura 3 barras.....	53
4.2.1. Definición de coordenadas	55
4.2.2. Definición de elementos.....	55
4.2.3. Cálculo de cosenos directores	56
4.3. Matriz de rigidez local de cada elemento	56



4.4. Transformación de coordenadas globales.....	57
4.5. Matriz de rigidez global del elemento	58
4.6. Matriz global de la estructura	59
4.7. Aplicación de frontera	59
4.8. Reacciones en los apoyos	60
4.9. Fuerzas internas	60
4.10. Tensión axial	61
4.11. Resultados del Matlab	62
4.12. Verificación de perfiles	64
CAPÍTULO V SIMULACIÓN POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS.....	67
5.1. Introducción.....	67
5.2. Metodología propuesta	67
5.2.1. Modelado 3d.....	68
5.2.2. Cargas aplicadas.....	68
5.2.2.1. Asignación carga viva.....	68
5.2.3. Combinación de carga.....	69
5.2.4. Cargas axiales.....	69
5.2.5. Diagrama de momentos.....	70
5.2.6. Verificación de ratios	71
5.2.7. Análisis por rigidez	73
5.2.8. Reacciones en los puntos de apoyo	74
5.2.9. Verificación de elementos principales	75



5.2.9.1. Columnas y vigas (W12x50).....	75
5.2.9.2. Diagonales (W10x33)	76
5.2.9.3. Anillo superior (L6x6x3/4)	77
5.2.9.4. Anillo inferior (L200x300x38)	78
CAPÍTULO VI EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	79
6.1. Análisis de la situación actual	79
6.2. Costos directos.....	80
6.2.1. Costo de ingeniería y diseño	81
6.2.2. Costo de materiales	82
6.2.3. Costo de fabricación.....	83
6.2.4. Costo de instalación y montaje.....	83
6.3. Costos indirectos	84
6.4. Evaluación económica.....	85
6.4.1. Definición de variables.....	85
6.4.1.1. Inversión inicial.....	85
6.4.1.1. Costo evitado anual	85
6.4.2. Cálculo de retorno sobre la inversión (ROI)	85
6.4.3. Cálculo del periodo de recuperación de inversión (PRI)	86
6.4.1. Proyección de inversión	87
CONCLUSIONES.....	89
RECOMENDACIONES	90
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91



ANEXOS.....	92
ANEXO A: PLANO EJE PRINCIPAL MAIN SHAFT	93
ANEXO B: CÓDIGO MATLAB DESARROLLADO	94
ANEXO C: DIMENSIONES Y PROPIEDADES DE VIGAS DE ACERO.....	102
ANEXO D: RESUMEN DE COSTOS	103
ANEXO E: SECUENCIA USO DEL SOPORTE	104
ANEXO F: PLANOS DE FABRICACIÓN	114



LISTA DE TABLAS

CAPÍTULO I

Tabla 1.1. Costo de alquiler de grúa telescópica de 200 toneladas 2015-2023	23
Tabla 1.2. Variable independiente.	27
Tabla 1.3. Variable dependiente.	27

CAPÍTULO II

Tabla 2.1. Conexiones soldadas.....	38
Tabla 2.2. Conexiones apernadas.....	39

CAPÍTULO III

Tabla 3. 1. Propiedades del acero.	47
Tabla 3. 2. Cargas aplicables al soporte estructural.....	48
Tabla 3. 3. Combinaciones de carga	50

CAPÍTULO IV

Tabla 4. 1. Resultados para diferentes valores típicos de "r".	52
Tabla 4. 2. Tabla de vigas de acero con área y radio de giro mínimo (Anexo C)	53
Tabla 4. 3. Condiciones de apoyo y grados de libertad del modelo simplificado.	54
Tabla 4. 4. Coordenadas de la armadura de tres barras.	55
Tabla 4. 5. Definición de elementos de la armadura de tres barras.	56
Tabla 4. 6. Resultados del cálculo de cosenos directores.	56
Tabla 4. 7. Resultados de los cálculos por el método LRFD.....	65
Tabla 4. 8. Resumen de cálculos.....	66

CAPÍTULO V

Tabla 5. 1. Tabla de reacciones en los nodos.....	74
---	----

CAPÍTULO VI



Tabla 6. 1. Tabla de costos de alquiler de grúa telescópica de 200 toneladas	79
Tabla 6. 2. Tabla de costos de alquiler de grúa año	80
Tabla 6.3. Tabla de Metrado de pesos del soporte estructural.....	81
Tabla 6.4. Tabla de metrado de pesos del soporte estructural	82
Tabla 6.5. Costo total de suministro de materiales	83
Tabla 6.6. Costo total de fabricación	83
Tabla 6.7. Costo total de instalación y montaje	84
Tabla 6.8. Costo total de instalación y montaje	84
Tabla 6.9. Proyección a 5 años de inversión.....	87



LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1.1. Desmontaje del Eje Principal de una Chancadora.....	18
Figura 1.2. Plano de Ubicación de la Minera Constancia (Hudbay, 2013).	19
Figura 1.3. Diagrama de Flujo Área de Chancado (Hudbay, 2013).	20
Figura 1.4. Disposición típica de una chancadora giratoria (Sanchez Chocano & Tecsup, 2019)	21
Figura 1.5. Características de la chancadora giratoria (Flsmidth, 2019)	21
Figura 1.6. Elementos de la chancadora giratoria (Flsmidth, 2019).....	22
Figura 1.7. Proyección de cambio de eje principal de la chancadora giratoria.	23
Figura 1.8. Eje Principal en posición reclinada.	23

CAPÍTULO II

Figura 2.1. Procedimiento en el diseño estructural (Zapata Baglietto, 1992).....	32
Figura 2.2. Diagrama esfuerzo-deformación (McCorman & Csernak, 2013)	34
Figura 2.3. Curvas características Esfuerzo-Deformación (McCorman & Csernak, 2013) ...	35
Figura 2.4. Perfiles laminados de Acero (McCorman & Csernak, 2013).....	37
Figura 2.5. Perfiles de miembros a compresión (McCorman & Csernak, 2013).....	37
Figura 2.6. Tipos de conexiones en Acero.....	38
Figura 2.7. Etapas de procesamiento de elementos finitos (Elaboración propia).	44

CAPÍTULO III

No se encuentran elementos de tabla de ilustraciones.

CAPÍTULO IV

Figura 4. 1. Gráfica de columna Fija – Articulada.	51
Figura 4. 2. Modelo matemático armadura de tres barras.....	54
Figura 4. 3. Geometría de la armadura.	62



Figura 4. 4. Deformación vertical ($2.972 \text{ mm} - 2.8702 \text{ mm} = 0.1018 \text{ mm}$).	63
Figura 4. 5. Fuerzas axiales internas en la armadura.	63
Figura 4. 6. Esfuerzos axiales encontrados.	64
Figura 4. 7. Reacciones en los apoyos.	64

CAPÍTULO V

Figura 5. 1. Modelo 3D, generado en SAP2000.	68
Figura 5. 2. Elementos lineales de la estructura y condición de borde.	68
Figura 5. 3. Carga aplicada sobre la estructura.	69
Figura 5. 4. Combinaciones de carga según la metodología LRFD, AISC 360.	69
Figura 5. 5. Cargas axiales en los elementos de la estructura.	70
Figura 5. 6. Cargas axiales en los elementos de la estructura.	70
Figura 5. 7. Diagrama de momentos flectores en la estructura del anillo superior.....	71
Figura 5. 8. Lectura del momento flector en el anillo superior.....	71
Figura 5. 9. Verificación de elementos analizados.	72
Figura 5. 10. Verificación de ratios en la estructura.	72
Figura 5. 11. Deformación de la estructura.....	73
Figura 5. 12. Deformación de los puntales	73
Figura 5. 13. Reacciones en los apoyos.	74

CAPÍTULO VI

Figura 6.1. Soporte estructural para 126 toneladas.....	81
---	----



LISTA DE SÍMBOLOS

NOTACIÓN	SÍMBOLO
Carga muerta	DL
Carga viva	LL
Carga aplicada/axial en nodo o elemento	P
Carga axial solicitante factorizada	P _u
Resistencia axial nominal	P _n
Factor de resistencia (LRFD)	ϕ
Resistencia de diseño a compresión	ϕP_n
Área de la sección	A
Área bruta de la sección	A _g
Radio de giro de la sección	r
Radio de giro mínimo de la sección	r _{min}
Coeficiente de longitud efectiva	K
Longitud del elemento / de pandeo	L
Razón de esbeltez	KL/r
Parámetro de esbeltez adimensional	λ
Límite de esbeltez (régimen elástico/inelástico)	λ_c
Esfuerzo de pandeo de Euler	F _e
Esfuerzo crítico a compresión (AISC)	F _{cr}



Límite de fluencia del acero	F_y
Módulo de elasticidad del acero	E
Coefficiente de Poisson	ν
Densidad del acero	ρ
Cosenos directores ($c = \cos\theta$, $s = \sin\theta$)	c, s
Longitud del elemento (modelo de armadura)	L_e
Coordenadas de nodos inicial y final	$(x_i, y_i), (x_j, y_j)$



CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. Introducción

En los últimos años, la disponibilidad y el uso de equipos auxiliares se ha vuelto un tema fundamental dentro de la mediana y gran minería, principalmente en la utilización de estos equipos auxiliares durante las paradas de planta, ya que constantemente se busca optimizar el uso de recursos a nivel material, humano y documental.

En el presente trabajo se busca evaluar y validar el diseño de un soporte estructural para una carga de 126 toneladas del eje principal de una chancadora giratoria, que permita reemplazar el uso de una grúa telescópica de 200 toneladas y consecuentemente optimizar la utilización de horas máquina (HM) y horas hombre (HH), durante el desmontaje y montaje del eje principal de la chancadora giratoria FLSmidth, que se realiza durante las paradas de planta en la minera Constancia - Hudbay.



Figura 1.1. Desmontaje del Eje Principal de una Chancadora.



1.1.1. Ámbito geográfico

La Unidad Minera Constancia está ubicada en la parte Suroriental del Perú, entre los Distritos de Chamaca, Livitaca y Velille, Provincia de Chumbivilcas, Departamento del Cusco, alrededor 4,000 a 5,000 msnm.



Figura 1.2. Plano de Ubicación de la Minera Constancia (Hudbay, 2013).

1.1.2. Diagrama de flujo y descripción del equipo

La función principal del circuito de “chancado primario” es la conminación del mineral proveniente de la mina, para específicamente reducir el tamaño de la roca.

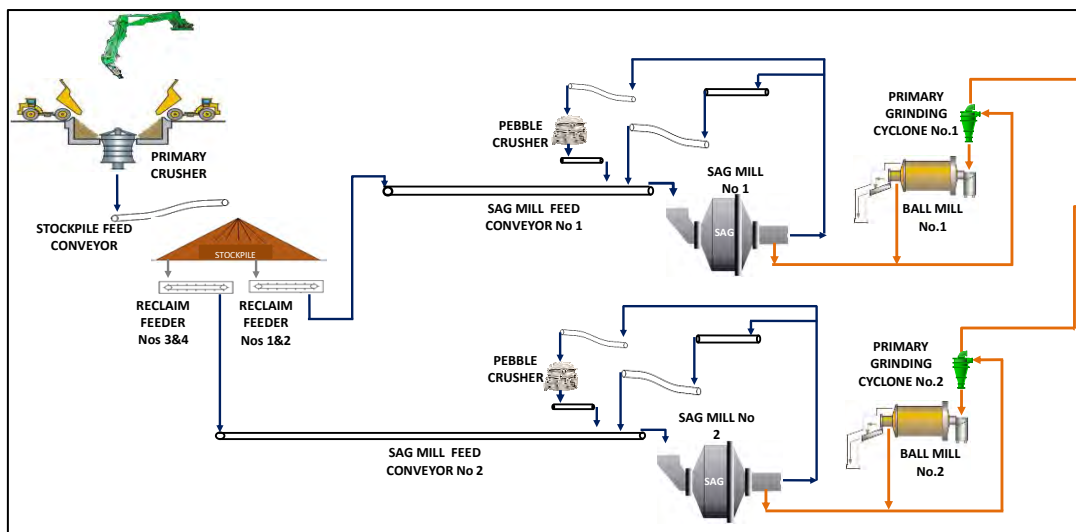


Figura 1.3. Diagrama de Flujo Área de Chancado (Hudbay, 2013).

1.1.2.1. Chancadora giratoria

Se diferencian de los otros tipos de chancadoras por su alta capacidad de procesamiento de mineral y son usadas principalmente para el chancado primario y estas se encuentran en las instalaciones mineras de cobre en el sur del Perú que están clasificadas como gran minería, es decir que procesan flujos altos de producción de mineral (cerca de o superiores a las 95.000 ton/día).

La chancadora está formada por un eje vertical que tiene un componente de acero en forma cónica “manto”, la parte superior del eje está suspendida de una araña y la parte inferior descansa sobre un mango excéntrico, el eje a medida que gira delinea un trayecto especial dentro de la cámara de chancado debido a la excéntrica.

En la parte superior de la chancadora está ubicada la tolva de alimentación con una capacidad suficiente para mantener la operación a un determinado flujo, además cuenta con equipos mecánicos adicionales como un puente grúa para el mantenimiento y un martillo pica rocas cuya función es disminuir el tamaño de las rocas que superen la abertura de alimentación de la chancadora. (Figura 1.4)

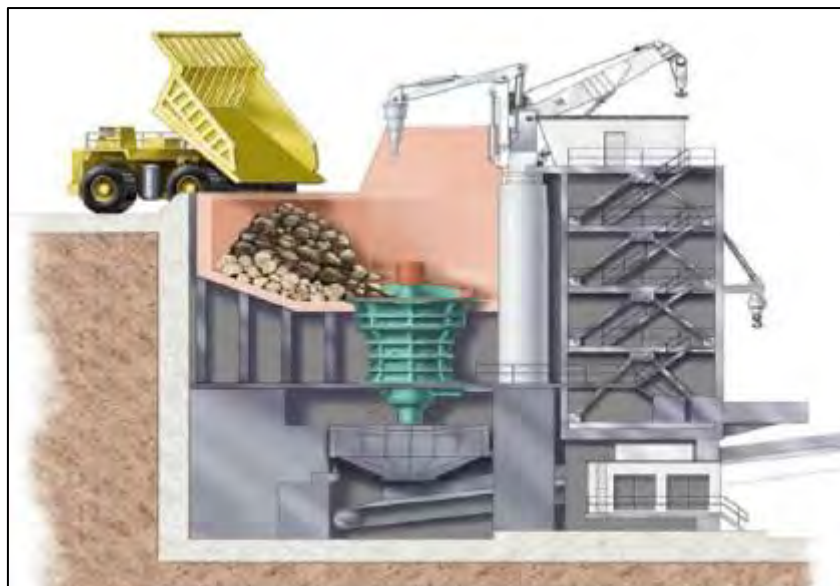


Figura 1.4. Disposición típica de una chancadora giratoria (Sanchez Chocano & Tecsup, 2019)

En la parte inferior de la chancadora se ubica la tolva de descarga, es ahí donde el material es enviado mediante fajas transportadoras hacia la siguiente etapa de molienda.

El modelo de chancadora para el presente estudio es el FULLER-TRAYLOR GYRATORY CRUSHER 60"x113" instalados en mineras como Las Bambas, Antapaccay, Cerro verde y Constancia.

-Fabricado por FLSmidth, con motor de 1000 HP/750 kW, 3300 V.
La descripción TRAYLOR 60 x 113 tiene el siguiente significado:
-60" (1525 mm) : medida de la abertura de alimentación,
-113" (2870 mm) : medida del diámetro mayor del manto.
-Capacidad : 6.250 tph
-Velocidad eje Piñón : 500 rpm
-Excentricidad : 45 mm
-Apertura Máx./ Mín. : 254 / 170 mm

Figura 1.5. Características de la chancadora giratoria (Flsmidth, 2019)

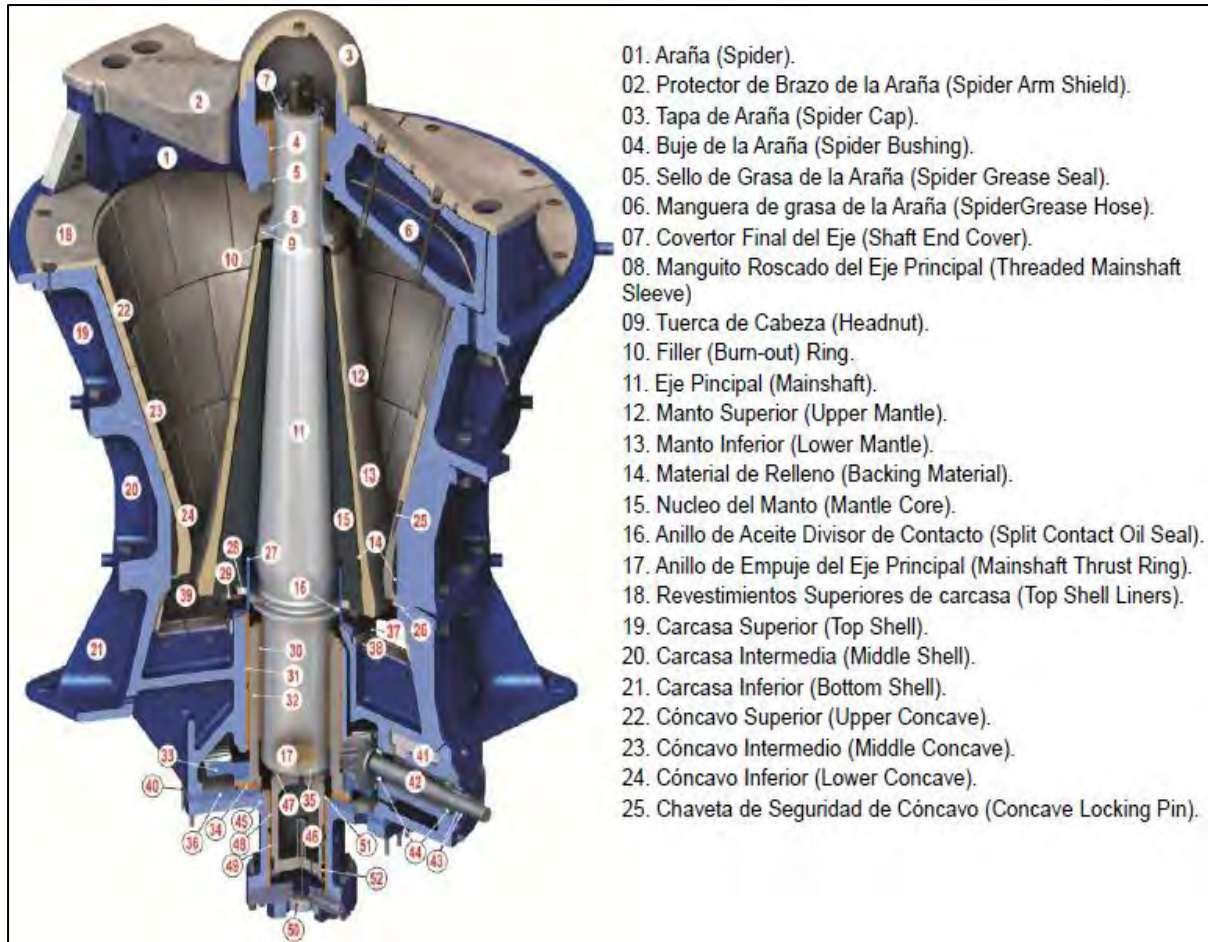


Figura 1.6. Elementos de la chancadora giratoria (Flsmidth, 2019)

1.2. Descripción del problema

1.2.1. Planteamiento del problema

A lo largo del tiempo, la industria de la minería ha registrado costos de mantenimiento elevados, además de los problemas de mantenimiento en equipos de gran dimensión, principalmente por la gran variedad de elementos pesados que existen dentro de la industria minera, como es el caso del cambio del eje principal de 126 toneladas de la chancadora giratoria (Anexo A), que de acuerdo a la proyección de paradas de planta se interviene trimestralmente y semestralmente (Figura 1.7), utilizando una fuerza laboral de 20 personas, un puente grúa de 135 toneladas y una grúa telescópica móvil de 200 toneladas alquilada.



	MANTENIMIENTO 2015												MANTENIMIENTO 2016												MANTENIMIENTO 2017												
ACTIVIDAD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Cambio de Eje principal																																					
Cambio de Eje principal + anillo																																					
Alquiler de grúa de 200 ton	SI						SI						SI						SI						SI						SI						

	MANTENIMIENTO 2018												MANTENIMIENTO 2019												MANTENIMIENTO 2020												
ACTIVIDAD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Cambio de Eje principal																																					
Cambio de Eje principal + anillo																																					
Alquiler de grúa de 200 ton	SI						SI						SI						SI						SI						SI						

	MANTENIMIENTO 2021												MANTENIMIENTO 2022												MANTENIMIENTO 2023												
ACTIVIDAD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Cambio de Eje principal																																					
Cambio de Eje principal + anillo																																					
Alquiler de grúa de 200 ton	SI						SI						SI						SI						SI						SI						

Figura 1.7. Proyección de cambio de eje principal de la chancadora giratoria.

Durante la intervención semestral de la chancadora hasta la fecha, ha sido necesario contar con el alquiler de una grúa telescópica de 200 toneladas para reclinar el eje principal de 126 toneladas, para luego realizar la inspección y/o cambio del anillo de empuje (Figura N° 8).



Figura 1.8. Eje Principal en posición reclinada.

En cuanto a los costos, desde inicios del 2015, el alquiler de la grúa telescópica de 200 toneladas anualmente es aproximadamente \$ 115,000, lo que genera costos elevados de mantenimiento en el cambio del eje principal de la chancadora (Tabla 1.1).

Tabla 1.1. Costo de alquiler de grúa telescópica de 200 toneladas 2015-2023

Alquiler grúa 200 ton	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Costo (USD)	\$106,13	\$106,70	\$110,35	\$111,86	\$110,90	COVID	\$130,75	\$125,40	\$118,09



Con lo mencionado en lo anterior, el presente trabajo plantea diseñar un soporte estructural fijo que permita reducir los costos de mantenimiento en el cambio del eje principal de la chancadora giratoria Flsmidth, además de asegurar la calidad de trabajo y la integridad del personal que ejecutan las actividades.

1.2.2. Formulación del problema

1.2.2.1. Problema principal

¿De qué manera el diseño de un soporte estructural para el eje principal de 126 toneladas de la chancadora giratoria FLSmidth 60"x113" optimizará los costos de mantenimiento?

1.2.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son las características geométricas y condiciones de contorno para diseñar el soporte estructural?
- ¿Cuál es la capacidad resistente requerida de la estructura aplicando las combinaciones de carga del método LRFD?
- ¿Cuál es el comportamiento de los esfuerzos y las deformaciones del soporte estructural validados mediante el Método de Elementos Finitos (FEM)?
- ¿Cuál es el análisis costo-beneficio de la fabricación e implementación del soporte estructural comparado con el uso de la grúa de 200 toneladas alquilada?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar un soporte estructural para el eje principal de 126 toneladas de la chancadora giratoria Flsmidth 60"x113" que permita reducir los costos de mantenimiento.



1.3.2. Objetivos específicos

- Establecer las características geométricas y condiciones de contorno necesarias para el diseño del soporte estructural.
- Dimensionar los componentes del soporte estructural asegurando la capacidad requerida, aplicando las combinaciones de carga del método LRFD.
- Validar el comportamiento estructural del diseño analizando la distribución de esfuerzos y deformaciones mediante el método de elementos finitos.
- Realizar el costo-beneficio, comparando los costos de fabricación del soporte versus los costos operativos por alquiler y uso de una grúa de 200 toneladas.

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación de la necesidad

La industria de la minería ha pasado dificultades en la ejecución del mantenimiento de equipos mecánicos, debido a la gran variedad de elementos pesados que existen dentro de las unidades mineras, como es el caso del eje principal de la chancadora giratoria, surge la gran necesidad de contar con una estructura metálica adecuada que pueda soportar un peso de 126 toneladas, para de esta forma optimizar factores importantes como:

- Tiempo de mantenimiento, reduciendo las horas-hombre y horas-máquina que se utilizan actualmente en el cambio del eje principal de la chancadora.
- Costos de mantenimiento, reduciendo la cantidad de la fuerza laboral y alquiler de equipos (grúa telescópica móvil de 200 toneladas)

El Perú es uno de los principales países productores de metales, según SNMPE, es por ello que la optimización de la eficiencia de mantenimiento de equipos tiene un impacto positivo.



1.4.2. Justificación del problema

El presente trabajo se enfoca en aplicar los conocimientos adquiridos en el pregrado para diseñar de un soporte estructural para una carga de 126 toneladas del eje principal de una chancadora giratoria. El diseño se sustenta en criterios normativos para estructuras metálicas y materiales, considerando AISC 360 (LRFD/ASD), especificaciones ASTM y el RNE E.090, según corresponda.

Asimismo, se emplea ingeniería asistida por computadora (CAE) mediante análisis por elementos finitos para verificar el comportamiento del soporte en términos de esfuerzos y deformaciones bajo los casos de carga definidos, complementando los cálculos analíticos y respaldando la consistencia del diseño.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

Es posible reducir los costos de mantenimiento del eje principal de la chancadora con la implementación de un soporte estructural que admite una carga de 126 toneladas.

1.5.2. Hipótesis específica

- Una configuración geométrica de tipo pedestal permitirá un posicionamiento estable y seguro del eje principal de la chancadora.
- El dimensionamiento de los perfiles estructurales mediante el método LRFD garantizará la resistencia para soportar la carga de 126 toneladas del eje principal.
- El método de los elementos finitos demostrará que los esfuerzos y deformaciones máximas se mantendrán dentro del rango elástico del acero.
- La implementación del soporte estructural será económicamente viable.



1.6. Sistema de variables de diseño

Las variables dependientes e independientes se identifican del enunciado de la hipótesis (ver ítem 1.5).

1.6.1. Variables independientes

Tabla 1.2. Variable independiente.

Variable Independiente	Indicador	Sub Indicador
Eje principal	Magnitud, Geometría	Peso, Material
Método AISC LRFD	Resistencia, Normativa	Combinación de Cargas
Método de los Elementos Finitos	Esfuerzos-Deformaciones	Análisis de datos

Fuente: Elaboración propia.

1.6.2. Variables dependientes

Tabla 1.3. Variable dependiente.

Variable dependiente	Indicador	Sub Indicador
Diseño del soporte estructural	Diseño	Estructura
	Ingeniería	Análisis y cálculo
	Materiales	Fichas técnicas
	Normatividad	Seguridad

Fuente: Elaboración propia.



1.7. Alcances y limitaciones

1.7.1. Alcances

- El presente trabajo comprende el diseño y cálculo estructural general de un soporte para el eje principal de 126 toneladas de la chancadora giratoria FLSmidth 60" $\times$ 113", aplicando la metodología AISC LRFD.
- El estudio incluye la definición geométrica del soporte, la selección y verificación de los elementos estructurales principales, así como la simulación mediante software de análisis estructural.
- El trabajo contempla planos generales del soporte estructural, orientados a mostrar la geometría, dimensiones principales y disposición de los elementos que conforman la estructura.

1.7.2. Limitaciones

- El diseño del soporte estructural se limita al caso del eje principal de 126 toneladas de la chancadora giratoria Flsmidth 60" $\times$ 113".
- La metodología de cálculo estructural se limita al método LRFD y a la verificación global del comportamiento del soporte estructural.
- No se desarrollan cálculos detallados de conexiones emperradas, conexiones soldadas, placas base ni pernos de anclaje a la cimentación, debido a que el propósito de la tesis es evaluar la capacidad resistente y comportamiento general del soporte bajo una carga de 126 toneladas.
- El diseño específico de soldaduras, pernos, placas base y anclajes deberá desarrollarse en una etapa posterior de ingeniería de detalle, fabricación y montaje, conforme a las normas aplicables.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

Las estructuras son diseñadas en base a normas como el AISC LRFD y ASD, pero en la actualidad el avance tecnológico y la existencia de software o programas especializados CAD, CAE y CAM permiten realizar el diseño y análisis o verificación estructural en un menor tiempo.

El presente estudio toma como antecedentes varios estudios del arte sobre el diseño de estructuras sometidas a cargas.

Tesis “Diseño y verificación estructural de un soporte metálico para un alimentador con chute de 6Tm”, llegando a la conclusión que todos los elementos cumplen con las exigencias de esfuerzo y deformación permisibles adecuados según la metodología de diseño LRFD. (Alarcon Mollo, 2017)

Tesis “Cálculo y diseño estructural de una plataforma móvil de mantenimiento para el ducto de inmersión ciclón 5 con 8 metros de diámetro”, con el cálculo se obtuvo los datos de resistencia más relevantes sobre la estructura, luego de aplicar las ocho combinaciones de carga establecidas por la norma AISC LRFD. (Huanca Cahuana, 2018)

Tesis “Metodología para el análisis estático y dinámico de estructuras metálicas aplicando el método de los elementos finitos”, concluyendo que la metodología propuesta es aplicable a aquellas estructuras no convencionales en la etapa de diseño. (Carrasco Angulo, 2011)

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Diseño estructural



El diseño estructural es bastante utilizado en la ingeniería, en la actualidad esta define los parámetros y análisis necesarios para cuantificar con precisión las cargas de trabajo aplicadas en los sistemas estructurales continuos. Además de la magnitud y distribución de los esfuerzos y deformaciones generados en los elementos que configuran estos sistemas, como respuesta a las solicitaciones de las cargas actuantes. Luego, estos resultados se contrastan con los criterios de diseño recomendados por las normas, para determinar la confiabilidad del diseño.

La confiabilidad es la característica primordial de cualquier diseño, más aún en el campo estructural, en el cual persisten con métodos implicados de análisis que restan validez a los resultados. En tanto la confiabilidad dependerá de uso de métodos y herramientas eficaces.

Básicamente existen dos formas para el cálculo de estructuras, una analítica y otro numérico, el cálculo analítico proporciona un resultado confiable al sustentarse en hipótesis y suposiciones lógicas, pero es bastante operativo en comparación con el numérico.

Es una mezcla de arte y ciencia que combina los sentimientos intuitivos del ingeniero con los principios de la Estática, Dinámica, Mecánica de los Materiales y el análisis Estructural, para producir una estructura segura que sirva sus propósitos. (Zapata Baglietto, 1992)

2.2.2. Procedimiento del diseño estructural

La labor del diseño se compone de dos partes:

- Aspectos funcionales del proyecto a ejecutar, tales como la provisión de áreas adecuadas de trabajo, dimensiones mínimas, estética, etc.
- Diseño de los componentes estructurales, el estudio del diseño se refiere a la selección de los miembros para transmitir las cargas con un factor de seguridad.



2.2.2.1. Etapa conceptual o planeamiento

Establecimiento de las condiciones funcionales a la que la estructura debe servir. Aquí se define el criterio de lo óptimo.

2.2.2.2. Configuración preliminar estructural

Con base de la primera etapa se estudian los diferentes sistemas estructurales aplicables al proyecto, es aquí donde el ingeniero debe pre dimensionar los elementos, definir materiales, evaluar cargas actuantes, conexiones con base a esta información anterior realizar el análisis y diseño verificando esfuerzos y deformaciones.

2.2.2.3. Determinación de las cargas

Estimadas inicialmente, pero conocidas con más precisiones en las sucesivas iteraciones.

2.2.2.4. Selección preliminar de los miembros estructurales

Una vez finalizado los diseños preliminares y las alternativas consideradas, debe hacerse la selección que permita iniciar análisis estructural.

2.2.2.5. Análisis estructural

Una vez seleccionado el sistema estructural, definida su geometría, materiales y definida las cargas actuantes, se debe realizar el análisis estructural utilizando las teorías y normas de la mecánica estructural, se debe establecer un modelo matemático que prediga el comportamiento real de la estructura.

2.2.2.6. Evaluación o etapa de diseño

Con base en los resultados del análisis estructural como son fuerzas, momentos, desplazamientos y esfuerzos se procede con el diseño estructural, el cual consiste en satisfacer los requisitos de resistencia, estabilidad, rigidez y deflexión de cada uno de los



elementos. Las exigencias del diseño estructural están establecidas en las normas, códigos, especificaciones y reglamentos. Si hay un margen de seguridad adecuado y económico se puede dar por concluido.

2.2.2.7. Decisión o etapa final del diseño

En esta etapa se hacen los ajustes necesarios a la estructura y finalmente decidir si es que se ha alcanzado de forma óptima con las exigencias del diseño estructural, aspectos económicos, estéticos y constructivos.

2.2.2.8. Elaboración de planos de diseño y especificaciones

La meta de esta etapa es hacer realidad a lo que se describió, en algunos casos son necesarios modelos o maquetas y la elaboración de planos de fabricación que son aquellos que detallan cada elemento para su preparación, así como las conexiones.

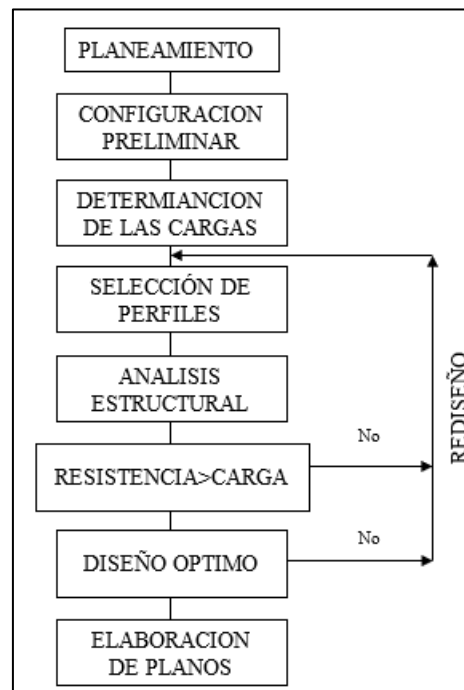


Figura 2.1. Procedimiento en el diseño estructural (Zapata Baglietto, 1992)



2.2.3. Estructura metálica

Es un conjunto de elementos interconectados continuamente que, entre sí forman un cuerpo, una forma o un todo, predestinadas a resistir los efectos de las fuerzas que actúan sobre dicho cuerpo garantizando la estabilidad, rigidez y resistencia.

En su mayoría las estructuras son de acero, ya que son muy versátiles y tienen excelentes características, son muy prácticos y su coste de producción suele ser más económico que otro tipo de estructura.

2.2.4. Condiciones que debe cumplir una estructura

Principalmente una estructura metálica debe cumplir las siguientes características.

- Estable, que mantenga el equilibrio.
- Rígida, que no se deforme al aplicar las fuerzas actuantes.
- Resistente, que, al aplicarse las fuerzas, los elementos que lo forman sean capaces de resistir la fuerza a la que serán sometida sin romperse o deformarse.

2.2.5. El acero como material estructural

El acero hoy en día se ha vuelto en el material estructural perfecto ya que se emplea en un sinnúmero de puentes, edificios, torres y otras estructuras.

La supuesta perfección de este metal, tal vez es el más versátil de todos los materiales estructurales, parece más razonable cuando se considera su gran resistencia, poco peso, facilidad de fabricación y otras propiedades. (McCorman & Csernak, 2013)

Tienen un módulo de elasticidad muy alto, de manera que las deformaciones bajo cargas son muy pequeñas y tienen una relación esfuerzo-deformación unitaria en forma lineal, por



tanto, el comportamiento de los aceros estructurales bajo cargas de trabajo puede predecirse de forma exacta por medio de la teoría elástica.

Por lo general, los aceros estructurales tienen un límite de fluencia entre 30 a 100 ksi, los niveles de resistencia se obtienen por la composición química y tratamiento térmico.

2.2.5.1. Diagrama esfuerzo – deformación

Para entender el comportamiento de las estructuras de acero, se debe tener muy en cuenta el diagrama esfuerzo-deformación.

Si una pieza de acero estructural dúctil se somete a una fuerza de tensión, esta comenzará a alargarse. Si se incrementa la fuerza de tensión a razón constante, la magnitud de alargamiento aumentará en forma lineal dentro de ciertos límites. El mayor esfuerzo marca el límite de la ley Hooke o el punto más alto de la porción recta del diagrama se denomina límite proporcional elástico. (McCorman & Csernak, 2013)

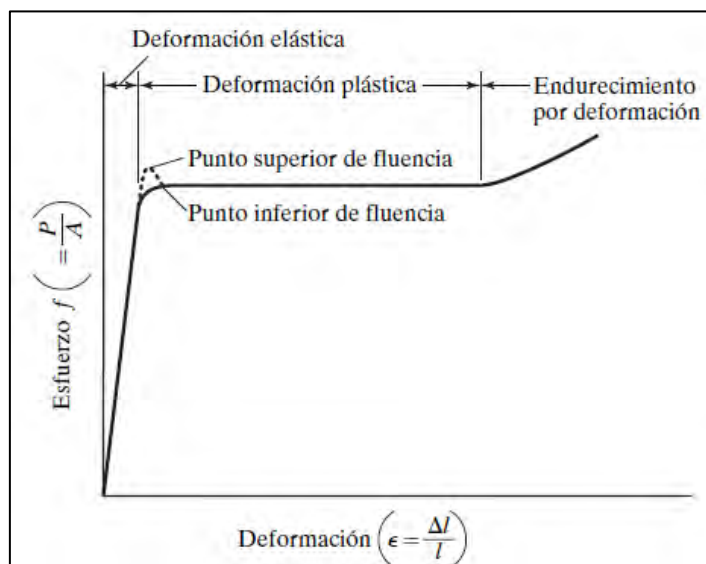


Figura 2.2. Diagrama esfuerzo-deformación (McCorman & Csernak, 2013)

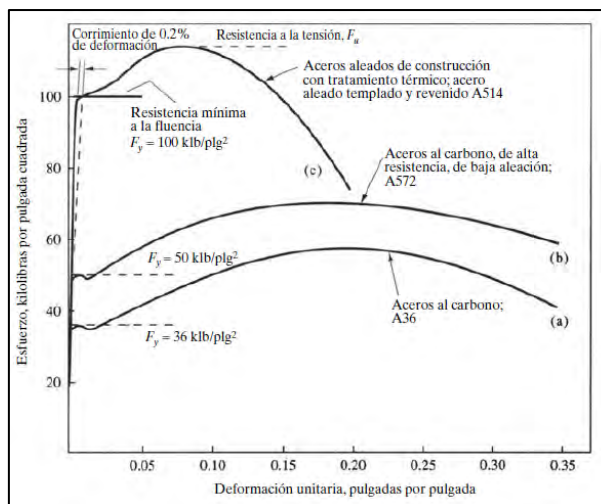


Figura 2.3. Curvas características Esfuerzo-Deformación (McCorman & Csernak, 2013)

2.2.5.2. Ventajas del acero estructural

Las ventajas del acero estructural se detallan en los siguientes párrafos.

- Alta resistencia, la alta resistencia del acero por unidad de peso significa que las cargas muertas serán menores.
- Uniformidad, no cambian apreciablemente con el tiempo
- Elasticidad, sigue la ley de Hooke y pueden ser calculados con precisión.
- Durabilidad, Si el mantenimiento es adecuado, investigaciones realizadas indican que a base de pintura durarán indefinidamente.
- Ductilidad, posee la propiedad para soportar grandes deformaciones sin fallar bajo esfuerzos de tensión altos, cuando se somete a tensión un acero dulce ocurre una disminución de sección transversal y una gran distensión.
- Tenacidad, es tenaz, es decir, poseen resistencia y ductilidad, capaces de soportar grandes fuerzas.
- Ampliaciones de estructuras existentes, permiten añadir nuevas estructuras.



- h) Rapidez de montaje y desmontaje, la velocidad de construcción en acero es muy superior al resto de materiales.
- i) Reutilización, puede ser nuevamente utilizado una vez concluido el montaje o desmontaje

2.2.5.3. Desventajas del acero estructural

- a) Corrosión, pueden corroerse al estar expuesto al aire y agua.
- b) Se pandea, cuanto más largo y esbelto sean los elementos a compresión, mayor será el riesgo de pandeo.
- c) Fatiga, pueden reducir su resistencia ante cargas fluctuantes o cambien en el tiempo.
- d) Fractura frágil, bajo ciertas condiciones pueden perder su ductilidad y la fractura frágil puede ocurrir en lugares de concentración de esfuerzo.

2.2.6. Tipo de perfiles estructurales

Existen diversos tipos de elementos de acero que se emplean a diario en las estructuras, como por ejemplo los llamados productos laminados en caliente (LAC) que son los más utilizados y que pueden ser piezas no planas (perfiles, ángulos, canales, tubos, varillas, etc.) y piezas planas que son las planchas.

De las planchas sean laminadas en caliente o frío, se consiguen los perfiles doblados y los perfiles soldados que son el segundo tipo de perfiles más empleados.

De los perfiles o planchas laminados en caliente o plegados o soldados se pueden formar secciones combinadas soldándolos o uniéndolos, estas secciones integran un tercer tipo.

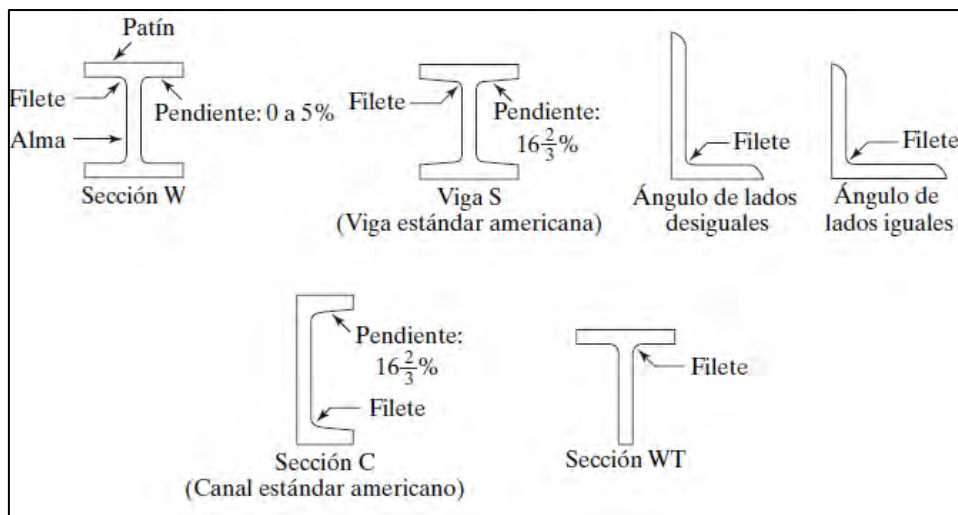


Figura 2.4. Perfiles laminados de Acero (McCorman & Csernak, 2013)

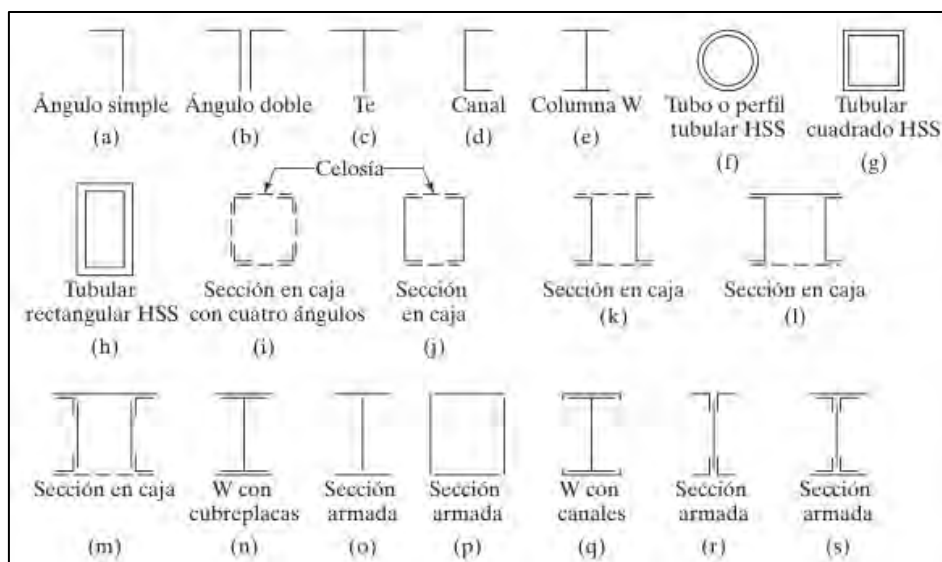


Figura 2.5. Perfiles de miembros a compresión (McCorman & Csernak, 2013)

2.2.7. Tipo de conexiones o uniones en estructuras

Las conexiones en estructuras de acero son muy importantes, una conexión impropia, puede ser el “componente débil” en un sistema de estructura y se clasifican principalmente en función de su grado de rigidez, son básicamente tres: (Segui, 2009)

- Conexiones simples o de corte.
- Conexiones rígidas,
- Conexiones semirrígidas

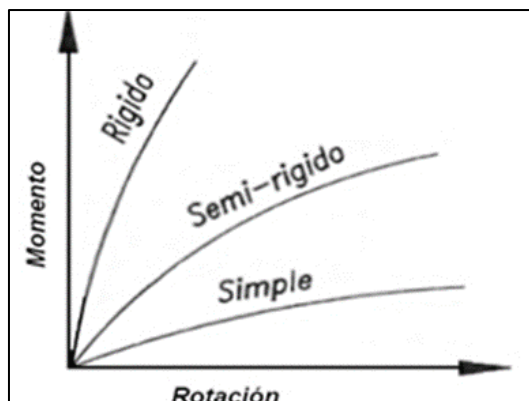


Figura 2.6. Tipos de conexiones en Acero.

2.2.8. Junta

Es el área donde se unen dos o más extremos, superficies o bordes, y que incluyen las planchas, angulares, pernos, remaches o soldadura.

2.2.9. Conexión

Combinación de elementos estructurales para transmitir fuerzas entre dos o más miembros.

2.2.10. Conexiones soldadas

La soldadura es un proceso en el que se pegan partes metálicas por medio del calentamiento de sus superficies a un estado plástico o fluido, permitiendo que estas partes fluyan y se unan (con o sin aporte de otro metal fundido).

Estas conexiones están normadas por la AWS (American Welding Society)

Tabla 2.1. Conexiones soldadas

Ventajas	Desventajas
• Son herméticas a los fluidos • Tienen mayor o igual resistencia	• Son más costosas a diferencias de otras conexiones.



que los metales base	• Requieren de una inspección correcta y detallada.
• Permiten la construcción de piezas complejas y riesgosas	• Solo se utiliza para unir materiales con características similares.
• La resistencia y la rigidez no son adelantadas por cambios en la temperatura dentro del margen servicio.	

Fuente: Elaboración propia.

2.2.11. Conexiones apernadas

Otra forma usual de realizar uniones entre componentes de una estructura es por medio de uso de pernos, según la clasificación de la ASTM (American Society for Testing and Materials), las barras de alta resistencia son designados como A325 y A490.

Las barras son elementos que permiten realizar conexiones simples y rápidas.

Tabla 2.2. Conexiones apernadas

Ventajas	Desventajas
• Son fáciles de montar y desmontar no requieren de una mano de obra especializada. • Se pueden unir distintos materiales, con distintos tipos de fabricación. • Los costos operativos son bajos • No se presentan tensiones residuales o concentración de esfuerzos ni alabeos en las estructuras.	• Son sensibles a la presencia de fluidos. • Requiere la perforación de agujeros en los elementos a unir.

Fuente: Elaboración propia.



2.2.12. Consideraciones generales de diseño

2.2.12.1. Consideraciones de diseño

Para el diseño del soporte se tomará en cuenta las siguientes variables:

- Las dimensiones, forma, materiales y peso del eje principal de 126 toneladas.
- Cargas y combinaciones de cargas.

2.2.12.2. Consideraciones de materiales

Se tendrá en cuenta el material de fabricación para el soporte estructural ya que debe ser resistente, durable y dúctil que pueda ser capaz de soportar grandes deformaciones sin fallar bajo altos esfuerzos de tensión, también deberá ser de fácil montaje y unir diversos miembros por medio de conectores.

2.2.12.3. Consideraciones costos

Se deberá tener en cuenta los detalles que minimicen los costes, como los que incluyen el uso de secciones de medidas comerciales y los altos costos de mantenimiento.

Se deberá tener en cuenta que hasta el momento para mantenimiento del anillo de empuje aún se realiza las maniobras riesgosas e inseguras que involucra mano de obra sobrevalorada. Con la nueva fabricación del soporte el coste se reduce aproximadamente un 50 %.

2.2.12.4. Consideraciones de seguridad

El diseño del soporte debe ofrecer medidas de seguridad al personal durante el mantenimiento, así como también soportar de forma segura las cargas a las que se someta.

2.2.13. Métodos de análisis AISC



La especificación AISC (Instituto Americano de la Construcción en Acero) facilita dos técnicas admisibles para diseñar miembros de acero estructural y sus conectores.

- LRFD (Diseño con Factores de Carga y Resistencia)
- ASD (Diseño por esfuerzos permisibles)

Uno y otro tienen como objetivo lograr un margen numérico entre la resistencia y la carga.

2.2.13.1. Método AISC LRFD

Es un método más racional, fundado en conceptos de probabilidades y en los elementos del diseño de estados límites.

Los estados límites se usan para representar una condición en la que una estructura o parte de ella deja de cumplir su función prescrita y se dividen en dos categorías.

- Resistencia, este estado define la capacidad de sustentar una carga y tiene que ver con el comportamiento de su máxima resistencia dúctil, pandeos, fatiga, fractura, volteo o deslizamientos.
- Servicio, comprende la funcionalidad de la estructura, en escenarios tales como las vibraciones, deflexiones, deformación permanente y rajaduras.

La idea general que se procura es obtener que la estructura no exceda los estados límite indicados, a fin de conseguirla se debe basar en técnicas estadísticas que denominan métodos de confiabilidad.

Este método está basado en los subsiguientes criterios:

- Modelo basado en probabilidades
- Calibración de los resultados



2.2.13.2. Ventajas

- ✓ Es más fundada y por lo tanto se asemeja crecidamente a lo real de lo que sucede en la vida útil de la estructura.
- ✓ El uso de cargas mixtas conduce a la economía de la solución, porque se acerca con más exactitud a lo que ocurra.
- ✓ Facilita el ingreso de las bases de diseño conforme más información esté disponible.
- ✓ Futuros ajustes y calibraciones serán fáciles de hacer.

2.2.13.3. Combinaciones de carga para el método LRFD

Con el método LRFD, se forman grupos posibles de cargas de servicio, y cada carga de servicio se multiplica por un factor de carga mayor a 1.0. La magnitud del factor de carga refleja la incertidumbre de esta carga específica. Los mayores valores determinados de esta manera se usan para calcular los momentos, los cortantes y otras fuerzas en la estructura. Estas cargas resultantes se denominan cargas factorizadas.

(Factor de reduccion ϕ)(Resistencia nominal de un miembro)

$\geq$ Fuerza factorizada calcula en el miembro R_u

$$\phi R_n \geq R_u$$

2.2.14. Método de los elementos finitos

La ingeniería estudia muchos fenómenos físicos que pueden ser modelados matemáticamente con relativa precisión mediante el uso de ecuaciones diferenciales. Estas, por lo general, son de difícil solución analítica mediante métodos clásicos. El MEF (método de los elementos finitos) admite una estimación aproximada de las ecuaciones diferenciales que modelan cualquier fenómeno físico. (Ottosen, 1992)



La solución en problemas de los sistemas estructurales, es la aplicación más común hoy en día, habiendo en el mercado diversos programas especializados en esta rama. Y haciendo uso de estos programas el diseñador puede reducir significativamente el tiempo que invierte en el análisis, además de perfeccionar los resultados. (McCorman & Csernak, 2013)

La peculiaridad principal del MEF es que se descompone la región de análisis (aquella donde se cumple las ecuaciones diferenciales) en partes pequeñas de determinada geometría, denominada elementos finitos, de manera que la precisión del método depende directamente del número de elementos. La agrupación de todos los elementos de una región es denominada “malla”.

Al día de hoy se cuenta con varios programas especializados como SolidWorks, ANSYS, SAP2000, Inventor, Midas, Tekla Structure entre otros.

A partir de los fundamentos de la mecánica estructural, definidos en los párrafos anteriores y las ventajas del MEF como herramienta que permite lograr la optimización en el diseño, es recomendable seguir un procedimiento que permita contemplar los aspectos generales y necesarios a la hora de diseñar estructuras metálicas utilizando cualquier software basado en MEF.

Para lograr una adecuada aplicación del MEF en el presente estudio, se consideran las siguientes etapas generales:

- Definición del modelo geométrico de la estructura.
- Idealización del modelo matemático, considerando materiales, secciones, cargas, apoyos y grados de libertad.
- Discretización de la estructura mediante elementos y nodos.
- Solución numérica del modelo estructural.



- Interpretación de resultados en términos de esfuerzos, deformaciones, reacciones y ratios de utilización.

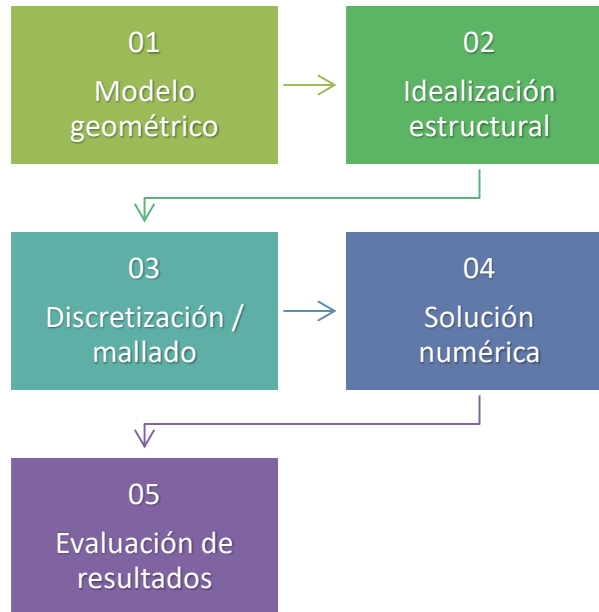


Figura 2.7. Etapas de procesamiento de elementos finitos (Elaboración propia).



CAPÍTULO III

PARÁMETROS DE CÁLCULO

3.1. Alcance

El presente capítulo desarrolla los parámetros de cálculo utilizados para el análisis estructural del soporte metálico del Mainshaft de la Chancadora Primaria, ubicado en el área de chancado de la unidad minera Constancia, operada por la empresa Hudbay Perú. Este análisis tiene como objetivo principal evaluar el comportamiento estructural de dicho soporte en condiciones de operación, considerando acciones permanentes y variables, con el propósito de verificar su integridad estructural y determinar la necesidad de eventuales intervenciones de mantenimiento.

Se incluye en el alcance de este análisis:

- La revisión y recopilación de información técnica disponible (planos estructurales, condiciones operativas y especificaciones del fabricante).
- La definición de los parámetros y criterios de diseño estructural, sobre la base de la normativa nacional e internacional vigente, como el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) y los estándares del American Institute of Steel Construction (AISC).
- El modelado preliminar de la estructura mediante software especializado de análisis estructural (SAP2000, RFEM o equivalente).
- La determinación y aplicación de cargas gravitacionales (muertas y vivas), así como la definición de combinaciones de carga representativas según normativa.
- La evaluación de esfuerzos internos, deformaciones y factores de seguridad de los elementos estructurales del soporte.



- La identificación de zonas críticas en la estructura y el planteamiento de recomendaciones técnicas en caso se requiera reforzamiento o mantenimiento preventivo.
- Quedan fuera del alcance de este análisis el diseño de elementos de cimentación, el análisis dinámico detallado por efectos de vibración, y los ensayos de campo (ensayos no destructivos u otros).

3.2. Código y normas aplicables

Para el análisis estructural del soporte metálico del Mainshaft de la Chancadora Primaria, se han considerado los siguientes códigos y estándares técnicos, conforme a la normativa vigente en el Perú y buenas prácticas de ingeniería internacional:

- Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) – Perú
 - Norma Técnica E.020: Cargas.
 - Norma Técnica E.090: Estructuras Metálicas.
- AISC 360-16 – Specification for Structural Steel Buildings.
 - Método factores de carga y resistencia (LRFD – Load and Resistance Factor Design Method).
 - Método de Resistencia Admisible (ASD – Allowable Strength Design Method. No confundir con Allowable Stress Design Method (ASD)).
- ASTM International Standards.
 - ASTM A36 (acero estructural)
 - ASTM A325 (pernos de alta resistencia)
- Manual de Construcción en Acero – Instituto Americano del Hierro y el Acero (AISI).



- Referencia técnica utilizada para validar prácticas constructivas, dimensiones comerciales de perfiles, y características de los materiales estructurales.

3.3. Especificaciones técnicas

3.3.1. Material

Tabla 3. 1. Propiedades del acero.

PROPIEDADES	
Material estructural	Acero - ASTM A36
Límite elástico	2531 kg/cm ² (36 klb/plg ²)
Límite de tracción	4077 kg/cm ² (58 klb/plg ²)
Modulo elástico	200 GPa
Coefficiente de Poisson	0.3
Densidad	7850 kg/m ³

Fuente: La tabla fue adoptada del Diseño de estructuras en acero (Mc Cormac). Está basada en la Tabla 2-4 del Manual de la AISC.

3.3.2. Perfiles

Se emplean perfiles laminados tipo W (wide flange) y placas planas según catálogo AISC.

3.3.3. Unión estructural

El presente trabajo se limita al diseño y verificación estructural del soporte metálico. Por ello, no se desarrolla el cálculo de conexiones soldadas, conexiones empernadas, placas base ni pernos de anclaje.



3.4. Identificación de cargas

Con la finalidad de justificar las cargas consideradas en el modelo estructural, se realiza una evaluación de aplicabilidad de las acciones normativas. Aunque el soporte corresponde a una estructura metálica abierta, su condición crítica de trabajo se presenta durante el mantenimiento del eje principal, donde predomina la carga vertical de 126 toneladas.

Tabla 3. 2. Cargas aplicables al soporte estructural

Carga	Símbolo	Aplicabilidad	Criterio adoptado
Carga muerta	D	Aplica	Corresponde al peso propio del soporte estructural.
Carga viva	L	Aplica	Corresponde al peso del eje principal de 126 toneladas.
Carga viva de techo	Lr	No aplica	El soporte no corresponde a una cobertura, techo ni plataforma de azotea.
Nieve	S	No aplica	El soporte no funciona como superficie de acumulación de nieve.
Lluvia o granizo	R	No aplica	La estructura no posee cubierta ni superficie donde pueda acumularse agua.
Viento	W	No gobierna	Al ser una estructura abierta, no presenta grandes superficies expuestas; la carga vertical de 126 toneladas es dominante.
Sismo	E	No se desarrolla en el modelo principal	El soporte cumple una función temporal durante las campañas de mantenimiento; su condición crítica está gobernada por la carga vertical de 126 toneladas. Para un siguiente caso de estudio se deberá verificarse el efecto sísmico según la Norma E.030.

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, para el modelo estructural desarrollado se consideran como acciones principales la carga muerta **D** y la carga viva **L**, debido a que representan la condición crítica de trabajo del soporte durante el mantenimiento del eje principal.



3.4.1. Carga muerta

Peso propio de Perfiles Estructurales (7.85 ton/m³ para elementos de acero que incluye todos los perfiles para las diferentes secciones según mande el diseño de la estructura.

3.4.2. Carga viva

Carga aproximada del eje principal de la chancadora de 126 toneladas, carga repartida uniformemente sobre la brida superior (Plancha de 1 ½").

3.5. Combinación de cargas

Las combinaciones de carga consideradas para el análisis estructural del soporte del eje principal (mainshaft) de la chancadora primaria se establecen conforme a los criterios de diseño de la Norma Técnica Peruana RNE E.090 "Estructuras Metálicas", la cual se encuentra alineada con la especificación AISC 360-16 (Specification for Structural Steel Buildings).

Para el presente trabajo se emplea el método LRFD (Load and Resistance Factor Design), debido a que permite verificar la estructura mediante cargas factorizadas y resistencias de diseño, evaluando el comportamiento de los elementos principales bajo estados límite de resistencia.

Considerando que el soporte trabaja principalmente bajo carga gravitacional, se consideran la carga muerta correspondiente al peso propio de la estructura y la carga viva correspondiente al peso del eje principal de 126 toneladas. Las combinaciones adoptadas para el análisis son las siguientes:



Tabla 3. 3. Combinaciones de carga

COMBINACIONES DE CARGA	
Combinación N°01: $1.4D$	Aplica
Combinación N°02: $1.2D + 1.6L + 0.5(Lr \text{ o } S \text{ o } R)$	Aplica como $1.2D + 1.6L$
Combinación N°03: $1.2D + 1.6(Lr \text{ o } S \text{ o } R) + (0.5L \text{ o } 0.8W)$	No aplica
Combinación N°04: $1.2D + 1.3W + 0.5L + 0.5(Lr \text{ o } S \text{ o } R)$	No aplica
Combinación N°05: $1.2D \pm 1.0E + 0.5L + 0.2S$	No aplica
Combinación N°06: $0.9D \pm (1.3W \text{ o } 1.0E)$	No aplica
Dónde: D = carga muerta; L = carga viva; Lr = carga viva de techo; W = carga de viento; S = carga de nieve; E = carga sísmica; R = carga por lluvia o granizo.	

Fuente: Elaboración propia.



CAPÍTULO IV

CÁLCULO ESTRUCTURAL POR EL MÉTODO LRFD

Para el cálculo del soporte estructural para una carga de 126 toneladas, se utilizará el método LRFD (Diseño por Factores de Carga y Resistencia), este método se centra en una ecuación de seguridad fundamental: la estructura debe ser más resistente que las cargas que se le aplican, ambas afectadas por factores de seguridad.

$$\text{Resistencia de Diseño} \geq \text{Resistencia Requerida}$$

$$\phi P_n \geq P_u$$

4.1. Verificación preliminar de elemento vertical a compresión

Preliminarmente, para seleccionar un elemento vertical del soporte sometido a compresión, se parte de un modelo matemático simplificado que considera la carga vertical transmitida por el eje principal (mainshaft) hacia una zona principal de apoyo.

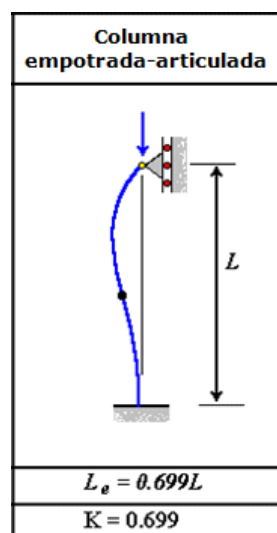


Figura 4. 1. Gráfica de columna Fija – Articulada.

Según el criterio básico del LRFD, se debe cumplir:

$$\phi P_n \geq P_u \quad (4. 1)$$



Por lo tanto, si consideramos DL=0 (despreciamos) y LL=31.5 toneladas.

$$P_u = 1.2(0) + 1.6(30) = 50.4 \text{ ton}$$

De la, ecuación 4.1 si despejamos P_n , obtendríamos:

$$\text{Considerando que: } \phi_c = 0.9; \text{ entonces } P_n = \frac{P_u}{0.9} = \frac{50.4 \text{ ton}}{0.9} = 56 \text{ ton}$$

Si **no hubiese pandeo** la sección mínima teórica (área bruta) sería:

$$A_{min} = A_g = \frac{P_n}{F_y} = \frac{56 \text{ ton}}{25492.91 \text{ ton/m}^2} = 2.197 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ (} 21.97 \text{ cm}^2 \text{)}$$

4.1.1. Selección del perfil

Usando la fórmula de Euler y la expresión de AISC para F_{cr}

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \quad (4.2)$$

$$F_{cr} = \begin{cases} F_y 0.658^{(F_y/F_e)} & \text{si } \frac{F_y}{F_e} \leq 2.25 \text{ (Rango inelastico)} \\ 0.877 F_e & \text{si } \frac{F_y}{F_e} > 2.25 \text{ (Rango Elastico)} \end{cases} \quad (4.3)$$

Para varios valores típicos de “r” se obtiene el área mínima requerida $A_{req}=P_n/F_{cr}$:

Tabla 4. 1. Resultados para diferentes valores típicos de “r”.

r (mm)	KL/r	Fe (MPa)	Fy/Fe	Fcr (MPa)	Areq(mm ²)	Areq(cm ²)
15	138.4	103.05	2.43	90.37	6079.31	60.79
20	103.8	183.2	1.36	141.22	3890.34	38.9
25	83.04	286.25	0.87	173.45	3167.62	31.68
30	69.2	412.2	0.61	193.95	2832.89	28.33
35	59.32	561.05	0.45	207.46	2648.44	26.48
40	51.9	732.79	0.34	216.73	2535.19	25.35
50	41.52	1144.99	0.22	228.17	2408.08	24.08

Elaboración propia.

Seleccionamos un $r_{min}=35 \text{ mm}$ (1.4 in), el área mínima requerida sería.



$$A_{min} = \frac{P_u}{F_{cr}} = \frac{56 \text{ ton}}{207.46} = 2648 \text{ m}^2 (26.48 \text{ cm}^2)$$

Tabla 4. 2. Tabla de vigas de acero con área y radio de giro mínimo (Anexo C)

Perfil W	$r_{min}(mm)$	Ag (cm ²)
W8×21	32.0 (1.25 plg)	39.74 (6.22 plg ²)
W10×22	33.8 (1.33 plg)	41.87 (6.49 plg ²)
W10x33	49.3 (1.94 plg)	62.65 (9.71 plg ²)
W12x50	49.8 (1.96 plg)	94.19 (14.6 plg ²)

∴ Según el análisis bastaría con un perfil W8x21 u otro superior, en este caso se selecciona un W10x33 y un W12x50.

4.2. Análisis matemático armadura 3 barras

Conceptualmente, se simplifica una sección representativa del soporte mediante una armadura plana de tres barras, con la finalidad de evaluar de manera preliminar la transferencia de carga axial entre los elementos principales de la estructura.

Este modelo no representa la totalidad del soporte estructural, sino un modelo matemático simplificado que permite verificar el comportamiento básico de un módulo resistente sometido a carga vertical. La verificación completa del soporte se desarrolla posteriormente mediante el modelo tridimensional en SAP2000.

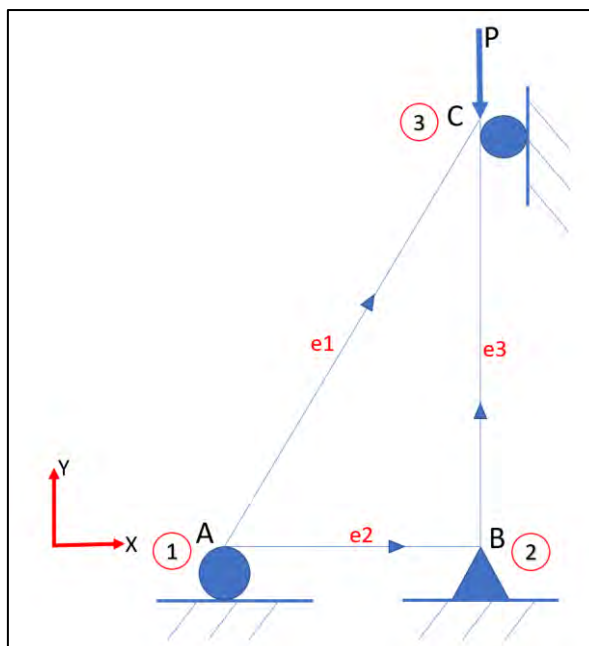


Figura 4. 2. Modelo matemático armadura de tres barras.

De la Figura 4.2 se identifican tres nodos, tres elementos y una carga vertical P , aplicada en el nodo superior. La carga representa la acción transmitida por el eje principal hacia una zona de apoyo del soporte.

Para el análisis matricial se considera que cada nodo de la armadura posee dos grados de libertad: desplazamiento horizontal u_x y desplazamiento vertical u_y . Por lo tanto, el sistema posee seis grados de libertad globales.

Las condiciones de apoyo adoptadas para el modelo simplificado son las siguientes:

Tabla 4. 3. Condiciones de apoyo y grados de libertad del modelo simplificado.

Nodo	Grado de libertad en X	Grado de libertad en Y	Condición considerada
Nodo 1	u_{x1} libre	u_{y1} restringido	Apoyo tipo rodillo
Nodo 2	u_{x2} restringido	u_{y2} restringido	Apoyo articulado
Nodo 3	u_{x3} restringido	u_{y3} libre	Restricción lateral y carga vertical



Por lo tanto, los grados de libertad restringidos son:

$$u_{x1}, u_{x2}, u_{y1}, u_{x3}$$

Y los grados de libertad libres para resolver el sistema son:

$$u_{x1}, u_{y3}$$

Estas condiciones permiten estabilizar el modelo y representar de forma simplificada la transferencia de carga vertical hacia los elementos principales del soporte.

El modelo de armadura de tres barras se utiliza debido a que permite evaluar principalmente las fuerzas axiales en los elementos. Sin embargo, este modelo no considera efectos de flexión, torsión ni rigidez local de conexiones. Por esta razón, los resultados obtenidos se emplean como verificación preliminar, mientras que la evaluación final se realiza mediante el modelo tridimensional en SAP2000 con elementos lineales tipo *frame*, los cuales permiten analizar cargas axiales, momentos flectores, deformaciones, reacciones y ratios de utilización de la estructura completa

4.2.1. Definición de coordenadas

Se definen las coordenadas de los nodos del modelo simplificado, considerando un sistema global de referencia X-Y.

Tabla 4. 4. Coordenadas de la armadura de tres barras.

Nodo	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)
1	0	0
2	1.74	0
3	1.74	2.97

Elaboración propia.

4.2.2. Definición de elementos

Los elementos se definen mediante la conectividad entre nodos iniciales y finales.



Tabla 4. 5. Definición de elementos de la armadura de tres barras.

Elemento	Nodo N	Nodo F
e1	1	3
e2	1	2
e3	2	3

Elaboración propia.

4.2.3. Cálculo de cosenos directores

La longitud de cada elemento y los cosenos directores se calculan mediante:

$$L_e = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2} \quad (4.4)$$

$$c = \frac{x_j - x_i}{L}, \quad s = \frac{y_j - y_i}{L} \quad (4.5)$$

Tabla 4. 6. Resultados del cálculo de cosenos directores.

Elemento	Nodo i		Nodo j		Longitud Le (m)	c	s
	x _i (m)	y _i (m)	x _j (m)	y _j (m)			
e1	0	0	1.74	2.97	3.44	0.50	0.86
e2	0	0	1.74	0	1.74	1.00	0.00
e3	1.74	0	1.74	2.97	2.97	0.00	1.00

Elaboración propia.

4.3. Matriz de rigidez local de cada elemento

En coordenadas locales, la matriz de rigidez de un elemento de armadura sometido a carga axial se expresa como:

$$[k]_{local} = \frac{A_e E}{L_e} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

Esta matriz representa la rigidez axial del elemento en su sistema local.

Resolviendo para cada elemento se obtiene:

Elemento 1:



$$[k]_{local}^{(1)} = 1.0 \times 10^5 \begin{bmatrix} 3.5708 & -3.5708 \\ -3.5708 & 3.5708 \end{bmatrix} [kN/m]$$

Elemento 2:

$$[k]_{local}^{(2)} = 1.0 \times 10^6 \begin{bmatrix} 1.0639 & -1.0639 \\ -1.0639 & 1.0639 \end{bmatrix} [kN/m]$$

Elemento 3:

$$[k]_{local}^{(3)} = 1.0 \times 10^5 \begin{bmatrix} 6.2181 & -6.2181 \\ -6.2181 & 6.2181 \end{bmatrix} [kN/m]$$

4.4. Transformación de coordenadas globales

Para un elemento de armadura plana, el vector de desplazamientos globales del elemento se define como:

$$u_e = \begin{bmatrix} u_{xi} \\ u_{xj} \\ u_{yi} \\ u_{yj} \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

La transformación entre desplazamientos globales y desplazamientos locales del elemento se expresa mediante la matriz:

$$[T] = \begin{bmatrix} c & s & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c & s \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

Por lo tanto, la matriz de rigidez global del elemento se obtiene mediante:

$$[K]_{elem} = [T]^T [k]_{local} [T] \quad (4.9)$$

Resolviendo:

Elemento 1:



$$[T]^{(1)} = \begin{bmatrix} 0.5046 & 0.8634 & 0 & 0 \\ -0.8634 & 0.5046 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5046 & 0.8634 \\ 0 & 0 & -0.8634 & 0.5046 \end{bmatrix}$$

Elemento 2:

$$[T]^{(2)} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Elemento 3:

$$[T]^{(3)} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

4.5. Matriz de rigidez global del elemento

La matriz de rigidez global de cada elemento de armadura plana se expresa como:

$$[K]_{elem} = [T]^T [k]_{local} [T] = \frac{A_e E}{L_e} \begin{bmatrix} c^2 & cs & -c^2 & -cs \\ cs & s^2 & -cs & s^2 \\ -c^2 & -cs & c^2 & cs \\ -cs & -s^2 & cs & s^2 \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

Esta formulación permite ensamblar la matriz de rigidez global de la estructura considerando los grados de libertad correspondientes a cada nodo.

Resolviendo:

Elemento 1:

$$[k]_{elem}^{(1)} = 1 \times 10^5 \begin{bmatrix} 0.9092 & 1.5556 & -0.9092 & -1.5556 \\ 1.5556 & 2.6616 & -1.5556 & -2.6616 \\ -0.9092 & -1.5556 & 0.9092 & 1.5556 \\ -1.5556 & -2.6616 & 1.5556 & 2.6616 \end{bmatrix} [kN/m]$$

Elemento 2:



$$[k]_{elem}^{(2)} = 1 \times 10^6 \begin{bmatrix} 1.0639 & 0 & -1.0639 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.0639 & 0 & 1.0639 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} [kN/m]$$

Elemento 3:

$$[k]_{elem}^{(3)} = 1 \times 10^5 \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 6.2181 & 0 & -6.2181 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -6.2181 & 0 & 6.2181 \end{bmatrix} [kN/m]$$

4.6. Matriz global de la estructura

Para generar la matriz de ensamble se suman las contribuciones de cada elemento en las posiciones correspondientes a sus grados de libertad:

$$[K] = \sum_e [K]_{elem}^e \quad (4.11)$$

Resolviendo:

$$[K] = 1.0 \times 10^6 \begin{bmatrix} 1.1548 & 0.1556 & -1.0639 & 0 & -0.0909 & -0.1556 \\ 0.1556 & 0.2662 & 0 & 0 & -0.1556 & -0.2662 \\ -1.0639 & 0 & 1.0639 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.6218 & 0 & -0.6218 \\ -0.0909 & -0.1556 & 0 & 0 & 0.0909 & 0.1556 \\ -0.1556 & -0.2662 & 0 & -0.6218 & 0.1556 & 0.8880 \end{bmatrix} [kN/m]$$

4.7. Aplicación de frontera

Del modelo matemático se identifica los grados de libertad libres y los grados de libertad con restricciones y se forma el sub-sistema:

$$\begin{aligned} K_{ff} u_f &= F_f \\ u_f &= K_{ff}^{-1} F_f \end{aligned} \quad (4.12)$$

Resolviendo:

$$[K_{ff}] = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{16} \\ K_{61} & K_{66} \end{bmatrix} = 1.0 \times 10^6 \begin{bmatrix} 1.1548 & -0.1556 \\ -0.1556 & 0.8880 \end{bmatrix}$$



$$u_f = K_{ff}^{-1}F_f \Rightarrow u_1 = -4.801 \times 10^{-5}m, u_6 = -3.564 \times 10^{-4}m$$

Vector global:

$$\{u\} = \begin{bmatrix} -4.801 \times 10^{-5} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -3.564 \times 10^{-4} \end{bmatrix} [m]$$

4.8. Reacciones en los apoyos

Las reacciones se calculan con la ecuación global:

$$R = [K]u - F \quad (4.13)$$

Resolviendo:

$$\{R\} = \begin{bmatrix} 0 \\ 87.3947 \\ 51.0783 \\ 221.6203 \\ -51.0783 \\ 0 \end{bmatrix} [kN]$$

4.9. Fuerzas internas

Desplazamientos de los nodos del elemento:

$$u_e = \begin{bmatrix} u_{xi} \\ u_{yi} \\ u_{xj} \\ u_{yj} \end{bmatrix}$$

Por lo que la fuerza axial se define como:

$$T_e = \frac{A_e E}{L_e} [-c, -s, c, s] u_e \quad (4.14)$$

Resolviendo:



Elemento 1:

$$u_{e1} = \begin{bmatrix} u_{x1} \\ u_{y1} \\ u_{x3} \\ u_{y3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -4.8010 \times 10^{-5} \\ 0 \\ 0 \\ -3.5641 \times 10^{-4} \end{bmatrix}$$

Con $c=0.5046$, $s=0.8634$ y $\frac{A_e E}{L_e} = 3.5708 \times 10^5$ kN:

$$T_1 = (3.5708 \times 10^5) [-0.5046, -0.8634, 0.5046, 0.8634] u_{e1} = -101.227 \text{ kN}$$

Elemento 2:

$$u_{e2} = \begin{bmatrix} u_{x1} \\ u_{y1} \\ u_{x3} \\ u_{y3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -4.8010 \times 10^{-5} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Con $c=1$, $s=0$ y $\frac{A_e E}{L_e} = 1.0639 \times 10^6$ kN:

$$T_2 = (1.0639 \times 10^6) [-1, 0, 1, 0] u_{e2} = 51.078 \text{ kN}$$

Elemento 3:

$$u_{e1} = \begin{bmatrix} u_{x1} \\ u_{y1} \\ u_{x3} \\ u_{y3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -3.5641 \times 10^{-4} \end{bmatrix}$$

Con $c=0$, $s=1$ y $\frac{A_e E}{L_e} = 6.2181 \times 10^5$ kN:

$$T_3 = (6.2181 \times 10^5) [-0, -1, 0, 1] u_{e3} = -221.620 \text{ kN}$$

4.10. Tensión axial

$\sigma_e = \frac{T_e}{A_e}$	(4. 15)
------------------------------	---------

Resolviendo:



Elemento 1:

$$\sigma_1 = \frac{-101.227}{6.265 \times 10^{-3}} = -16.157 \text{ MPa}$$

Elemento 2:

$$\sigma_2 = \frac{51.078}{6.265 \times 10^{-3}} = 5.423 \text{ MPa}$$

Elemento 3:

$$\sigma_3 = \frac{-221.620}{6.265 \times 10^{-3}} = -23.529 \text{ MPa}$$

4.11. Resultados del Matlab

Desarrollando un código en Matlab (ver apéndice), en función a las fórmulas presentadas se obtienen los siguientes resultados.

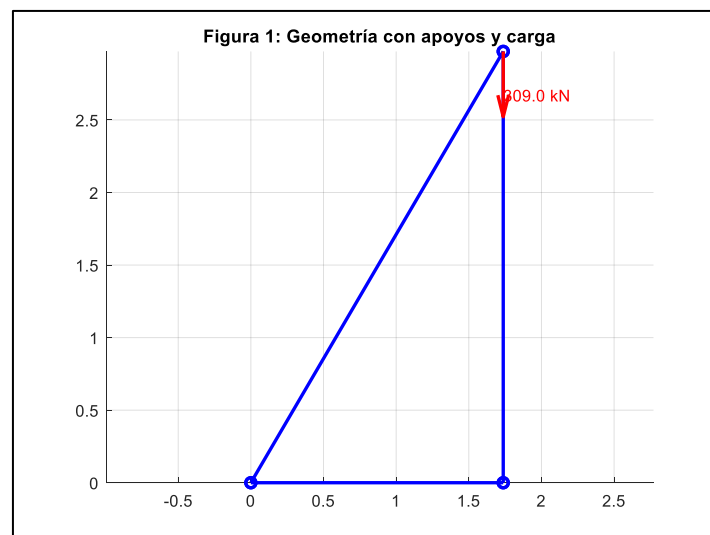


Figura 4. 3. Geometría de la armadura.

Usando el perfil W12x50 para la columna y base y W10x33 para la diagonal obtenemos el siguiente resultado.

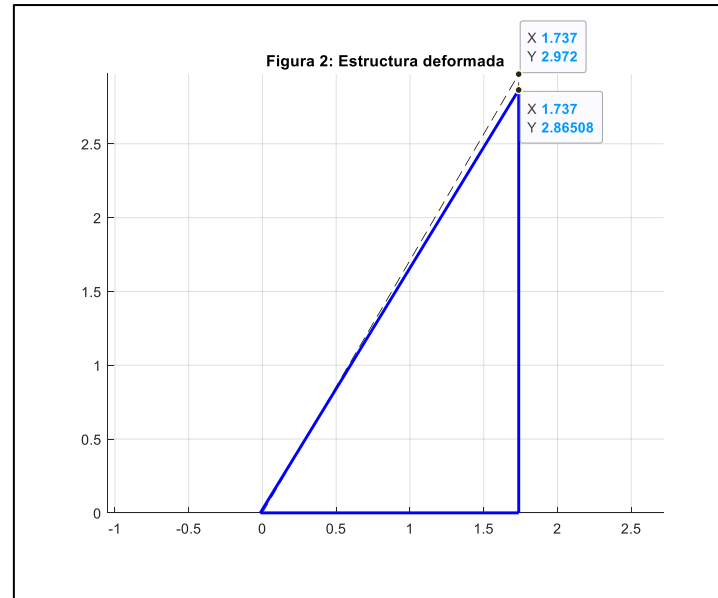


Figura 4. 4. Deformación vertical ($2.972 \text{ mm} - 2.8702 \text{ mm} = 0.1018 \text{ mm}$).

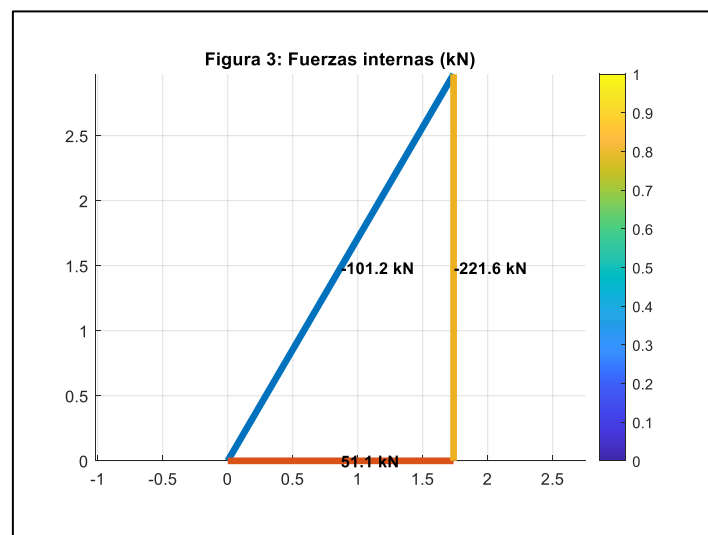


Figura 4. 5. Fuerzas axiales internas en la armadura.

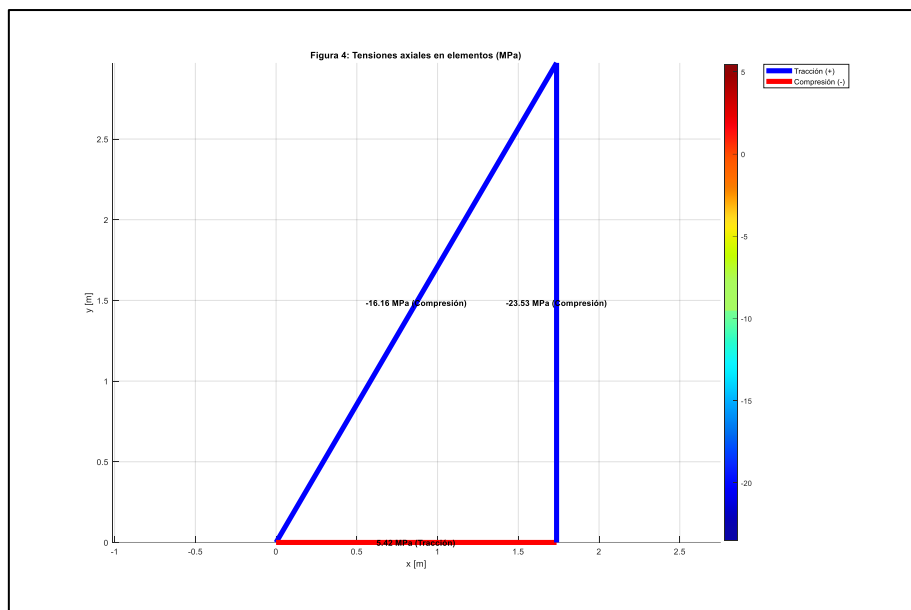


Figura 4. 6. Esfuerzos axiales encontrados.

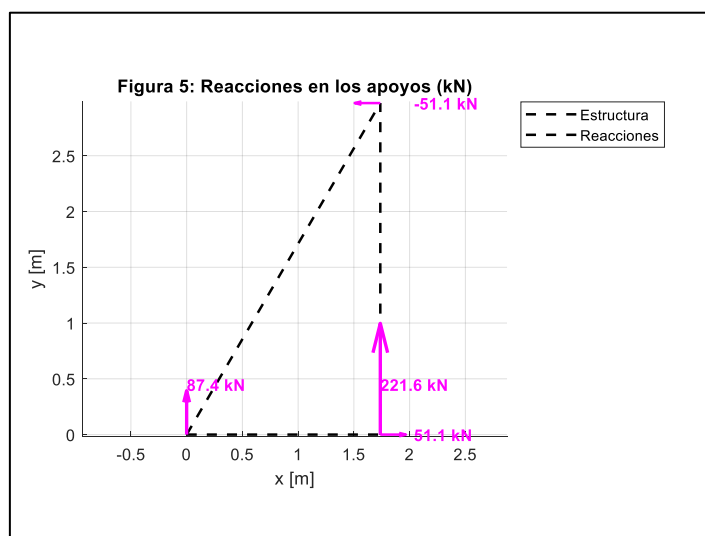


Figura 4. 7. Reacciones en los apoyos.

4.12. Verificación de perfiles

La comprobación de los elementos de acero se realizará en función a las fórmulas que muestra la normativa vigente AISC 360, para el diseño de miembros de tracción y compresión.



$$\text{Esbeltez: } \lambda = \frac{KL}{r} \quad (4.16)$$

$$\text{Euler: } F_e = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \quad (4.17)$$

$$\text{Límite de esbeltez: } \lambda_c = 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (4.18)$$

Esfuerzo crítico:

$$\text{Si } \lambda \leq \lambda_c \text{ (Inelastico): } F_{cr} = 0.658 \frac{F_y}{F_e} F_y \quad (4.19)$$

$$\text{Si } \lambda > \lambda_c \text{ (Elastico): } F_{cr} = 0.877 F_e$$

$$\text{Resistencia Nominal y diseño: } P_n = F_{cr} A, \phi P_n = 0.9 P_n \quad (4.20)$$

$$\text{Capacidad: } \frac{P_u}{\phi P_n} \leq 1 \quad (4.21)$$

$$\text{Tracción simple: } P_n = A F_y, \phi P_n = 0.9 A F_y \quad (4.22)$$

En función de las fórmulas presentadas, se realizan los cálculos LRFD para los elementos 1, 2 y 3. Obteniéndose los siguientes resultados mostrados en la Tabla 4. 7.

Tabla 4. 7. Resultados de los cálculos por el método LRFD.

ELEMENTO 1			ELEMENTO 2			ELEMENTO 3		
Pu	101.23	kN	Pu	51.08	kN	Pu	221.62	kN
A	62.65	cm ²	A	94.19	cm ²	A	94.19	cm ²
L	3.44	m	L	1.74	m	L	2.97	m
r_{min}	49.3	mm	r_{min}	49.8	mm	r_{min}	49.8	mm
Esbeltez			Esbeltez			Esbeltez		
K	1		K	1		K	1	
L	3.44	m	L	1.74	m	L	2.97	m
r	49.3	mm	r	49.8	mm	r	49.8	mm
λ	69.78		λ	34.94		λ	59.64	
Euler			Euler			Euler		
π	3.14					π	3.14	
E	200	GPa	No aplica			E	200	GPa
λ²	4868.81					λ²	3556.76	
Fe	405.42	MPa				Fe	554.98	MPa
Límite de esbeltez			Límite de esbeltez			Límite de esbeltez		
E	200	GPa				E	200	GPa
Fy	250	MPa				Fy	250	MPa



λ_c	133.22		No aplica		λ_c	133.22	
Esfuerzo critico (Inelástico)						Esfuerzo critico (Inelástico)	
Fcr	193.13	MPa				Fcr	207.04 MPa
Resistencia			Resistencia			Resistencia	
ϕ	0.9		ϕ	0.9		ϕ	0.9
Ag	62.65	cm2	Ag	94.19	cm2	Ag	94.19 cm2
Fcr	193.13	MPa	Fy	250	MPa	Fcr	207.04 MPa
Pn	1210	kN	Pn	2355	kN	Pn	1950 kN
ϕPn	1089	kN	ϕPn	2119	kN	ϕPn	1755 kN
Capacidad			Capacidad			Capacidad	
%	9.30%		%	2.41%		%	12.63%

Elaboración Propia.

Se realiza un cuadro resumen de los resultados mostrados anteriormente.

Tabla 4. 8. Resumen de cálculos.

Elemento	Perfil	A (cm ²)	L (m)	r _{min} (mm)	λ	F _{cr} (kN)	ϕP_n (kN)	P _u (kN)	%C
1	W10×33	62.65	135.4	49.30	69.78	193.13	1089	101.23	9.3%
2	W12×50	94.19	68.35	49.80	34.94	(tracción)	2119	51.08	2.4%
3	W12×50	94.19	117.02	49.80	59.64	207.04	1755	221.62	12.6%

Elaboración propia

Según el método LRFD (AISC 360–16), todos los elementos presentan amplios márgenes de seguridad, con utilizaciones menores al 15%.



CAPÍTULO V

SIMULACIÓN POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

5.1. Introducción

El presente capítulo desarrolla la simulación por el método de elementos finitos (FEM) del soporte estructural propuesto para sostener el eje principal de una chancadora giratoria con una carga total de 126 toneladas. Debido a la magnitud de la carga, se emplea la simulación FEM para evaluar la respuesta estructural y comprobar que los esfuerzos y deformaciones se mantengan dentro de los límites de diseño.

El FEM es un procedimiento numérico que representa el sistema estructural mediante la discretización de su geometría en elementos conectados por nodos, permitiendo aproximar la solución del problema de equilibrio y obtener resultados como esfuerzos internos, reacciones y desplazamientos para los casos de carga definidos.

5.2. Metodología propuesta

Para verificar el diseño del soporte estructural, se realizará una simulación basada en FEM utilizando SAP2000. La metodología considera: (i) modelado geométrico del soporte, (ii) asignación de propiedades de material y secciones, (iii) definición de condiciones de apoyo y restricciones, (iv) aplicación de casos y combinaciones de carga, y (v) evaluación de resultados en términos de desplazamientos, esfuerzos y ratios de utilización, conforme a los criterios adoptados.



5.2.1. Modelado 3D

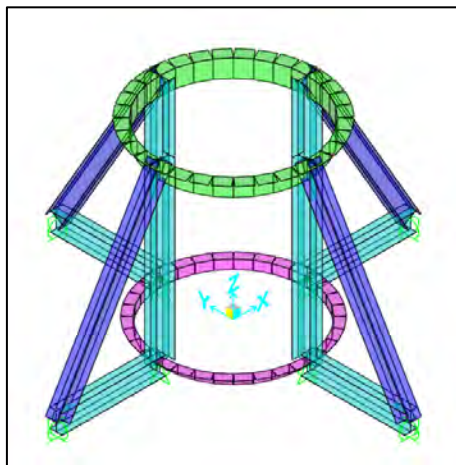


Figura 5. 1. Modelo 3D, generado en SAP2000.

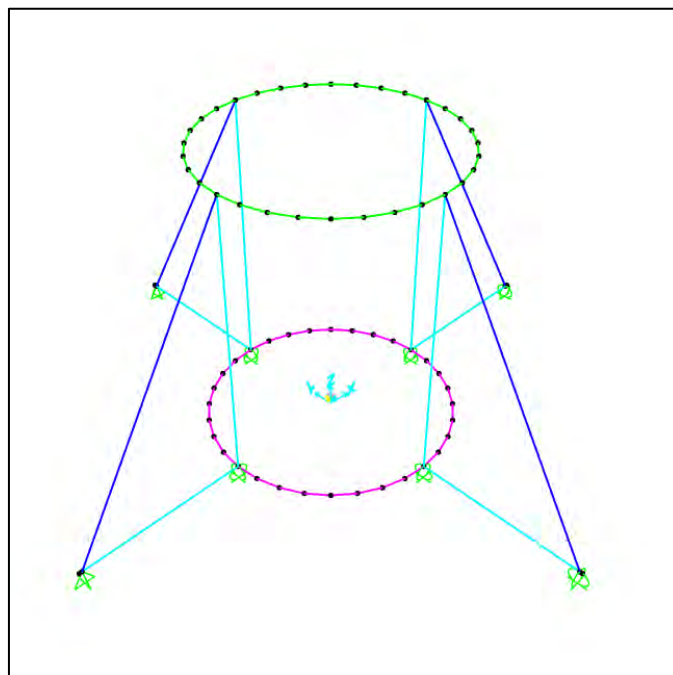


Figura 5. 2. Elementos lineales de la estructura y condición de borde.

5.2.2. Cargas aplicadas

5.2.2.1. Asignación carga viva

Siendo la carga de 126000 kg distribuido en una longitud de 8.30 m. Corresponde a una carga distribuida en la brida superior de 15440 kg/m.

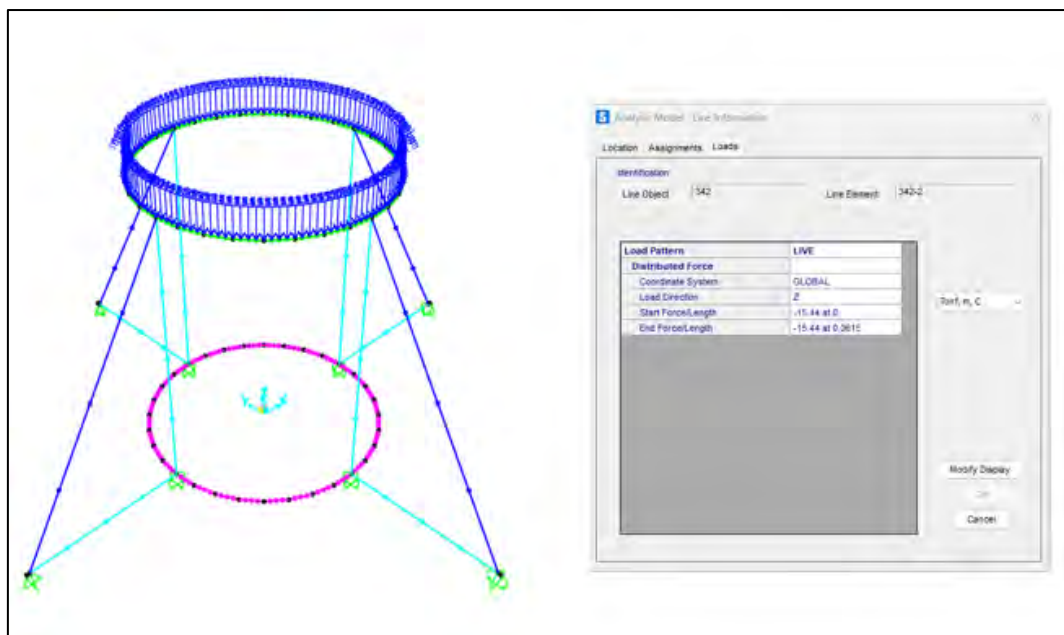


Figura 5. 3. Carga aplicada sobre la estructura.

5.2.3. Combinación de carga

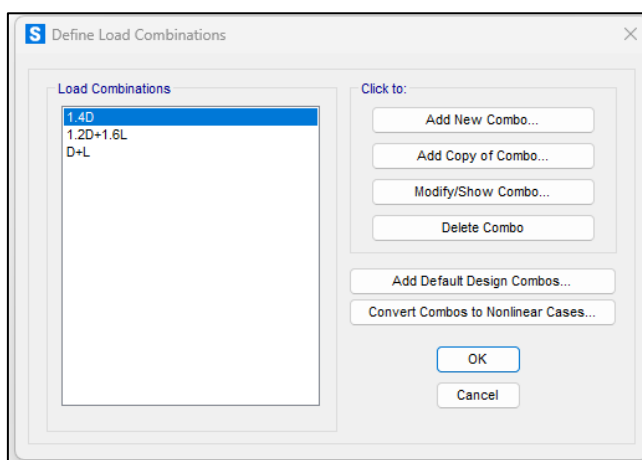


Figura 5. 4. Combinaciones de carga según la metodología LRFD, AISC 360.

5.2.4. Cargas axiales

La estructura está sometida a cargas axiales, por lo que resulta fundamental verificar el valor de dichas fuerzas en cada elemento. Este análisis permite determinar qué miembros trabajan a compresión y cuáles a tracción.

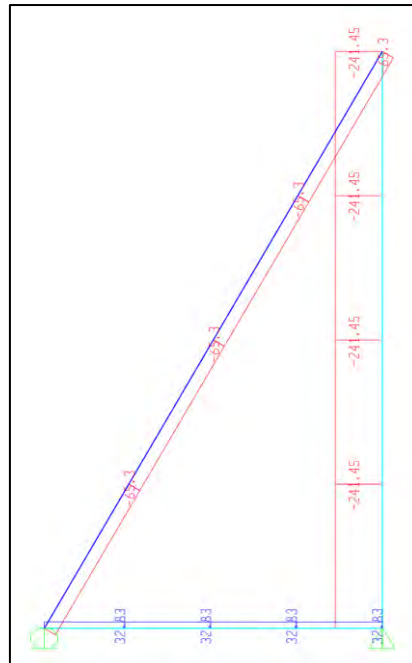


Figura 5. 5. Cargas axiales en los elementos de la estructura.

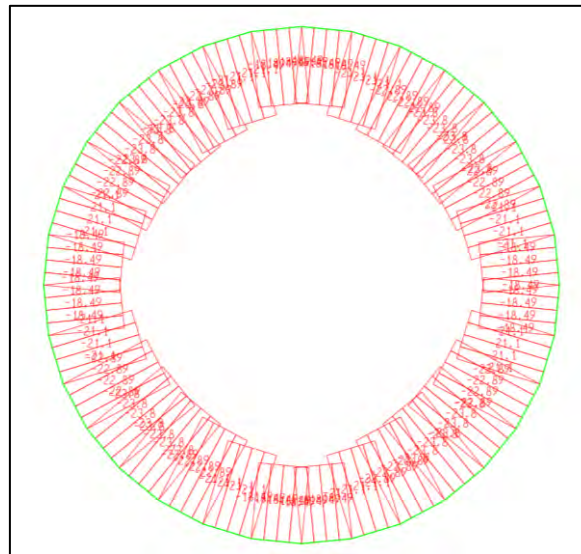


Figura 5. 6. Cargas axiales en los elementos de la estructura.

5.2.5. Diagrama de momentos

En la siguiente figura se muestra los momentos flectores generados sobre el anillo superior de la estructura que es el anillo que soporta el peso de mainshaft de 126000 kg.

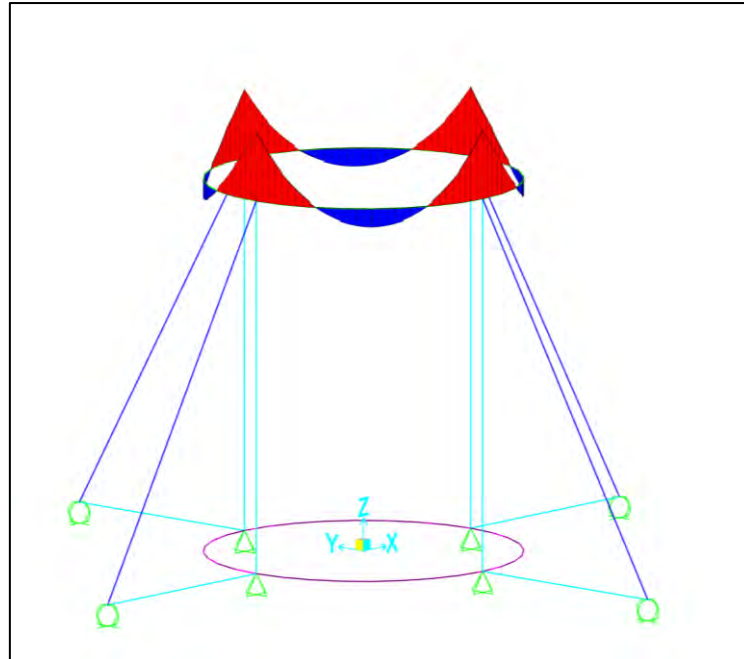


Figura 5. 7. Diagrama de momentos flectores en la estructura del anillo superior.

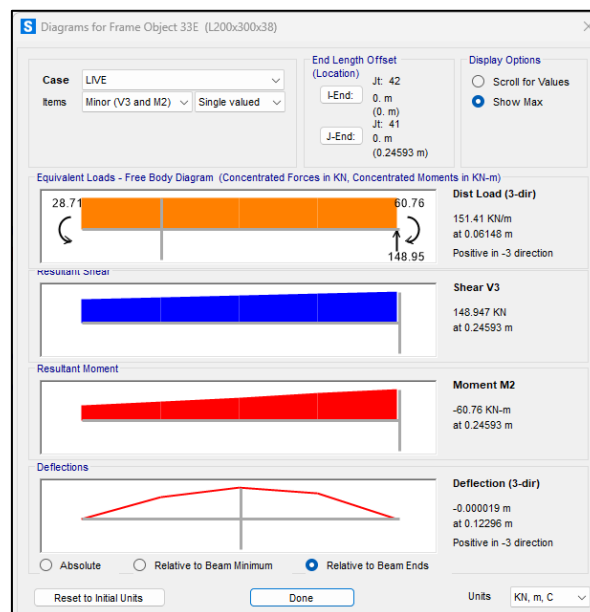


Figura 5. 8. Lectura del momento flector en el anillo superior.

5.2.6. Verificación de ratios

Se procedió al análisis con el software SAP2000, se comprueba que todos los elementos fueron analizados.

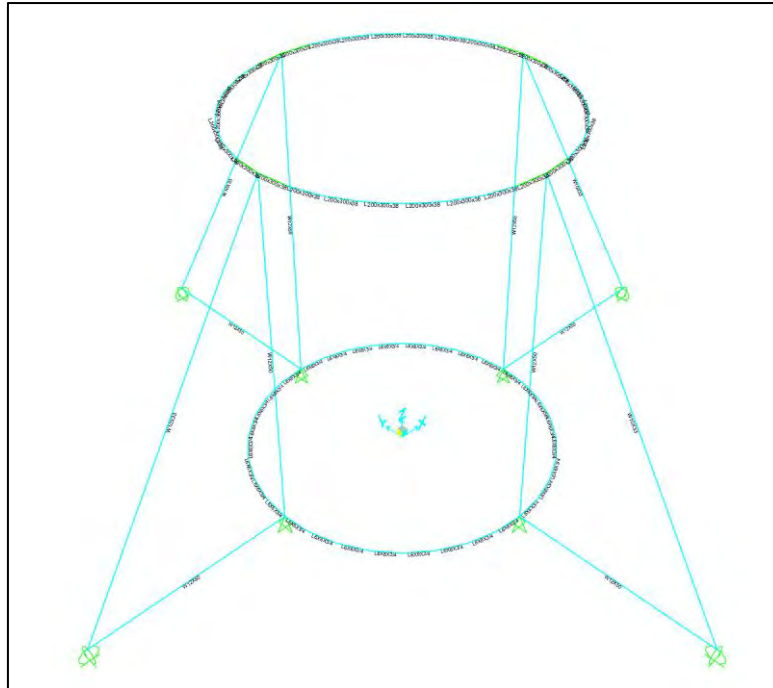


Figura 5. 9. Verificación de elementos analizados.

En la siguiente figura se muestran los ratios = (Fuerzas actuantes) / (Capacidad Resistente) de los elementos de la estructura. Se verifica que ningún elemento tenga un ratio mayor de 1.

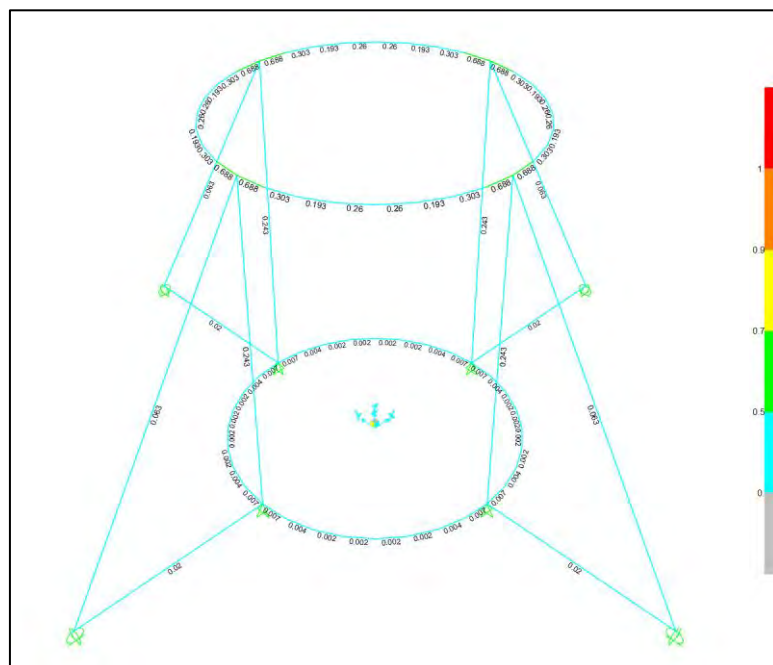


Figura 5. 10. Verificación de ratios en la estructura.



5.2.7. Análisis por rigidez

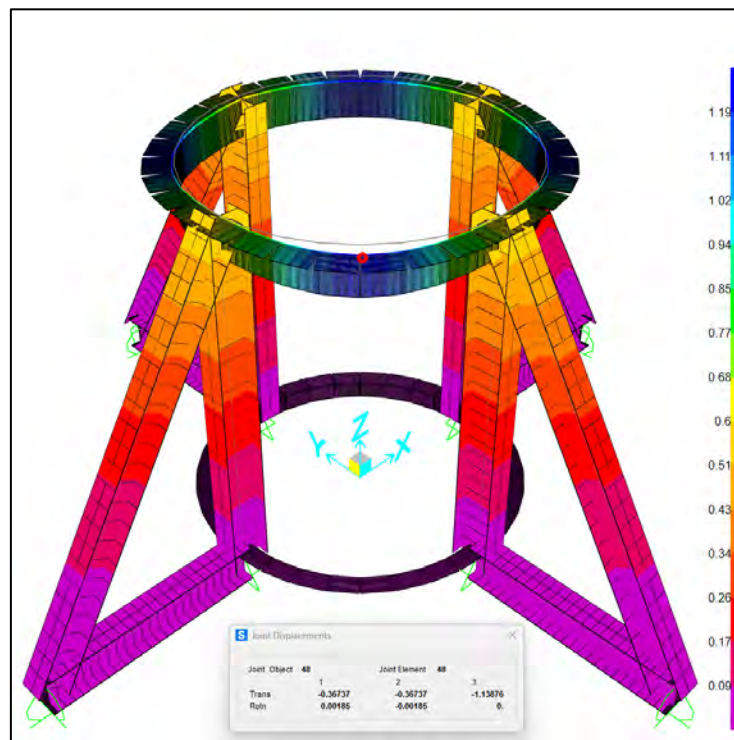


Figura 5. 11. Deformación de la estructura

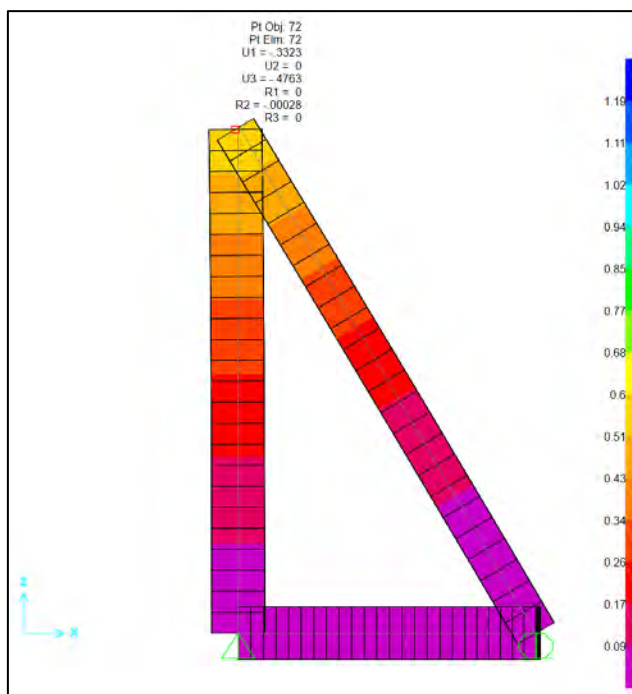


Figura 5. 12. Deformación de los puntales



5.2.8. Reacciones en los puntos de apoyo

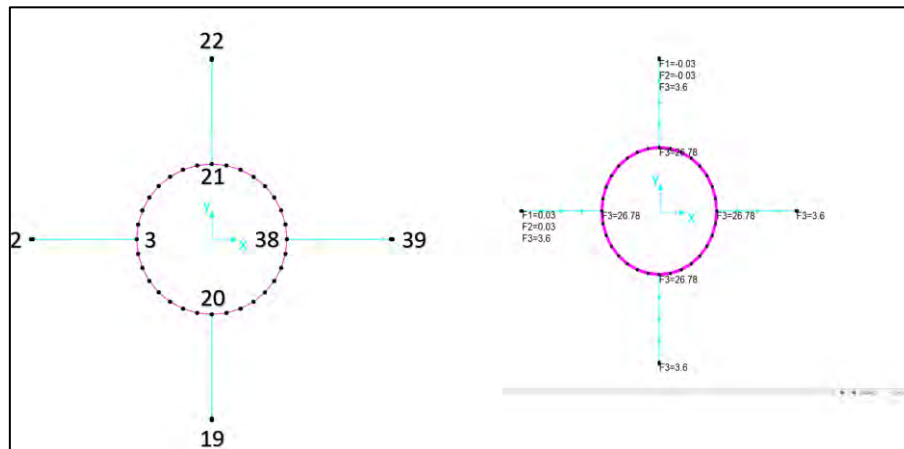


Figura 5.13. Reacciones en los apoyos.

Tabla 5.1. Tabla de reacciones en los nodos.

REACCIONES							
Nodo	Combinación	F1	F2	F3	M1	M2	M3
		Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m
2	1.4D	0.00	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00
	1.2D+1.6L	0.05	0.05	6.03	0.00	0.00	0.00
	D+L	0.03	0.03	3.82	0.00	0.00	0.00
3	1.4D	0.00	0.00	0.91	0.00	0.00	0.00
	1.2D+1.6L	0.00	0.00	43.63	0.00	0.00	0.00
	D+L	0.00	0.00	27.43	0.00	0.00	0.00
19	1.4D	0.00	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00
	1.2D+1.6L	0.00	0.00	6.03	0.00	0.00	0.00
	D+L	0.00	0.00	3.82	0.00	0.00	0.00
20	1.4D	0.00	0.00	0.91	0.00	0.00	0.00
	1.2D+1.6L	0.00	0.00	43.63	0.00	0.00	0.00
	D+L	0.00	0.00	27.43	0.00	0.00	0.00
21	1.4D	0.00	0.00	0.91	0.00	0.00	0.00
	1.2D+1.6L	0.00	0.00	43.63	0.00	0.00	0.00
	D+L	0.00	0.00	27.43	0.00	0.00	0.00
22	1.4D	0.00	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00
	1.2D+1.6L	-0.05	-0.05	6.03	0.00	0.00	0.00
	D+L	-0.03	-0.03	3.82	0.00	0.00	0.00
38	1.4D	0.00	0.00	0.91	0.00	0.00	0.00
	1.2D+1.6L	0.00	0.00	43.63	0.00	0.00	0.00
	D+L	0.00	0.00	27.43	0.00	0.00	0.00
39	1.4D	0.00	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00
	1.2D+1.6L	0.00	0.00	6.03	0.00	0.00	0.00
	D+L	0.00	0.00	3.82	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia.



5.2.9. Verificación de elementos principales

Se muestran a continuación la verificación del diseño de los elementos principales:

5.2.9.1. Columnas y vigas (W12X50)

Frame ID	2BE	Analysis Section	W12X50
Design Code	AISC 360-16	Design Section	W12X50

COMBO	STATION	LOC	----MOMENT	INTERACTION	CHECK----	MAJ-SHR	MIN-SHR
ID			RATIO	=	AXL + B-MAJ + B-MIN	RATIO	RATIO
1.2D+1.6L	0.74		0.255 (C)	=	0.241 + 0.014 + 0.	0.	0.
1.2D+1.6L	0.74		0.255 (C)	=	0.241 + 0.014 + 0.	0.	0.
1.2D+1.6L	1.49		0.256 (C)	=	0.241 + 0.014 + 0.	0.	0.
1.2D+1.6L	1.49		0.256 (C)	=	0.241 + 0.014 + 0.	0.	0.
1.2D+1.6L	2.23		0.256 (C)	=	0.241 + 0.015 + 0.	0.	0.
1.2D+1.6L	2.23		0.256 (C)	=	0.241 + 0.015 + 0.	0.	0.
1.2D+1.6L	2.97		0.257 (C)	=	0.24 + 0.015 + 0.002	0.	0.

AISC 360-16 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)									
Units : Tonf, m, C									
Frame :	2BE	X Mid:	-1.255	Combo:	1.2D+1.6L	Design Type:	Column		
Length:	2.972	Y Mid:	1.137E-16	Shape:	W12X50	Frame Type:	GMF		
Loc :	2.972	Z Mid:	1.486	Class:	Compact	Prinpl Rot:	0. degrees		
Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis Reduction: Tau-b Fixed									
D/C Limit:	0.95	2nd Order:	General 2nd Order	EA factor:	0.8	EI factor:	0.8		
AlphaPr/Fy:	0.179	AlphaPr/Fe:	0.08	Tau_b:	1.				
PhiB=0.9		PhiC=0.9		PhiTY=0.9		PhiTF=0.75			
PhiS=0.9		PhiS-RI=1.		PhiST=0.9					
A=0.009		I33=1.627E-04		r33=0.131		S33=0.001		Av3=0.006	
J=7.118E-07		I22=2.343E-05		r22=0.05		S22=2.284E-04		Av2=0.003	
E=20389019.16		Fy=25310.507		Ry=1.5		z33=0.001		Cw=5.051E-07	
RLLF=1.		Fu=40778.038				z22=3.490E-04			
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1.2D+1.6L)									
Location		Fu		Mu33		Vu2		Vu3	Tu
2.972		-42.777		0.462		-0.014		0.007	2.224E-04
PMI DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-la)									
D/C Ratio:	0.257	= 0.24 + 0.015 + 0.002							
		= (Pr/Fc) + (8/9) (Mr33/Mc33) + (8/9) (Mr22/Mc22)							
COMPACTNESS									
Slenderness		Lambda		Lambda_p		Lambda_r		Lambda_s	Compactness
Major/Flange		6.313		10.785		28.382			Compact
/Web		26.811		106.717		161.779		260.	Compact
Minor/Flange		6.313		10.785		28.382			Compact
/Web		26.811		106.717		161.779		260.	Compact
Axial/Flange		6.313				15.894			Compact
/Web		26.811				42.29			Compact
AXIAL FORCE & BIAxIAL MOMENT DESIGN (H1-la)									
Factor		L		K1		K2		B1	B2
Major Bending		1.		1.		1.		1.	0.949
Minor Bending		1.		1.		1.		1.	0.397
		Ltbb		Kltb		Ch			
LTB		1.		1.		1.059			
		Fu		phi*Fnc		phi*Fnc			
		Force		Capacity		Capacity			
Axial		-42.777		177.988		214.567			
		Mu		phi*Mn		phi*Mn		phi*Mn	
		Moment		Capacity		No LTB		Cb=1	
Major Moment		0.462		26.839		26.839		26.153	
Minor Moment		-0.014		7.951					
SHEAR CHECK									
		Vu		phi*Vn		Stress		Status	
		Force		Capacity		Ratio		Check	
Major Shear		0.022		44.226		0.		OK	
Minor Shear		0.007		91.198		7.628E-05		OK	
CONTINUITY PLATE, DOUBLER PLATE AND BEAM/COLUMN RATIOS									
		Cont P1		Dbl P1		BC Ratio		BC Ratio	
		Area		Thick		Major		Minor	
Joint Design		0.		0.		N/C		N/C	

Se observa que el Ratio = (Fuerzas actuantes) / (Capacidad Resistente) de la columna igual

$0.257 < 1$; por lo que la columna cumple con las consideraciones de diseño.



5.2.9.2. Diagonales (W10x33)

Frame ID	2C0	Analysis Section	W10X33
Design Code	AISC 360-16	Design Section	W10X33

COMBO	STATION	LOC	Ratio	AXL + B-MAJ + B-MIN	Ratio	Ratio
1.4D	0.86	0.002(C) =	0. + 0. + 0.	0.001	0.	
1.4D	1.72	0.002(C) =	0. + 0.002 + 0.	0.	0.	
1.4D	1.72	0.002(C) =	0. + 0.002 + 0.	0.	0.	
1.4D	2.58	0.001(C) =	0. + 0. + 0.	0.001	0.	
1.4D	2.58	0.001(C) =	0. + 0. + 0.	0.001	0.	
1.4D	3.44	0.003(C) =	0. + 0.002 + 0.	0.002	0.	
1.2D+1.6L	0.	0.054(C) =	0.033 + 0.021 + 0.	0.004	0.	

AISC 360-16 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)						
Units : Tonf, m, C						
Frame : 2C0	X Mid: -2.123	Combo: 1.2D+1.6L	Design Type: Brace			
Length: 3.443	Y Mid: 1.137E-16	Shape: W10X33	Frame Type: OMF			
Loc : 0.	Z Mid: 1.486	Class: Compact	Princpl Rot: 0. degrees			
Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis						
D/C Limit=0.95	2nd Order: General 2nd Order		Reduction: Tau-b Fixed			
AlphaPr/Fy=0.046	AlphaPr/Pe=0.028 Tau_b=1.		EA factor=0.8		EI factor=0.8	
PhiB=0.9	PhiC=0.9	PhiTY=0.9	PhiTF=0.75			
PhiS=0.9	PhiS-RI=1.	PhiST=0.9				
A=0.006	I33=7.118E-05	r33=0.107	S33=5.760E-04	Av3=0.004		
J=2.427E-07	I22=1.523E-05	r22=0.049	S22=1.507E-04	Av2=0.002		
E=20389019.16	Fy=25310.507	Ry=1.5	z33=6.358E-04	Cw=2.123E-07		
RLLF=1.	Fu=40778.038		z22=2.294E-04			
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1.2D+1.6L)						
Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
0.	-7.29	-0.301	1.678E-05	-0.111	0.007	1.243E-04
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-lb)						
D/C Ratio: 0.054 = 0.033 + 0.021 + 0.						
= (1/2) (Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)						
COMPACTNESS						
Slenderness	Lambda	Lambda p	Lambda r	Lambda_s	Compactness	
Major/Flange	9.149	10.785	28.382		Compact	
/Web	27.103	106.717	161.779	260.	Compact	
Minor/Flange	9.149	10.785	28.382		Compact	
/Web	27.103	106.717	161.779	260.	Compact	
Axial/Flange	9.149		15.894		Compact	
/Web	27.103		42.29		Compact	
AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-lb)						
Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1.	1.	1.	1.	1.	1.
Minor Bending	1.	1.	1.	1.	1.	0.6
LTB	Lltb	Kltb	Cb			
	1.	1.	1.598			
	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt			
	Force	Capacity	Capacity			
Axial	-7.29	110.409	142.702			
	Mu	phi*Mn	phi*Mn	phi*Mn		
	Moment	Capacity	No LTB	Cb=1		
Major Moment	-0.301	14.484	14.484	13.633		
Minor Moment	1.678E-05	5.226				
SHEAR CHECK						
	Vu	phi*Vn	Stress	Status		
	Force	Capacity	Ratio	Check		
Major Shear	0.111	27.646	0.004	OK		
Minor Shear	0.007	61.065	0.	OK		
BRACE MAXIMUM AXIAL LOADS						
	P	P				
	Comp	Tens				
Axial	-7.29	0.				

Se observa que el Ratio = (Fuerzas actuantes) / (Capacidad Resistente) de la columna igual

0.054 < 1; por lo que la columna cumple con las consideraciones de diseño.



5.2.9.3. Anillo superior (L6X6X3/4)

Frame ID	31D	Analysis Section	L6X6X3/4
Design Code	AISC 360-16	Design Section	L6X6X3/4

COMBO	STATION	LOC	----MOMENT	INTERACTION	CHECK----	MAJ-SHR	MIN-SHR
ID			RATIO	=	AXL + B-MAJ + B-MIN	RATIO	RATIO
1.4D	0.06		0.001(T)	=	0. + 0. + 0.	0.	0.
1.4D	0.12		0.(T)	=	0. + 0. + 0.	0.	0.
1.4D	0.12		0.(T)	=	0. + 0. + 0.	0.	0.
1.4D	0.18		0.(T)	=	0. + 0. + 0.	0.	0.
1.4D	0.18		0.(T)	=	0. + 0. + 0.	0.	0.
1.4D	0.18		0.(T)	=	0. + 0. + 0.	0.	0.
1.4D	0.25		0.(T)	=	0. + 0. + 0.	0.	0.
1.2D+1.6L	0.		0.114(T)	=	0.02 + 0.028 + 0.066	0.019	0.

AISC 360-16 STEEL SECTION CHECK		(Summary for Combo and Station)	
Units : Tonf, m, C			
Frame : 31D	X Mid: -1.101	Combo: 1.2D+1.6L	Design Type: Beam
Length: 0.246	Y Mid: -0.589	Shape: L6X6X3/4	Frame Type: OMF
Loc : 0.	Z Mid: 0.	Class: Compact	Prinpl Rot: 45. degrees
Provision: LRFD	Analysis: Direct Analysis		
D/C Limit=0.95	2nd Order: General 2nd Order	Reduction: Tau-b Fixed	
AlphaPr/Py=0.018	AlphaPr/Pe=0.	Tau_b=1.	EI factor=0.8
PhiB=0.9	PhiC=0.9	PhiTY=0.9	PhiTF=0.75
PhiS=0.9	PhiS-RI=1.	PhiST=0.9	
A=0.005	I33=1.170E-05	r33=0.046	S33=1.089E-04
J=6.701E-07	I22=1.170E-05	r22=0.046	S22=1.089E-04
Ixy=-6.883E-06	Imax=1.858E-05	rmax=0.058	Smax=1.839E-04
Rot= 45. deg	Imin=4.813E-06	rmin=0.03	Smin=7.568E-05
E=20389019.16	Fy=25310.507	Ry=1.5	z33=1.950E-04
RLLF=1.	Fu=40778.038		z22=1.950E-04
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1.2D+1.6L)			
Location	Pu	Mu33	Mu22
0.	2.433	0.246	0.004
			Vu2
			0.762
			Vu3
			0.017
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H2-1)			
D/C Ratio:	0.114 = 0.02 + 0.028 + 0.066		
	= fa/Fa + fbw/Fbw + fbz/Fbz		
COMPACTNESS			
Slenderness	Lambda	Lambda p	Lambda r
Major/Flange	8.	15.326	25.828
/Web	8.	15.326	25.828
Minor/Flange	8.	15.326	25.828
/Web	8.	15.326	25.828
Axial/Flange	8.		12.772
/Web	8.		12.772
AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H2-1)			
Factor	L	K1	K2
Major Bending	1.	1.	1.
Minor Bending	1.	1.	1.
			B1
			1.
			B2
			1.
			Cm
			1.
	Lltb	Kltb	Cb
LTB	1.	1.	1.
	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt
Axial	Force	Capacity	Capacity
	2.433	118.979	124.331
	Mu	phi*Mn	phi*Mn
Major Moment	0.177	Capacity	No LTB
Minor Moment	-0.171	6.284	6.284
			phi*Mn
			Cb=1
			6.284
SHEAR CHECK			
	Vu	phi*Vn	Stress
Major Shear	Force	Capacity	Ratio
0.762		39.68	0.019
Minor Shear	0.017	39.68	0.
			Status
			Check
			OK
			OK
CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS			
	VMajor	VMajor	
	Left	Right	
Major (V2)	0.762	0.762	

Se observa que el Ratio = (Fuerzas actuantes) / (Capacidad Resistente) de la columna igual $0.114 < 1$; por lo que la columna cumple con las consideraciones de diseño.



5.2.9.4. Anillo inferior (L200X300X38)

Frame ID	33D	Analysis Section	L200x300x38
Design Code	AISC 360-16	Design Section	L200x300x38
COMBO STATION /---MOMENT INTERACTION CHECK---//---MAJ-SHR---MIN-SHR---/			
ID	LOC	RATIO	= AXL + B-MAJ + B-MIN RATIO RATIO
1.4D	0.06	0.005(C) =	0. + 0.002 + 0.003 0. 0.001
1.4D	0.12	0.004(C) =	0. + 0.002 + 0.002 0. 0.001
1.4D	0.12	0.004(C) =	0. + 0.002 + 0.002 0. 0.001
1.4D	0.18	0.003(C) =	0. + 0.001 + 0.002 0. 0.
1.4D	0.18	0.003(C) =	0. + 0.001 + 0.002 0. 0.
1.4D	0.25	0.003(C) =	0. + 0.001 + 0.001 0. 0.
1.2D+1.6L	0.	0.662(C) =	0.005 + 0.294 + 0.363 0.016 0.157

AISC 360-16 STEEL SECTION CHECK			(Summary for Combo and Station)		
Units : Tonf, m, C					
Frame : 33D	X Mid: -1.242	Combo: 1.2D+1.6L	Design Type: Beam		
Length: 0.246	Y Mid: 0.122	Shape: L200x300x38	Frame Type: OMF		
Loc : 0.	Z Mid: 2.972	Class: Compact	Princpl Rot: 66.842 degrees		
Provision: LRFD		Analysis: Direct Analysis			
D/C Limit=0.95		2nd Order: General 2nd Order		Reduction: Tau-b Fixed	
AlphaFr/Py=0.004		AlphaFr/Pe=2E-05 Tau_b=1.		EA factor=0.8 EI factor=0.8	
PhiB=0.9		PhiC=0.9		PhiTY=0.9	
PhiS=0.9		PhiS-RI=1.		PhiST=0.9	
PhiTF=0.75					
A=0.018		I33=5.481E-05		r33=0.056	
J=7.939E-06		I22=1.548E-04		r22=0.094	
Ixy=-5.237E-05		Imax=1.772E-04		rmax=0.1	
Rot= 67. deg		Imin=3.241E-05		rmin=0.043	
E=20389019.16		Fy=25310.507		Ry=1.5	
RLLF=1.		Fu=40778.038		z22=0.001	
S33=3.756E-04		Av3=0.011			
S22=7.903E-04		Av2=0.008			
Smax=9.139E-04					
Smin=3.218E-04				BetaW=0.157	
z33=6.923E-04				Cw=4.286E-08	
z22=0.001					
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1.2D+1.6L)					
Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3
0.	-1.973	0.068	-10.	1.619	-24.464
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H2-1)					
D/C Ratio: 0.662 = 0.005 + 0.294 + 0.363					
= fa/Fa + fbw/Fbw + fbz/Fbz					
COMPACTNESS					
Slenderness	Lambda	Lambda_p	Lambda_r	Lambda_s	Compactness
Major/Flange	7.895	15.326	25.828		Compact
/Web	5.263	15.326	25.828		Compact
Minor/Flange	7.895	15.326	25.828		Compact
/Web	5.263	15.326	25.828		Compact
Axial/Flange	7.895		12.772		Compact
/Web	5.263		12.772		Compact
AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H2-1)					
Factor	L	K1	K2	B1	B2
Major Bending	1.	1.	1.	1.	1.
Minor Bending	1.	1.	1.	1.	1.
	Lltb	Kltb	Cb		
LTB	1.	1.	1.		
	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt		
Axial	Force	Capacity	Capacity		
	-1.973	392.41	399.916		
	Mu	phi*Mn	phi*Mn	phi*Mn	
Major Moment	Moment	Capacity	No LTB	Cb=1	
Minor Moment	-9.168	31.227	31.227		
	-3.995	10.995			
SHEAR CHECK					
	Vu	phi*Vn	Stress	Status	
Major Shear	Force	Capacity	Ratio	Check	
Minor Shear	1.619	103.874	0.016	OK	
	24.464	155.811	0.157	OK	
CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS					
	VMajor	VMajor			
	Left	Right			
Major (V2)	1.619	1.619			

Se observa que el Ratio = (Fuerzas actuantes) / (Capacidad Resistente) de la columna igual $0.662 < 1$; por lo que la columna cumple con las consideraciones de diseño.



CAPÍTULO VI

EVALUACIÓN ECONÓMICA

La viabilidad de un proyecto de ingeniería no se define únicamente por la parte técnica o su funcionalidad, sino también por su factibilidad económica, en este capítulo se aborda el pilar fundamental para la implementación del soporte estructural para una carga total de 126 toneladas, se realizará el análisis de costos y la evaluación económica para determinar si el diseño propuesto reducirá los costos de mantenimiento de la chancadora giratoria.

6.1. Análisis de la situación actual

En el mantenimiento de la chancadora giratoria Flsmidth 60"x113, específicamente el cambio del anillo de empuje del eje principal depende del servicio de alquiler de una grúa telescópica de 200 toneladas, esta dependencia de alquiler genera un costo operativo elevado y recurrente para la compañía.

En la Tabla 6.1 se muestra el registro histórico por año de los costos del servicio de alquiler la grúa de 200 toneladas.

Tabla 6. 1. Tabla de costos de alquiler de grúa telescópica de 200 toneladas

Ítem	Descripción	Año	Número de paradas	Costo por parada (USD)	Costo total (USD)
1	Alquiler grúa 200 toneladas	2015	2	\$ 53,065	\$ 106,130
2		2016	2	\$ 53,353	\$ 106,705
3		2017	2	\$ 55,177	\$ 110,353
4		2018	2	\$ 55,930	\$ 111,860
5		2019	2	\$ 55,451	\$ 110,901
6		2020		-	
7		2021	2	\$ 65,375	\$ 130,750
8		2022	2	\$ 62,700	\$ 125,400
9		2023	2	\$ 59,050	\$ 118,099



En la tabla 6.2 se detalla todos los costos asociados al alquiler de la grúa telescópica de 200 toneladas durante el año 2023, estos costos claramente están sujetos a la variación de precios de acuerdo con el mercado peruano en el rubro minero.

Tabla 6. 2. Tabla de costos de alquiler de grúa año

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	Cantidad de paradas	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
1	Alquiler de Grúa Telescópica 200 toneladas	72	horas	2	\$ 250.00	\$ 36,000.00
2	Operador Certificado	72	horas	2	\$ 12.00	\$ 1,728.00
3	Rigger Certificado	72	horas	2	\$ 9.00	\$ 1,296.00
4	Supervisor de campo	72	horas	2	\$ 15.00	\$ 2,160.00
5	Supervisor de seguridad	72	horas	2	\$ 15.00	\$ 2,160.00
6	Movilización y desmovilización de Grúa	1	Servicio	2	\$ 7,500.00	\$ 15,000.00
7	Movilización y desmovilización Contrapesos	1	Servicio	2	\$12,050.00	\$ 24,100.00
8	Camioneta permanente en obra para ploteo	72	horas	2	\$ 85.00	\$ 12,240.00
9	Camioneta de ploteo movilización y desmovilización de Grúa	2	Servicio	2	\$ 155.00	\$ 620.00
10	Habilitación de Personal y Grúa Telescópica	1	Servicio	2	\$ 1,140.00	\$ 2,280.00
11	Tramite de permisos	1	Servicio	2	\$ 1,250.00	\$ 2,500.00
Subtotal						\$100,084.00
IGV (18%)						\$ 18,015
Total						\$ 118,099

Fuente: Presupuesto 000411-2023 – Grúas y transportes San Lorenzo

De la tabla 6.1 se puede saber que el costo promedio actual de alquiler de la grúa telescópica de 200 toneladas en los últimos 3 años es de **USD 124,750**, al que se le denominará **promedio anual de ahorro** (costo evitado anual).

6.2. Costos directos

En el siguiente apartado se realizará el cálculo de costos para la fabricación e instalación del soporte estructural, considerando todos los elementos que componen su estructura:



materiales, mano de obra especializada, procesos de corte y soldadura, tratamientos superficiales, logística y transporte.

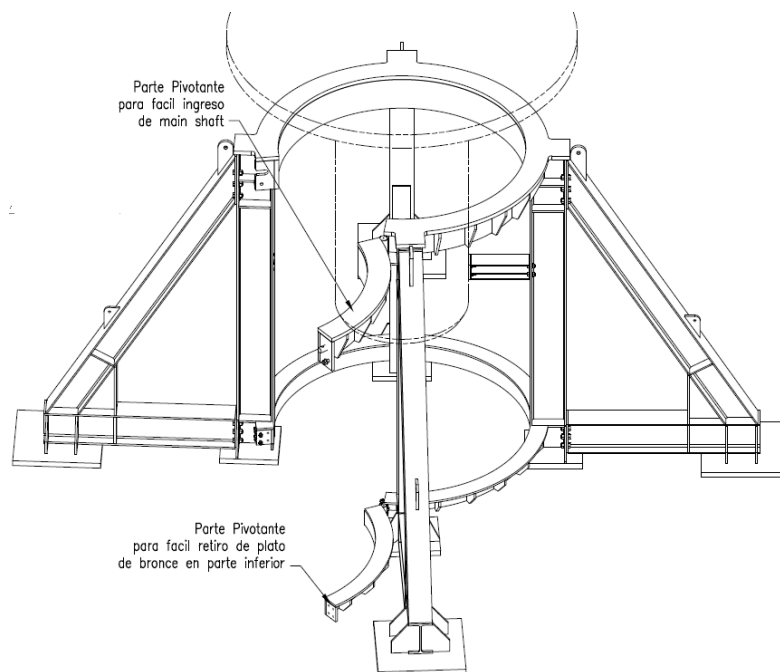


Figura 6.1. Soporte estructural para 126 toneladas

6.2.1. Costo de ingeniería y diseño

Los costos de ingeniería se calculan en base a la elaboración de la ingeniería de detalle, generación de planos de fabricación y elaboración de la memoria de cálculo,

Tabla 6.3. Tabla de Metrado de pesos del soporte estructural

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	PU (USD)	Parcial (USD)	Total (USD)
I. COSTO DIRECTO (CD)						
01	INGENIERÍA Y DISEÑO					6,045.00
01.01	Trazo y replanteo	glb	1.00	1,540.00	1,540.00	
01.02	Elaboración de ingeniería de detalle y planos de fabricación	glb	1.00	3,765.00	3,765.00	
01.03	Memoria de cálculo	glb	1.00	740.00	740.00	

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 6.3 se obtiene el costo de Ingeniería y diseño de **USD 6,045.00**



6.2.2. Costo de materiales

El costo de suministro de materiales se calcula en función al peso total del soporte estructural, en la siguiente tabla 6.4 se resume el metrado de peso obtenido de toda la estructura.

Tabla 6.4. Tabla de metrado de pesos del soporte estructural

Nº	DESCRIPCION	MATERIAL	CANTIDAD (UND)	PESO (Kg)	
				UNIT.	TOTAL
1	Viga W12x50	ASTM A36	4	549.62	2198.46
2	Viga W10x33	ASTM A36	4	491.00	1964
3	Viga W6x20/Poliamida	Poliamida	2	84.35	168.7
4	Plancha estructural LAC 50mm.	ASTM A36	4	74.53	298.1
5	Plancha estructural LAC 38mm.	ASTM A36	3	1542.11	1542.11
6	Plancha estructural LAC 25mm.	ASTM A36	2	27.30	27.3
7	Plancha estructural LAC 19mm.	ASTM A36	2	346.28	684.4
8	Plancha estructural LAC 16mm.	ASTM A36	8	4.38	35
9	Eje Ø3" ASTM A36	ASTM A36	1	7.10	7.1
10	Eje Ø2" ASTM A36	ASTM A36	1	1.60	1.6
11	Perno Hexagonal Ø1"x3 1/2"	A325	2	0.50	1
12	Perno Hexagonal Ø1"x2 1/2"	A325	48	0.42	20.16
13	Perno Hexagonal Ø3/4"x2 1/4"	A325	8	0.19	1.54
14	Perno Hexagonal Ø5/8"x2 1/2"	A325	8	0.13	1.05
15	Perno Cabeza Avellanada Ø1/2"x2"	A326	8	0.07	0.54
16	Tuerca Hexagonal Ø1"	A194	50	0.03	1.28
17	Tuerca Hexagonal Ø3/4"	A194	8	0.08	0.6
18	Tuerca Hexagonal Ø5/8"	A194	8	0.05	0.43
19	Tuerca Hexagonal Ø1/2"	A194	8	0.19	1.5
20	Arandela Plana Ø1"	F436	50	0.04	2.1
21	Arandela Plana Ø3/4"	F436	8	0.02	0.15
22	Arandela Plana Ø5/8"	F436	8	0.02	0.15
23	Arandela Plana Ø1/2"	F436	8	0.07	0.55
24	Grasera NPT Ø1/4"		2	0.03	0.06
			Peso Total	3130.09	6957.88
			(Kg)		

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 6.5. Costo total de suministro de materiales

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	PU (USD)	Parcial (USD)	Total (USD)
I. COSTO DIRECTO (CD)						
02	COSTO DE MATERIALES					13,822.70
02.01	Suministro perfil de acero W12X50 y W10X33	kg	4,162.46	1.45	6,035.57	
02.02	Suministro perfil de poliamida W6x20	kg	168.70	12.50	2,108.75	
02.03	Suministro plancha estructural LAC	kg	2,586.91	1.35	3,492.33	
02.04	Suministro eje sólido ASTM A-36	kg	8.70	1.80	15.66	
02.05	Suministro pernos, tuercas, arandelas	kg	31.05	4.50	139.73	
02.06	Suministro de consumibles	glb	1	2.030.67	2.030.67	

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 6.5 se obtiene el costo de suministro de materiales de **USD 13,822.70**

6.2.3. Costo de fabricación

El costo para la fabricación del soporte estructural se determina en función a la mano de obra para habilitado, armado y soldadura, equipos, consumibles y gastos generales de taller.

Tabla 6.6. Costo total de fabricación

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	PU (USD)	Parcial (USD)	Total (USD)
I. COSTO DIRECTO (CD)						
03	COSTO DE FABRICACIÓN					19,629.03
03.01	Habilitación y Fabricación de estructura en acero	kg	6,758.07	2.10	14,191.95	
03.02	Habilitación de perfil en poliamida	kg	168.70	1.90	320.53	
03.03	Preparación superficial (arenado SP-6)	kg	6,758.07	0.35	2,365.32	
03.04	Tratamiento superficial (pintura epóxica 8 mils)	kg	6,758.07	0.40	2,703.23	
03.05	Embalado de estructura	m	80.00	0.60	48.00	

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 6.6 se obtiene el costo de fabricación de **USD 19,629.03**

6.2.4. Costo de instalación y montaje



Tabla 6.7. Costo total de instalación y montaje

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	PU (USD)	Parcial (USD)	Total (USD)
I. COSTO DIRECTO (CD)						
04 COSTO DE INSTALACIÓN Y MONTAJE						1,350.50
04.01	Montaje e instalación del soporte estructural (ensamblado)	glb	1.00	1,350.50	1,350.50	

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 6.7 se obtiene el costo de instalación y montaje de **USD 1350.50**

6.3. Costos indirectos

Los costos indirectos son los gastos que físicamente no forma parte de la fabricación del soporte estructural de acero, sin embargo, es indispensable para poder ejecutar el proyecto considerando la logística y transporte

Tabla 6.8. Costo total de instalación y montaje

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	PU (USD)	Parcial (USD)	Total (USD)
II. COSTO INDIRECTO DEL PROYECTO (CI)						2,851.55
	GESTIÓN Y SUPERVISIÓN	glb	1	675.40	675.40	
	LOGISTICA Y TRANSPORTE	glb	1	745.50	745.50	
	SEGURIDAD	glb	1	365.00	365.00	
	GASTOS GENERALES	glb	1	1,065.65	1065.65	

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 6.8 se obtiene los costos indirectos de **USD 2851.55**

De todos los costos asociados de ingeniería y diseño, suministro de materiales, habilitación y fabricación, instalación y montaje, y los costos indirectos nos da un valor total de **USD 41,896.11**, debe tomarse en cuenta que los valores tomados pueden variar en el tiempo de acuerdo al mercado peruano y tipo de cambio.



6.4. Evaluación económica

Para la evaluación económica se utilizará los datos históricos del costo de alquiler de la grúa telescópica de 200 toneladas Tabla 6.1 y el costo total de la implementación del soporte estructural para una carga total de 126 toneladas (inversión inicial).

6.4.1. Definición de variables

6.4.1.1. Inversión inicial

La inversión inicial hace referencia a la fabricación y montaje del soporte estructural considerando el costo directo e indirecto y hace un total de **USD 43,698.78**

6.4.1.1. Costo evitado anual

Para ser conservadores y realistas, se usará el promedio de los 3 años operativos (2021-2023), ya que reflejan mejor los precios actuales del mercado post-pandemia.

- 2021: USD 130,750
- 2022: USD 125,400
- 2023: USD 118,100

Promedio anual del ahorro: USD 124,750

6.4.2. Cálculo de retorno sobre la inversión (ROI)

El ROI mide cuanto de costos se gana en relación a los gastos, en este caso se calculará el retorno de inversión al finalizar el primer año.

$ROI = \frac{Beneficio\ Neto}{Costo\ de\ Inversión\ Total} \times 100\%$	(6. 1)
--	--------



Dónde:

- Costo de Inversión Total = USD 43,698.78
- Beneficio Neto = Ahorro Anual – Inversión Inicial
- Beneficio Neto = 124,750 – 43,698.78= USD 81,051.22

$ROI = \frac{\text{Beneficio neto}}{\text{Costo de Inversión Total}} \times 100\%$	(6. 2)
--	--------

ROI:

$ROI = 185.47 \%$

Interpretación:

Por cada dólar invertido en el soporte estructural, la empresa recupera ese dólar y genera USD 1.85 adicional de ganancia pura solo en el primer año al prescindir el alquiler de la grúa telescópica de 200 toneladas.

6.4.3. Cálculo del periodo de recuperación de inversión (PRI)

El cálculo del periodo de recuperación de inversión será:

$PRI = \frac{\text{Costo de Inversión}}{\text{Ahorro mensual promedio}}$	(6. 3)
--	--------

Dónde:

- Costo de Inversión Total = USD 43,698.78
- Ahorro mensual promedio = Costo de alquiler de grúa / cantidad de meses



- Ahorro mensual promedio = USD 124,750 /12 meses = 10,395.83 USD/mes

$$PRI = \frac{43,698.78}{10,395.83} = 4.2 \text{ meses}$$

Interpretación:

El resultado se interpreta que la inversión se recupera en un tiempo de 4.2 meses, a partir de ese periodo, todo el ahorro es utilidad neta para la compañía.

6.4.1. Proyección de inversión

Para mostrar el impacto a largo plazo, se asume un costo de mantenimiento mínimo para el nuevo soporte estructural (pintura/inspección) de aproximadamente USD 1,000 anuales.

Supuestos:

- Ahorro anual por no alquilar la grúa = USD 124,750
- Gasto Anual de mantenimiento del soporte = USD 1000
- Horizonte = 5 años
- Inversión inicial (año 0) = USD 43,698.78

Tabla 6.9. Proyección a 5 años de inversión

Año	Ahorro (Grúa)	Gasto (mantenimiento del soporte) USD	Flujo Neto USD	Acumulado USD
Año 0	0.00	0.00	-43,698.78	-43,698.78
Año 1	124,750	1,000	123,750	80,051.22
Año 2	124,750	1,000	123,750	203,801.22



Año 3	124,750	1,000	123,750	327,551.22
Año 4	124,750	1,000	123,750	451,301.22
Año 5	124,750	1,000	123,750	575,051.22

Fuente: Elaboración propia.

Bajo los supuestos establecidos, el flujo acumulado se vuelve positivo durante el **Año 1**. En los próximos 5 años, la inversión de **USD 43,698.78** genera alrededor de **USD 575,051.22** evidenciando el impacto económico favorable del soporte estructural.



CONCLUSIONES

- Se desarrolló el diseño estructural de un soporte metálico para sostener el eje principal de 126 toneladas de la chancadora giratoria FLSmidth 60" × 113", como alternativa técnica orientada a reducir la dependencia del alquiler de una grúa telescópica de 200 toneladas durante las actividades de mantenimiento.
- Se estableció la configuración geométrica del soporte metálico, considerando la geometría del eje principal, la disposición de los elementos estructurales principales y las condiciones de apoyo necesarias para el posicionamiento del eje durante el mantenimiento.
- Mediante el método LRFD, se realizó la selección y verificación de los perfiles estructurales principales del soporte, cumpliendo con la resistencia requerida bajo las combinaciones de carga consideradas. Se obtuvieron resistencias de diseño de 1089 kN para la diagonal W10×33 y de 2119 kN y 1755 kN para los elementos principales W12×50.
- El análisis mediante elementos finitos en SAP2000 permitió verificar el comportamiento global del soporte bajo la carga de diseño. Los ratios de utilización obtenidos fueron menores que 1.0, registrándose un valor máximo de 0.257 para los perfiles W12×50 y 0.054 para las diagonales W10×33, lo cual indica que los elementos principales trabajan dentro de los límites admisibles del modelo analizado.
- El análisis económico evidenció que la fabricación del soporte estructural representa una alternativa económicamente favorable frente al alquiler recurrente de una grúa telescópica de 200 toneladas, considerando una inversión estimada de USD 43,698.78 y un periodo de recuperación aproximado de 4 meses, bajo las condiciones de costo evaluadas.



RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar con una etapa posterior de ingeniería de detalle antes de la implementación del soporte, considerando que la presente tesis desarrolla el diseño y verificación estructural de los elementos principales.
- Se recomienda verificar en campo las condiciones reales de apoyo del soporte metálico, incluyendo nivelación, zona de contacto, capacidad de la losa o cimentación y transferencia de cargas hacia el suelo.
- Se recomienda complementar el estudio con el diseño detallado de conexiones soldadas, conexiones empernadas, placas base y pernos de anclaje, debido a que dichos elementos no forman parte del alcance principal de esta tesis y son necesarios para la fabricación e instalación definitiva.
- Se recomienda realizar una revisión final del modelo tridimensional en SAP2000 antes de la fabricación, incorporando las condiciones reales de apoyo, detalles constructivos definidos en ingeniería de detalle y cargas verificadas en campo, con el fin de confirmar los ratios de utilización y deformaciones obtenidas.
- Se recomienda actualizar el análisis económico con cotizaciones vigentes de materiales, fabricación, transporte, montaje y alquiler de grúa antes de tomar una decisión de inversión, debido a que dichos costos pueden variar según las condiciones del mercado y la programación de mantenimiento.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

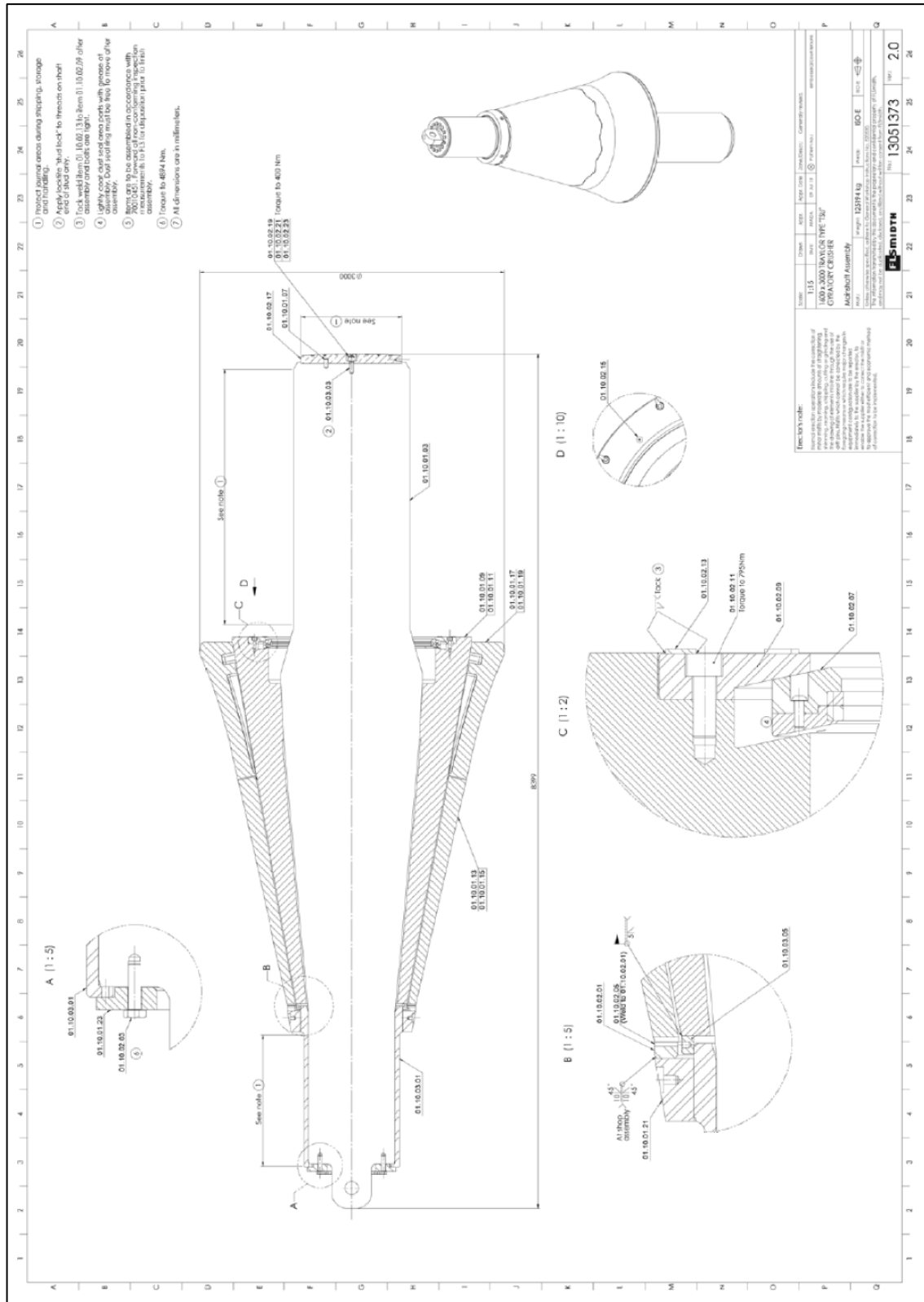
- Águila, A. D. (2017, julio 27). Procedimiento de evaluación de riesgos ergonómicos y psicosociales. Universidad de Almería.
- Alarcón Mollo, M. (2017). Diseño y verificación estructural de un soporte metálico para un alimentador con chute de 6 t [Tesis no publicada]. Arequipa, Perú.
- Carrasco Angulo, C. A. (2011). Metodología para el análisis estático y dinámico de estructuras metálicas aplicando el método de los elementos finitos. Lima, Perú.
- FLSmidth. (2019). [Documento técnico del fabricante].
- Hudbay. (2013). Infografía del proyecto minero Constancia [Infografía]. Cusco, Perú.
- Huanca Cahuana, E. (2018). Cálculo y diseño estructural de una plataforma móvil de mantenimiento para el ducto de inmersión ciclón 5 (Ø 8 m). Arequipa, Perú.
- McCorman, J., & Csernak, S. (2013). Diseño de estructuras de acero. Alfaomega Grupo Editor.
- Ottosen, N. (1992). Introduction to the finite element method.
- Sánchez Chocano, J., & Tecsup. (2019). Equipos y componentes industriales: Chancado/triturado de mineral [Manual]. Tecsup.
- Zapata Baglietto, L. F. (1992). Diseño estructural en acero.



ANEXOS

ANEXO A:

PLANO EJE PRINCIPAL MAIN SHAFT





ANEXO B:

CÓDIGO MATLAB DESARROLLADO

Código Matlab

```
% =====  
% METODO DE LA MATRIZ DE RIGIDEZ - ARMADURA 2D  
%   - Impresión de matrices de rigidez locales y globales de cada elemento  
%   - Ensamblaje de la matriz global de la estructura  
%   - Cálculo de desplazamientos, reacciones y fuerzas internas  
%   - Impresión de la matriz de transformación T y su transpuesta T'  
% =====  
  
clear; clc; close all;  
  
%% -----  
% 1. DATOS GEOMÉTRICOS  
% -----  
% Coordenadas de los nodos en metros (x, y)  
coords = [0.000, 0.000; % Nodo 1  
          1.737, 0.000; % Nodo 2  
          1.737, 2.972]; % Nodo 3  
  
% Conectividad: [ID elemento, nodo i, nodo j]  
elems = [1 1 3; % Elemento 1: de nodo 1 a nodo 3  
         2 1 2; % Elemento 2: de nodo 1 a nodo 2  
         3 2 3]; % Elemento 3: de nodo 2 a nodo 3  
  
% Áreas de las secciones transversales [m²]  
A_vals = [6.265e-3; 9.419e-3]; % Valores disponibles  
area_map = [1; 2; 2]; % Qué área corresponde a cada elemento  
  
%% -----  
% 2. PROPIEDADES DEL MATERIAL  
% -----  
% Módulo de Young del acero en tonf/m² -> convertir a kN/m²  
E_tonf_per_m2 = 2.00e7; % tonf/m²  
E = E_tonf_per_m2 * 9.81; % kN/m² (1 tonf = 9.81 kN)  
  
%% -----  
% 3. CARGAS Y CONDICIONES DE APOYO  
% -----  
P_tonf = 31.5; % Carga vertical en tonf  
P_kN = P_tonf * 9.81; % Convertir a kN
```



```
F = zeros(6,1); % Vector de fuerzas nodales (6 GDL)
F(6) = -P_kN; % Carga vertical hacia abajo en nodo 3 (uy3)
```

```
% Grados de libertad fijos:
% Nodo1: ux, uy -> DOF 1,2
% Nodo2: ux -> DOF 3, uy -> DOF 4
fixed = [2,3,4,5]; % Restringidos (sin movimiento)
all_dofs = 1:6;
free = setdiff(all_dofs,fixed); % GDL libres a resolver
```

```
%% -----
% 4. ENSAMBLAJE DE LA MATRIZ DE RIGIDEZ GLOBAL
% -----
% La matriz de rigidez global K (6x6) parte en cero
nNodes = size(coords,1);
nElems = size(elems,1);
K_global = zeros(2*nNodes);
```

```
% Variables para guardar datos de cada elemento
K_local_elems = cell(nElems,1); % k_local de cada barra
K_global_elems = cell(nElems,1); % k_global de cada barra
T_elems = cell(nElems,1); % matriz de transformación T de cada elemento
Tt_elems = cell(nElems,1); % transpuesta de T
L_e = zeros(nElems,1);
cos_e = zeros(nElems,1);
sin_e = zeros(nElems,1);
A_e = zeros(nElems,1);
```

```
% ===== Bucle por elemento =====
for e = 1:nElems
    % --- Geometría del elemento e ---
    ni = elems(e,2); nj = elems(e,3); % nodos i y j
    xi = coords(ni,1); yi = coords(ni,2);
    xj = coords(nj,1); yj = coords(nj,2);
    dx = xj - xi; dy = yj - yi;
    L = sqrt(dx^2 + dy^2); % Longitud L
    c = dx / L; s = dy / L; % Coseno y seno de la barra
    A = A_vals(area_map(e));
    A_e(e) = A; L_e(e) = L; cos_e(e) = c; sin_e(e) = s;
```

```
% --- (a) Matriz de rigidez local 2x2 ---
% Fórmula: k_local = (A E / L) [ 1 -1; -1 1 ]
k_local = (A*E/L)*[1 -1; -1 1];
```



```
K_local_elems{e} = k_local;

% --- (b) Matriz de transformación 4x4 para la barra (2D) ---
% T se utiliza en la formulación k_global_elem = T' * k_local_expanded *
T
% Definimos T de forma que transforme desplazamientos locales ->
globales.
% Para un elemento de barra 2D la matriz T (4x4) se puede tomar como:
T = [ c  s  0  0;
      -s  c  0  0;
        0  0  c  s;
        0  0 -s  c ];
T_elems{e} = T;
Tt_elems{e} = T';

% --- (c) Matriz de rigidez global 4x4 de la barra ---
% Forma expandida (directa) para truss/armadura 2D:
k = (A * E / L) * [ c*c, c*s, -c*c, -c*s;
                   c*s, s*s, -c*s, -s*s;
                   -c*c, -c*s,  c*c,  c*s;
                   -c*s, -s*s,  c*s,  s*s];
K_global_elems{e} = k;

% --- (d) Ensamblaje en K_global ---
% GDL del nodo i: (2*ni-1, 2*ni)
% GDL del nodo j: (2*nj-1, 2*nj)
dof_map = [2*(ni-1)+1, 2*(ni-1)+2, 2*(nj-1)+1, 2*(nj-1)+2];
K_global(dof_map, dof_map) = K_global(dof_map, dof_map) + k;
end

% Mostrar resultados de matrices por elemento
fprintf('\n==== MATRICES DE RIGIDEZ Y TRANSFORMACION POR ELEMENTO ==== \n');
for e = 1:nElems
    fprintf('\nElemento %d \n', e);
    fprintf('Matriz de transformacion T (4x4): \n');    disp(T_elems{e});
    fprintf('Transpuesta T' (4x4): \n');                disp(Tt_elems{e});
    fprintf('K_local (2x2) [kN/m]: \n');                disp(K_local_elems{e});
    fprintf('K_global_elem (4x4) [kN/m]: \n');
    disp(K_global_elems{e});
end
fprintf('\nMatriz de rigidez global de la estructura (6x6) [kN/m]: \n');
disp(K_global);

%% -----
% 5. SOLUCIÓN DEL SISTEMA
% -----
```



```
% Sub-matriz libre K_ff * u_f = F_f
K_ff = K_global(free, free);
F_f = F(free);
u = zeros(6,1);
u(free) = K_ff \ F_f;          % Desplazamientos en GDL libres
R = K_global * u - F;          % Reacciones en apoyos

%% -----
% 6. FUERZAS AXIALES Y ESFUERZOS
% -----
elem_forces = zeros(nElems,1);
elem_stresses = zeros(nElems,1);

for e = 1:nElems
    ni = elems(e,2); nj = elems(e,3);
    dof_map = [2*(ni-1)+1, 2*(ni-1)+2, 2*(nj-1)+1, 2*(nj-1)+2];
    ue = u(dof_map);           % desplazamientos del elemento
    c = cos_e(e); s = sin_e(e); L = L_e(e); A = A_e(e);

    % Fuerza axial T (signo + tracción, - compresión)
    % Fórmula: T = (A E / L) * [-c -s c s] * ue
    Tval = (A * E / L) * ([-c, -s, c, s] * ue);

    elem_forces(e) = Tval;      % kN
    elem_stresses(e) = Tval / A; % kN/m² (1 MPa = 1000 kN/m²)
end

%% -----
% 7. RESULTADOS NUMÉRICOS
% -----
fprintf('\n--- DESPLAZAMIENTOS NODALES (m) ---\n');
for n = 1:nNodes
    fprintf('Nodo %d: ux = %.6e, uy = %.6e\n', ...
        n, u(2*(n-1)+1), u(2*(n-1)+2));
end
fprintf('\n--- REACCIONES (kN) DOF1..6 ---\n'); disp(R');
fprintf('\n--- FUERZAS AXIALES (kN) ---\n');
for e = 1:nElems
    fprintf('Elem %d: T = %.3f kN (sigma = %.3f MPa)\n', ...
        e, elem_forces(e), elem_stresses(e)/1000);
end

%% -----
% 8. FIGURAS
% -----
```



% Figura 1: Geometría

```
figure(1); hold on; axis equal; grid on;  
title('Figura 1: Geometría con apoyos y carga');  
for e=1:nElems  
    ni=elems(e,2); nj=elems(e,3);  
    plot(coords([ni nj],1), coords([ni nj],2), 'b-o', 'LineWidth',2);  
end  
quiver(coords(3,1), coords(3,2), 0, -0.5, 'r', 'LineWidth',2, 'MaxHeadSize',2);  
text(coords(3,1), coords(3,2)-0.3, sprintf('%.1f kN',P_kN), 'Color', 'r');
```

% Figura 2: Deformada (escala 300)

```
scale = 300;  
coords_def = coords + scale*reshape(u,2,[]);  
figure(2); hold on; axis equal; grid on;  
title('Figura 2: Estructura deformada');  
for e=1:nElems  
    ni=elems(e,2); nj=elems(e,3);  
    plot(coords([ni nj],1), coords([ni nj],2), 'k--');  
    plot(coords_def([ni nj],1), coords_def([ni nj],2), 'b-', 'LineWidth',2);  
end
```

% Figura 3: Fuerzas internas

```
figure(3); hold on; axis equal; grid on;  
title('Figura 3: Fuerzas internas (kN)');  
for e=1:nElems  
    ni=elems(e,2); nj=elems(e,3);  
    cforce = elem_forces(e);  
    plot(coords([ni nj],1), coords([ni nj],2), 'LineWidth',4);  
    xm = mean(coords([ni nj],1)); ym = mean(coords([ni nj],2));  
    text(xm, ym, sprintf('%.1f kN',  
cforce), 'Color', 'k', 'FontWeight', 'bold');  
end  
colorbar;
```

%% Guardar resultados

```
save('resultados_truss.mat', 'coords', 'elems', 'A_e', 'E', 'F', 'K_global', 'K_lo  
al_elems', 'K_global_elems', 'T_elems', 'Tt_elems', 'u', 'R', 'elem_forces', 'elem_  
stresses');  
fprintf('\nGraficas generadas y resultados guardados.\n');
```

```
fprintf('\nMatriz global de rigidez de la estructura:\n');  
disp(K_global);
```



```
%% -----  
% 9. DIAGRAMA DE TENSIONES EN ELEMENTOS  
% -----  
figure(4); hold on; axis equal; grid on;  
title('Figura 4: Tensiones axiales en elementos (MPa)');  
colormap jet;  
  
% Definir límites de color para visualizar compresión (-) y tracción (+)  
sigma_min = min(elem_stresses/1e3);  
sigma_max = max(elem_stresses/1e3);  
caxis([sigma_min sigma_max]);  
colorbar;  
xlabel('x [m]'); ylabel('y [m]');  
  
for e = 1:nElems  
    ni = elems(e,2); nj = elems(e,3);  
    xi = coords(ni,1); yi = coords(ni,2);  
    xj = coords(nj,1); yj = coords(nj,2);  
  
    % Valor de tensión en MPa  
    sigma_e = elem_stresses(e)/1e3;  
  
    % Definir color en función del signo  
    if sigma_e >= 0  
        col = [1 0 0]; % rojo: tracción  
        tipo = 'Tracción';  
    else  
        col = [0 0 1]; % azul: compresión  
        tipo = 'Compresión';  
    end  
  
    % Dibujar barra con color según tensión  
    plot([xi xj],[yi yj], '-', 'Color', col, 'LineWidth', 6);  
    xm = mean([xi xj]);  
    ym = mean([yi yj]);  
    text(xm, ym, sprintf('%.2f MPa (%s)', sigma_e, tipo), ...  
        'Color', 'k', 'FontWeight', 'bold', 'HorizontalAlignment', 'center');  
end  
legend({'Tracción (+)', 'Compresión (-)'}, 'Location', 'bestoutside');  
  
%% -----  
% 10. RESUMEN FINAL DE RESULTADOS  
% -----
```




```
fprintf('\n=====\\n');
fprintf('          RESUMEN FINAL DE RESULTADOS DE LA ARMADURA\\n');
fprintf('=====\\n');
fprintf('Elemento | Longitud (m) | Fuerza (kN) | Esfuerzo (MPa) |
Tipo\\n');
fprintf('-----\\n');
for e = 1:nElems
    tipo = 'Tracción';
    if elem_forces(e) < 0
        tipo = 'Compresión';
    end
    fprintf('  %2d      |   %8.3f      |   %8.2f      |   %8.2f      | %s\\n',
    ...
        e, L_e(e), elem_forces(e), elem_stresses(e)/1e3, tipo);
end
fprintf('=====\\n\\n');

%% -----
% 11. REACCIONES EN LOS APOYOS
% -----
fprintf('--- REACCIONES EN APOYOS ---\\n');
fprintf('Grado de libertad | Nodo | Dirección | Reacción (kN)\\n');
fprintf('-----\\n');

for d = fixed
    n = ceil(d/2); % número de nodo asociado al DOF
    if mod(d,2) == 1
        dir = 'X'; % desplazamiento horizontal
    else
        dir = 'Y'; % desplazamiento vertical
    end
    fprintf('      %2d          |   %d   |   %s   |   %+8.3f\\n', d, n,
    dir, R(d));
end
fprintf('-----\\n\\n');

%% Figura 5: Reacciones gráficas
figure(5); hold on; axis equal; grid on;
title('Figura 5: Reacciones en los apoyos (kN)');
for e = 1:nElems
    ni = elems(e,2); nj = elems(e,3);
    plot(coords([ni nj],1), coords([ni nj],2), 'k--','LineWidth',1.5);
end

arrow_scale = 200; % escala para las flechas
```



```
for d = fixed
    n = ceil(d/2);
    if mod(d,2) == 1
        % Reacción en X
        quiver(coords(n,1), coords(n,2), R(d)/arrow_scale, 0, ...
            'm','LineWidth',2,'MaxHeadSize',0.8);
        text(coords(n,1)+0.05, coords(n,2), ...
            sprintf('%.1f kN',R(d)), 'Color','m','FontWeight','bold');
    else
        % Reacción en Y
        quiver(coords(n,1), coords(n,2), 0, R(d)/arrow_scale, ...
            'm','LineWidth',2,'MaxHeadSize',0.8);
        text(coords(n,1), coords(n,2)+0.1, ...
            sprintf('%.1f kN',R(d)), 'Color','m','FontWeight','bold');
    end
end
legend({'Estructura','Reacciones'},'Location','bestoutside');
xlabel('x [m]'); ylabel('y [m]');
```

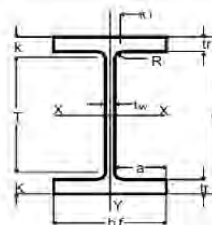


ANEXO C:

DIMENSIONES Y PROPIEDADES DE VIGAS DE ACERO

WIDE FLANGE SHAPES

15



Designator	Prime Section Grouping	Area A In. ²	Depth d In.	Web		Flange		Distance				Fillet Radius R In.	Elastic Properties				
				Thickness t _w In.	Width b _f In.	Thickness t _f In.	T In.	k In.	k ₁ In.	a In.	X - X S In. ³		r In.	Y - Y S In. ³	r In.		
W12 x 22	12 x 4	6.48	12.31	0.260	4.030	0.425	10.735	0.788	0.430	3.130	0.30	156	25.3	4.91	4.66	2.31	0.848
W12 x 19		5.57	12.16	0.235	4.005	0.350	10.735	0.713	0.418	1.885	0.30	130	21.3	4.82	3.76	1.88	0.822
W12 x 16		4.71	11.99	0.220	3.990	0.265	10.735	0.628	0.410	1.885	0.30	103	17.1	4.67	2.82	1.41	0.773
W10 x 112	10 x 10	32.9	11.36	0.755	10.415	1.250	7.735	1.813	0.878	4.830	0.50	716	126	4.67	236	45.2	2.68
W10 x 100		29.4	11.10	0.680	10.340	1.120	7.735	1.683	0.840	4.830	0.50	623	112	4.60	207	39.9	2.65
W10 x 88		25.8	10.84	0.605	10.265	0.990	7.735	1.553	0.803	4.830	0.50	534	98.4	4.55	179	34.8	2.63
W10 x 77		22.6	10.60	0.530	10.190	0.870	7.735	1.433	0.765	4.830	0.50	455	85.9	4.49	154	30.1	2.61
W10 x 68		19.9	10.40	0.470	10.130	0.770	7.735	1.333	0.735	4.830	0.50	394	75.7	4.45	134	26.3	2.59
W10 x 60		17.6	10.22	0.420	10.080	0.680	7.735	1.243	0.710	4.830	0.50	341	66.6	4.40	116	23.0	2.57
W10 x 54		15.8	10.09	0.370	10.030	0.615	7.735	1.178	0.685	4.830	0.50	303	60.0	4.38	103	20.6	2.56
W10 x 49		14.4	9.98	0.340	10.000	0.560	7.735	1.123	0.670	4.830	0.50	272	54.6	4.35	93.3	18.6	2.55
W10 x 45	10 x 8	13.2	10.10	0.350	8.020	0.620	7.735	1.183	0.675	3.835	0.50	248	49.1	4.33	53.3	13.2	2.01
W10 x 39		11.4	9.92	0.315	7.985	0.530	7.735	1.093	0.658	3.835	0.50	209	42.1	4.28	45.0	11.2	1.99
W10 x 33		9.71	9.73	0.290	7.960	0.435	7.735	0.998	0.645	3.835	0.50	171	35.0	4.19	36.6	9.20	1.94
W10 x 30	10 x 5-3/4	8.84	10.47	0.300	5.810	0.510	8.725	0.873	0.450	2.755	0.30	170	32.4	4.38	16.6	5.71	1.37
W10 x 26		7.61	10.33	0.260	5.770	0.440	8.725	0.803	0.430	2.755	0.30	144	27.9	4.35	14.1	4.89	1.36
W10 x 22		6.49	10.17	0.240	5.750	0.360	8.725	0.723	0.420	2.755	0.30	118	23.2	4.27	11.4	3.97	1.33
W8 x 67	8 x 8	19.6	9.00	0.570	8.280	0.935	6.205	1.398	0.685	3.855	0.40	272	60.3	3.72	88.5	21.3	2.12
W8 x 58		17.0	8.75	0.510	8.220	0.810	6.205	1.273	0.655	3.855	0.40	228	52.0	3.66	75.0	18.2	2.10
W8 x 48		14.1	8.50	0.400	8.110	0.685	6.205	1.148	0.600	3.855	0.40	184	43.2	3.61	60.9	15.0	2.08
W8 x 40		11.7	8.25	0.360	8.070	0.560	6.205	1.023	0.580	3.855	0.40	146	35.4	3.54	49.0	12.1	2.05
W8 x 35		10.2	8.12	0.310	8.020	0.495	6.205	0.958	0.555	3.855	0.40	127	31.1	3.52	42.5	10.5	2.04
W8 x 31		9.13	8.00	0.285	7.995	0.435	6.205	0.898	0.543	3.855	0.40	110	27.4	3.47	37.0	9.26	2.01
W8 x 28	8 x 6-1/2	8.25	8.06	0.285	6.535	0.465	6.205	0.928	0.543	3.125	0.40	98.0	24.3	3.45	21.6	6.61	1.62
W8 x 24		7.08	7.93	0.245	6.495	0.400	6.205	0.863	0.523	3.125	0.40	82.7	20.8	3.42	18.2	5.60	1.60
W8 x 21	8 x 5-1/4	6.22	8.28	0.250	5.270	0.400	6.555	0.863	0.525	2.510	0.40	76.0	18.3	3.49	9.77	3.71	1.25
W8 x 18		5.32	8.14	0.230	5.250	0.330	6.555	0.793	0.515	2.510	0.40	62.7	15.4	3.43	7.97	3.04	1.22
W6 x 25	6 x 6	7.34	6.38	0.320	6.080	0.455	4.845	0.768	0.410	2.880	0.25	53.4	16.7	2.70	17.0	5.59	1.52
W6 x 20		5.87	6.20	0.260	6.020	0.365	4.845	0.678	0.380	2.880	0.25	41.3	13.3	2.65	13.2	4.39	1.50
W6 x 15		4.43	5.99	0.230	5.990	0.260	4.845	0.573	0.365	2.880	0.25	29.1	9.72	2.56	9.32	3.11	1.45
W14 x 22		6.51	13.74	0.230	5.000	0.335	12.085	0.828	0.545	2.385	0.43	200	29.0	5.54	7.00	2.80	1.04
W12 x 152	12 x 12	44.7	13.71	0.870	12.480	1.400	9.585	2.063	1.035	2.385	0.60	1430	209	5.66	454	72.7	3.19
W12 x 138		39.9	13.41	0.790	12.400	1.250	9.585	1.913	0.995	5.805	0.60	1240	185	5.57	398	64.1	3.16
W12 x 120		35.2	13.12	0.710	12.320	1.105	9.585	1.768	0.955	5.805	0.60	1070	163	5.51	345	55.9	3.13
W12 x 106		31.1	12.89	0.610	12.220	0.990	9.585	1.653	0.905	5.805	0.60	933	145	5.48	301	49.3	3.11
W12 x 96		28.1	12.71	0.550	12.160	0.900	9.585	1.563	0.875	5.805	0.60	833	131	5.44	270	44.3	3.10
W12 x 87		25.5	12.53	0.515	12.125	0.810	9.585	1.473	0.858	5.805	0.60	740	118	5.39	241	39.7	3.07
W12 x 79		23.1	12.38	0.470	12.080	0.735	9.585	1.398	0.835	5.805	0.60	662	107	5.36	216	35.7	3.06
W12 x 72		21.1	12.25	0.430	12.040	0.670	9.585	1.333	0.815	5.805	0.60	597	97.4	5.32	195	32.3	3.04
W12 x 65		19.0	12.12	0.390	12.000	0.605	9.585	1.268	0.795	5.805	0.60	533	87.9	5.30	174	29.0	3.03
W12 x 58	12 x 10	17.0	12.19	0.360	10.010	0.640	9.585	1.303	0.780	5.805	0.60	475	78.0	5.29	107	21.3	2.51
W12 x 53		15.5	12.06	0.345	9.995	0.575	9.585	1.238	0.773	4.825	0.60	425	70.5	5.24	95.7	19.1	2.48
W12 x 50	12 x 8	14.6	12.19	0.370	8.080	0.640	9.585	1.303	0.785	4.825	0.60	394	64.6	5.20	56.3	13.9	1.96
W12 x 45		13.2	12.06	0.335	8.045	0.575	9.585	1.238	0.768	3.855	0.60	350	58.1	5.15	49.9	12.4	1.94
W12 x 40		11.7	11.94	0.295	8.005	0.515	9.585	1.178	0.748	3.855	0.60	310	51.9	5.15	44.0	10.9	1.94
W12 x 35	12 x 6-1/2	10.3	12.50	0.300	6.560	0.520	10.735	0.883	0.450	3.855	0.30	285	45.6	5.26	24.4	7.44	1.54
W12 x 30		8.79	12.34	0.260	6.520	0.440	10.735	0.803	0.430	3.130	0.30	238	38.6	5.21	20.3	6.23	1.52



ANEXO D:

RESUMEN DE COSTOS

SOPORTE ESTRUCTURAL PARA EL EJE PRINCIPAL DE LA CHANCADORA GIRATORIA FLSMIDTH

Ítem	Descripción	Und	Cantidad	PU (USD)	Parcial (USD)	Total (USD)
I.	COSTO DIRECTO (CD)					
01	INGENIERÍA Y DISEÑO					6,045.00
01.01	Trazo y replanteo	glb	1.00	1,540.00	1,540.00	
01.02	Elaboración de ingeniería de detalle y planos de fabricación	glb	1.00	3,765.00	3,765.00	
01.03	Memoria de cálculo	glb	1.00	740.00	740.00	
02	COSTO DE MATERIALES					13,822.70
02.01	Suministro perfil de acero W12X50 y W10X33	kg	4,162.46	1.45	6,035.57	
02.02	Suministro perfil de poliamida W6x20	kg	168.70	12.50	2,108.75	
02.03	Suministro plancha estructural LAC	kg	2,586.91	1.35	3,492.33	
02.04	Suministro eje sólido ASTM A-36	kg	8.70	1.80	15.66	
02.05	Suministro pernos, tuercas, arandelas	kg	31.05	4.50	139.73	
02.06	Suministro de consumibles	glb	1	2,030.67	2,030.67	
03	COSTO DE FABRICACIÓN					19,629.03
03.01	Habilitación y Fabricación de estructura en acero	kg	6,758.07	2.10	14,191.95	
03.02	Habilitación de perfil en poliamida	kg	168.70	1.90	320.53	
03.03	Preparación superficial (arenado SP-6)	kg	6,758.07	0.35	2,365.32	
03.04	Tratamiento superficial (pintura epóxica 8 mils)	kg	6,758.07	0.40	2,703.23	
03.05	Embalado de estructura	m	80.00	0.60	48.00	
04	COSTO DE INSTALACIÓN					1,350.50
04.01	Montaje e instalación del soporte estructural (ensamblado)	glb	1.00	1,350.50	1,350.50	
						39,044.56
II.	COSTO INDIRECTO (CI)					2,851.55
	GESTIÓN Y SUPERVISIÓN	glb	1	675.40	675.40	
	LOGISTICA Y TRANSPORTE	glb	1	745.50	745.50	
	SEGURIDAD	glb	1	365.00	365.00	
	GASTOS GENERALES	glb	1	1,065.65	1065.65	
	COSTO INDIRECTO CI)					2,851.55
III	COSTO TOTAL - USD					43,698.78



ANEXO E:

SECUENCIA USO DEL SOPORTE

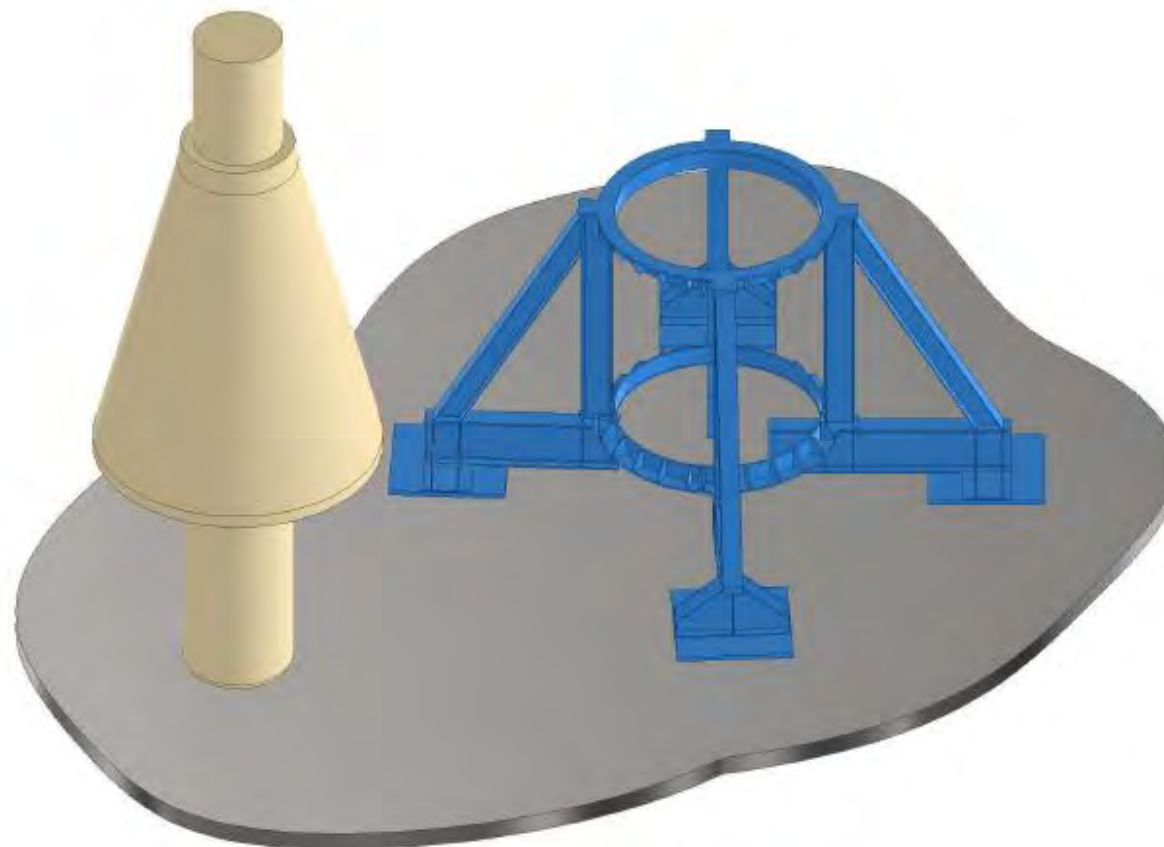


Figura 1.

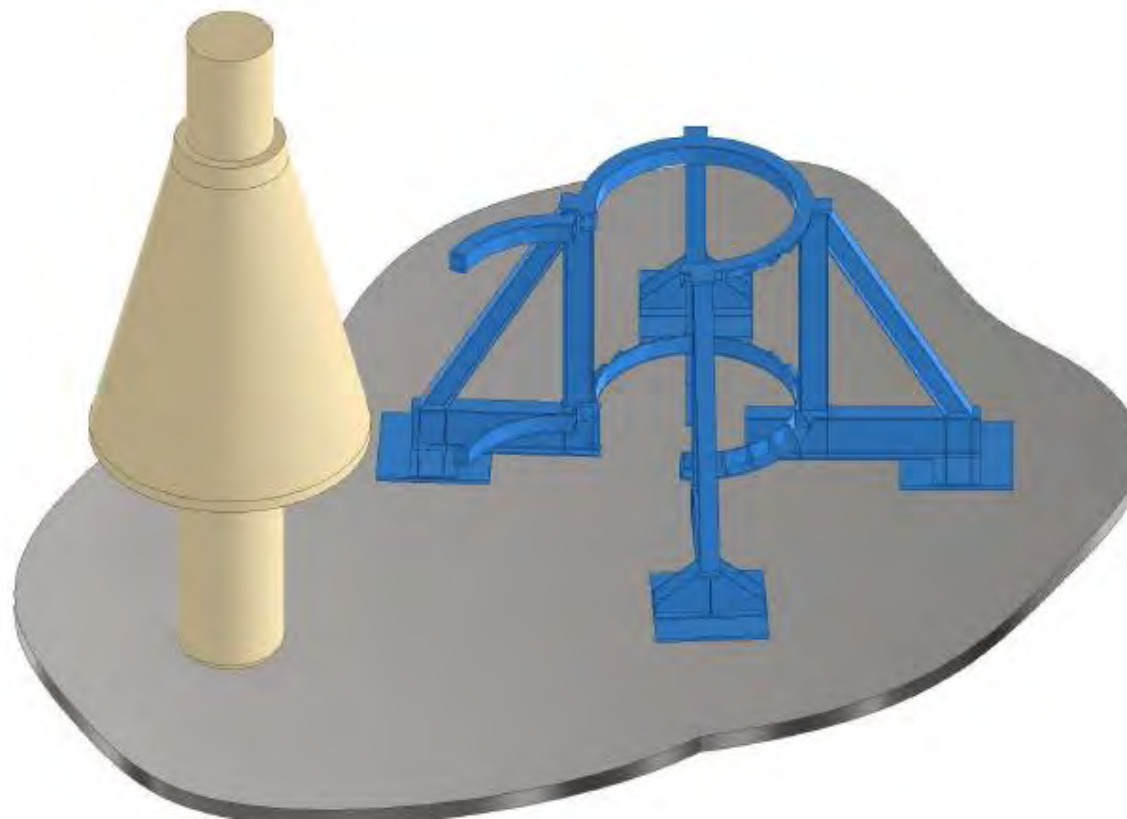


Figura 2

Ítem 3

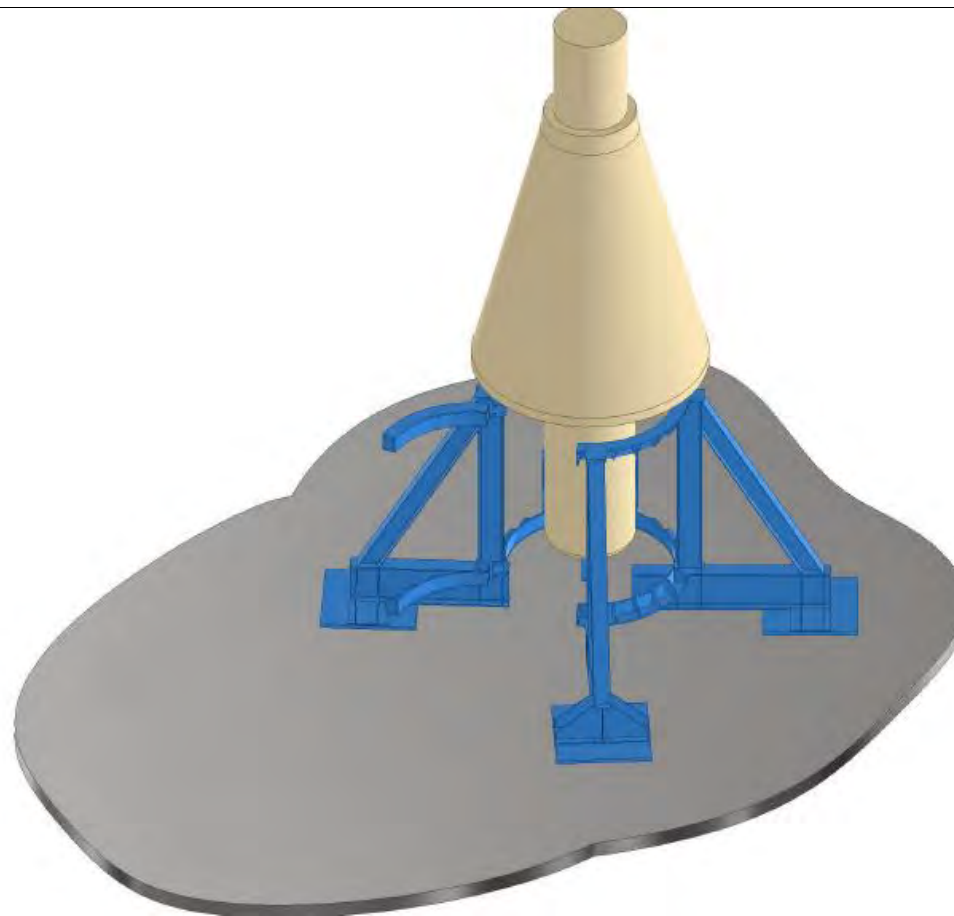


Figura 3

Ítem 4

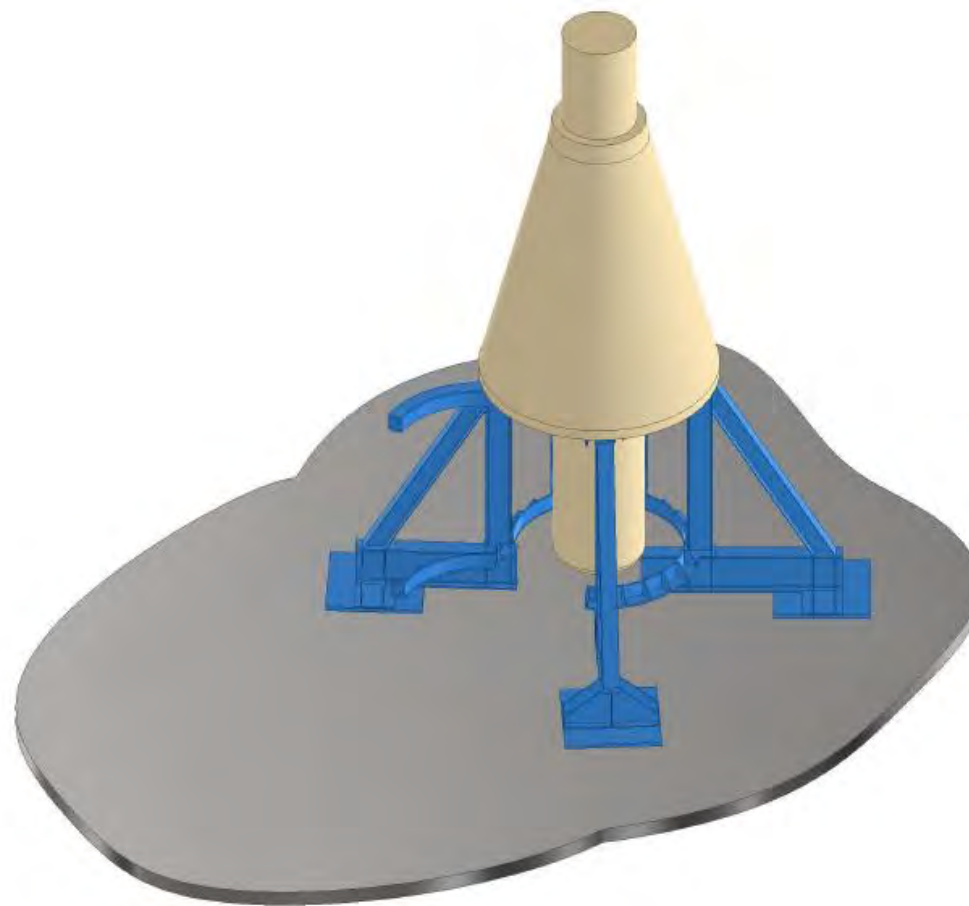


Figura 4

Ítem 5

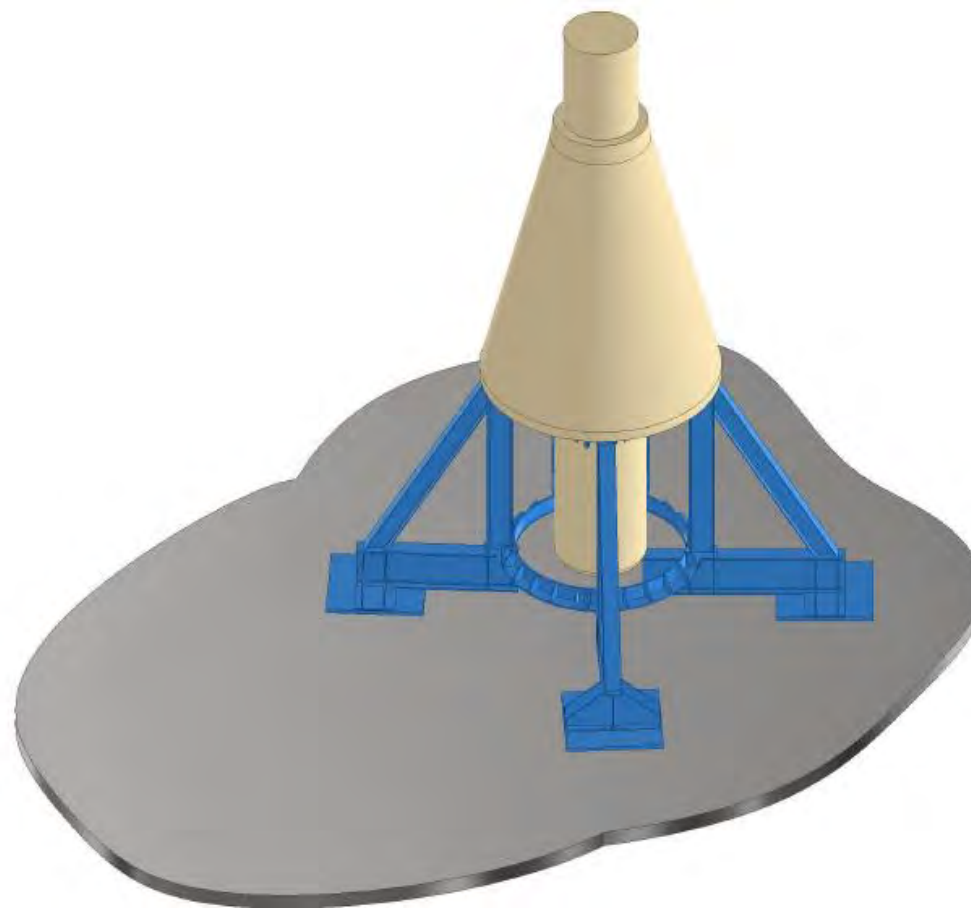


Figura 5

Ítem 6

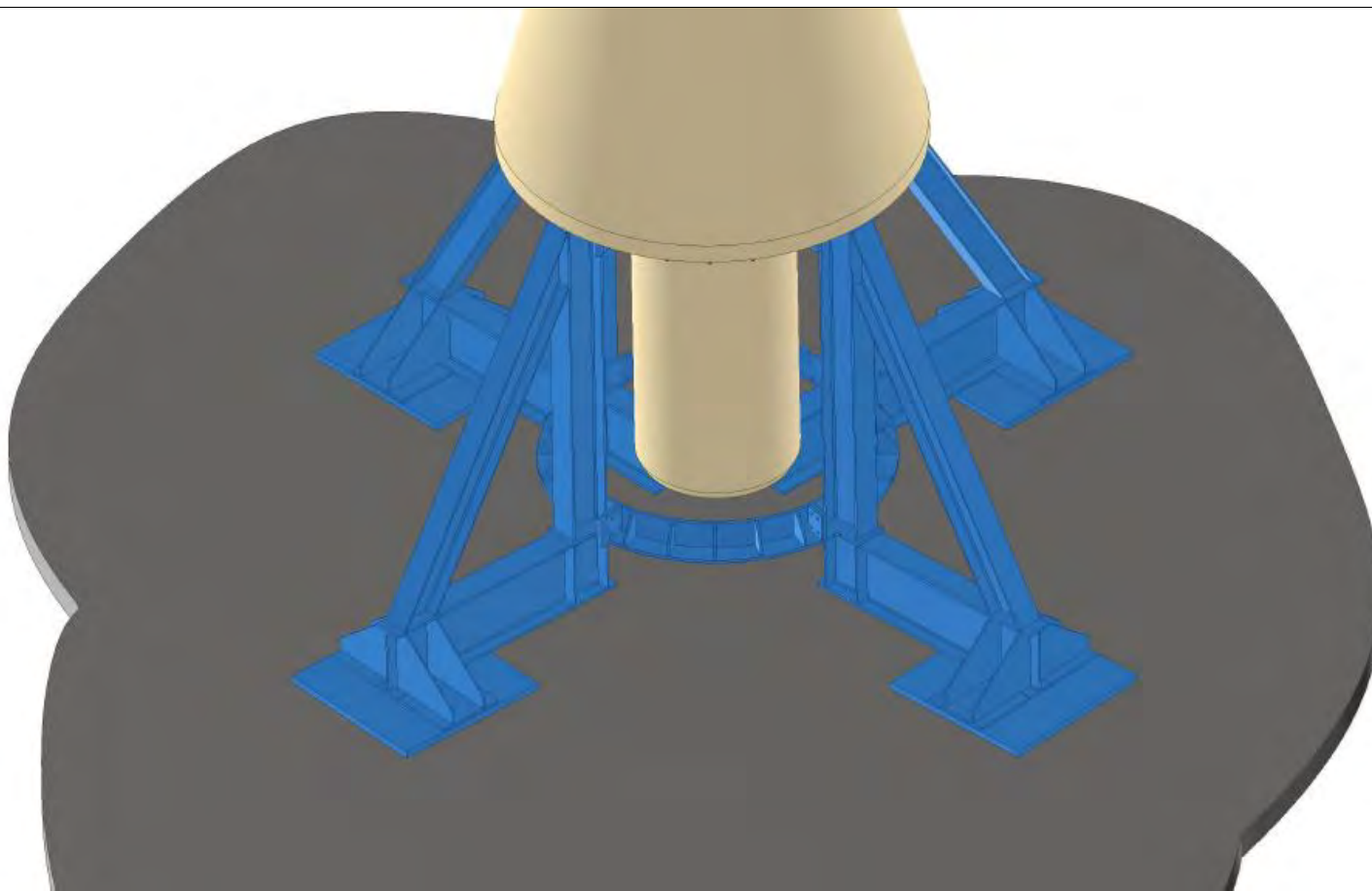


Figura 6

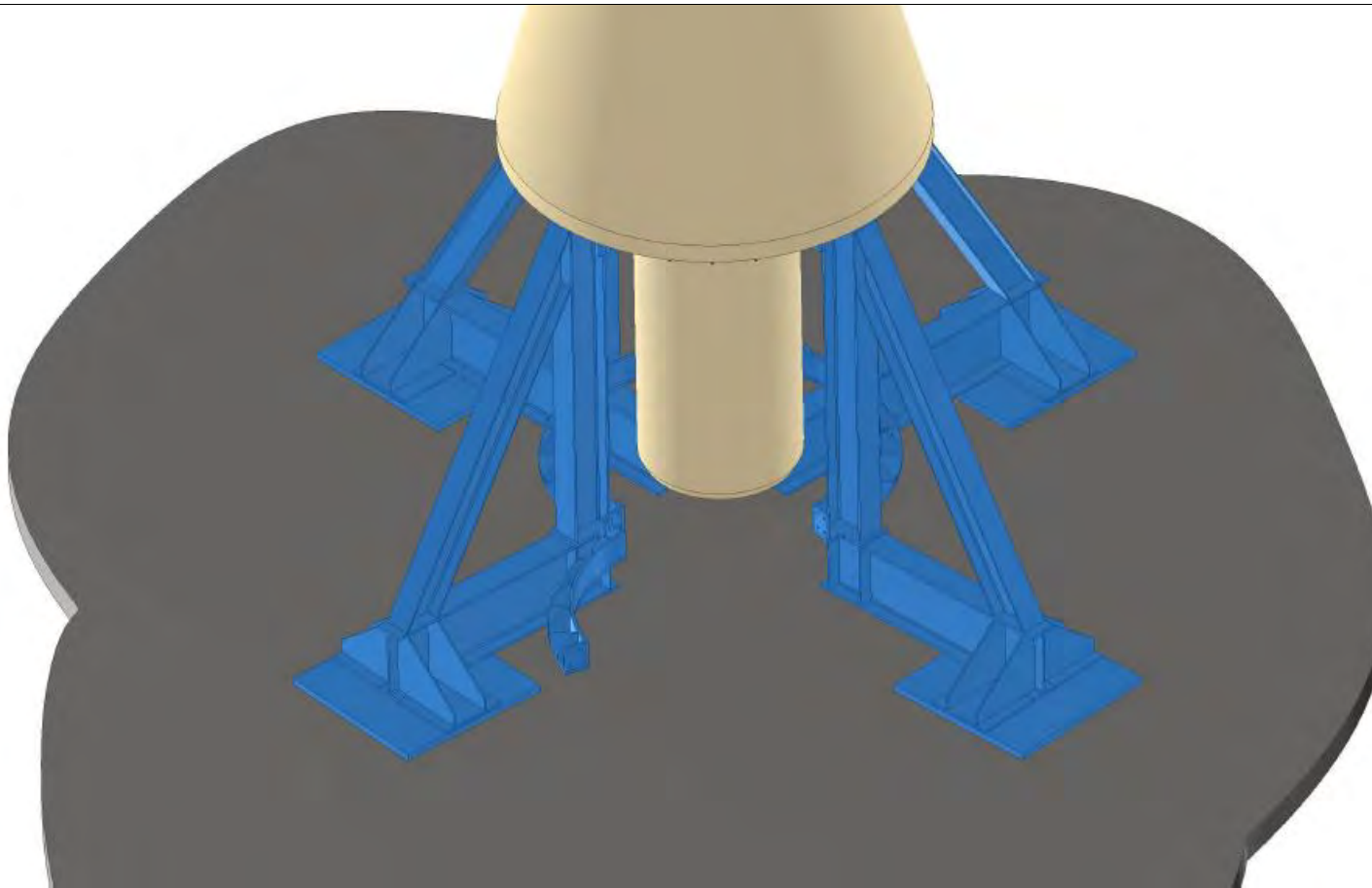


Figura 7

Ítem 8

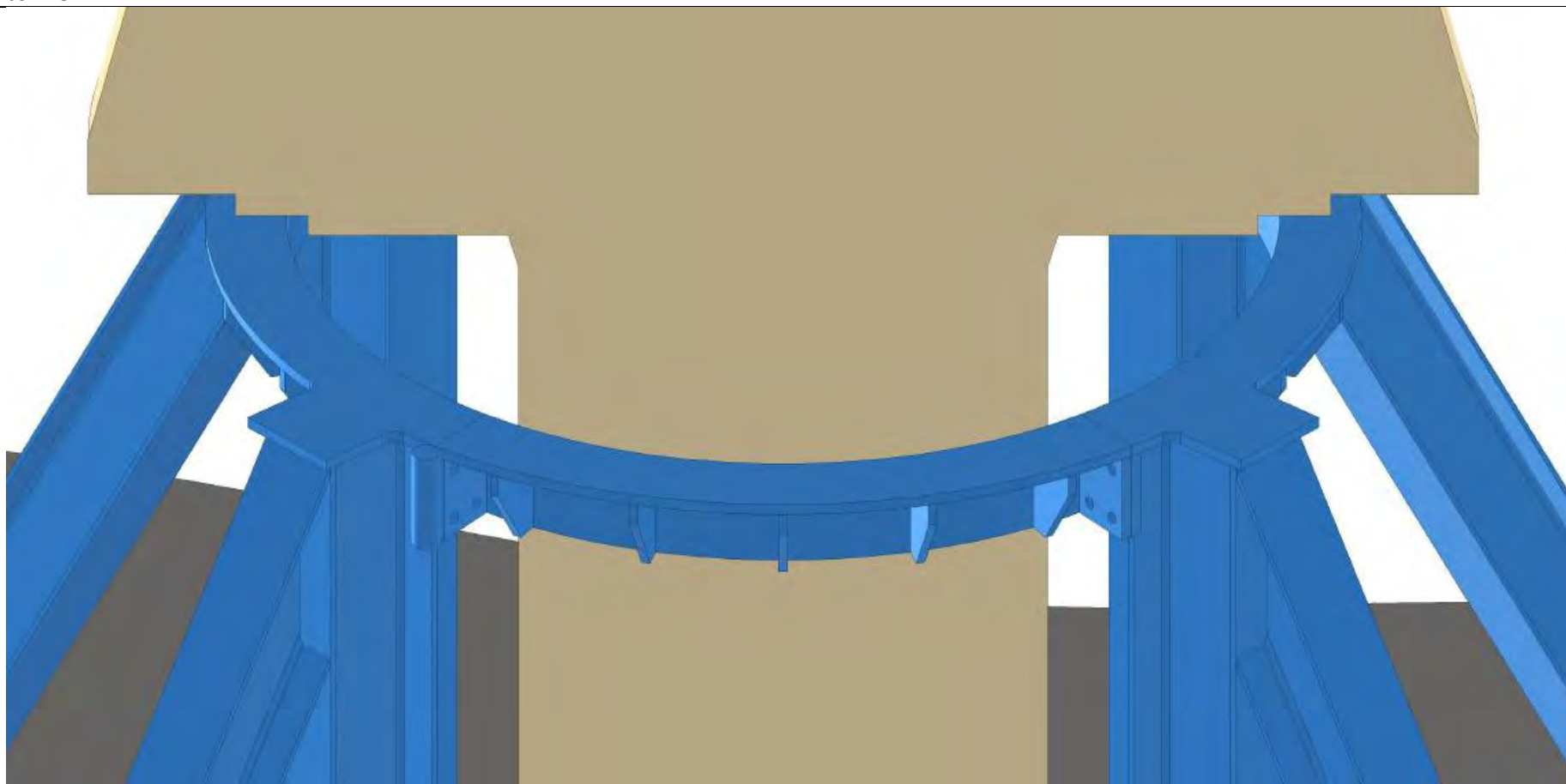


Figura 8

Item 9

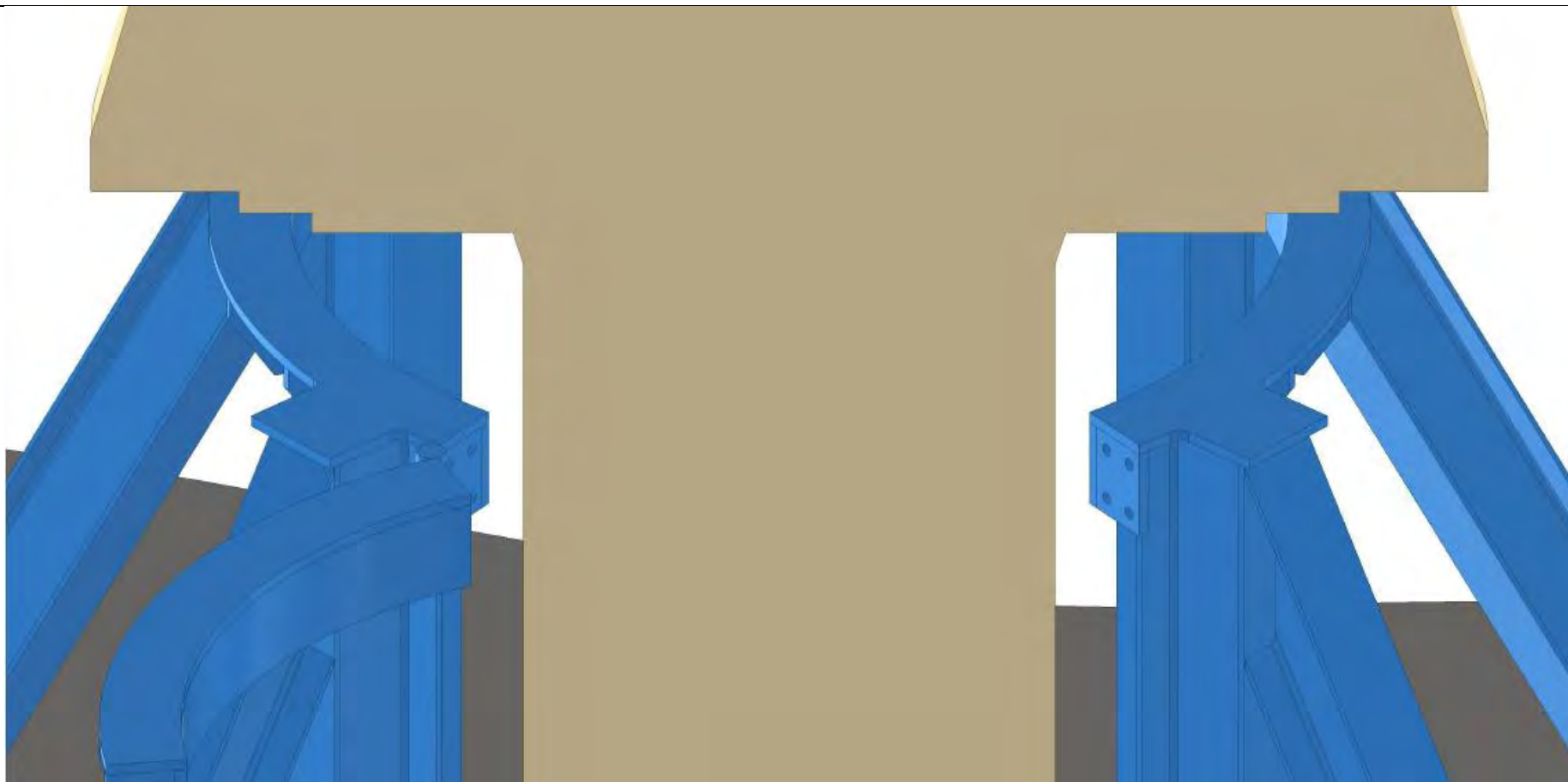
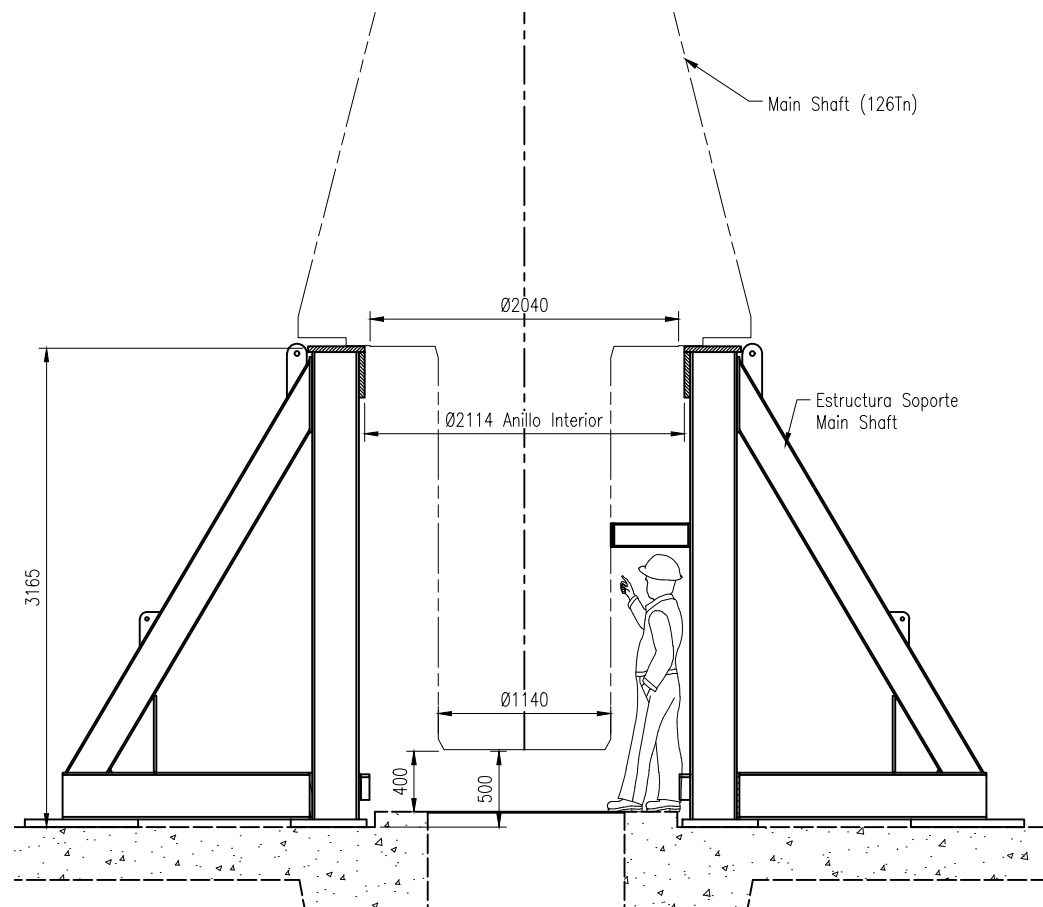
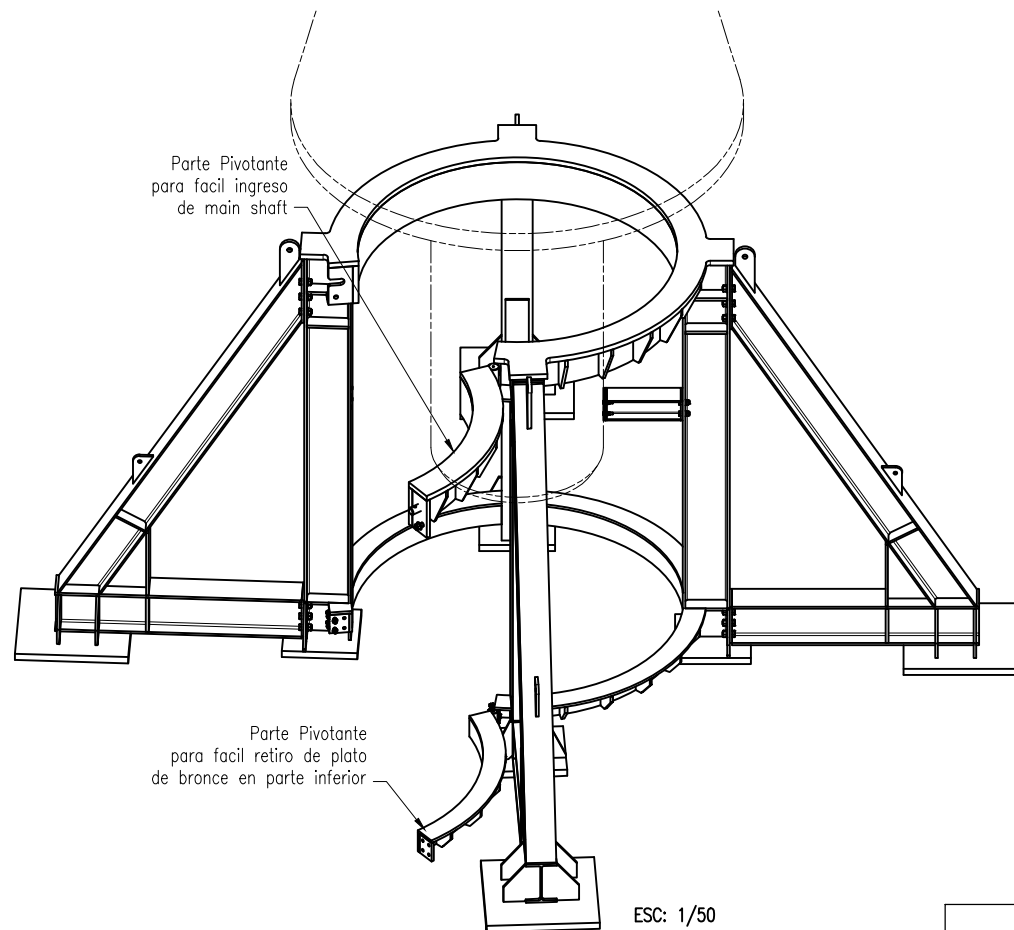


Figura 9

ANEXO F:
PLANOS DE FABRICACIÓN



SECCIÓN A
ESCALA 1:50



ESC: 1/50

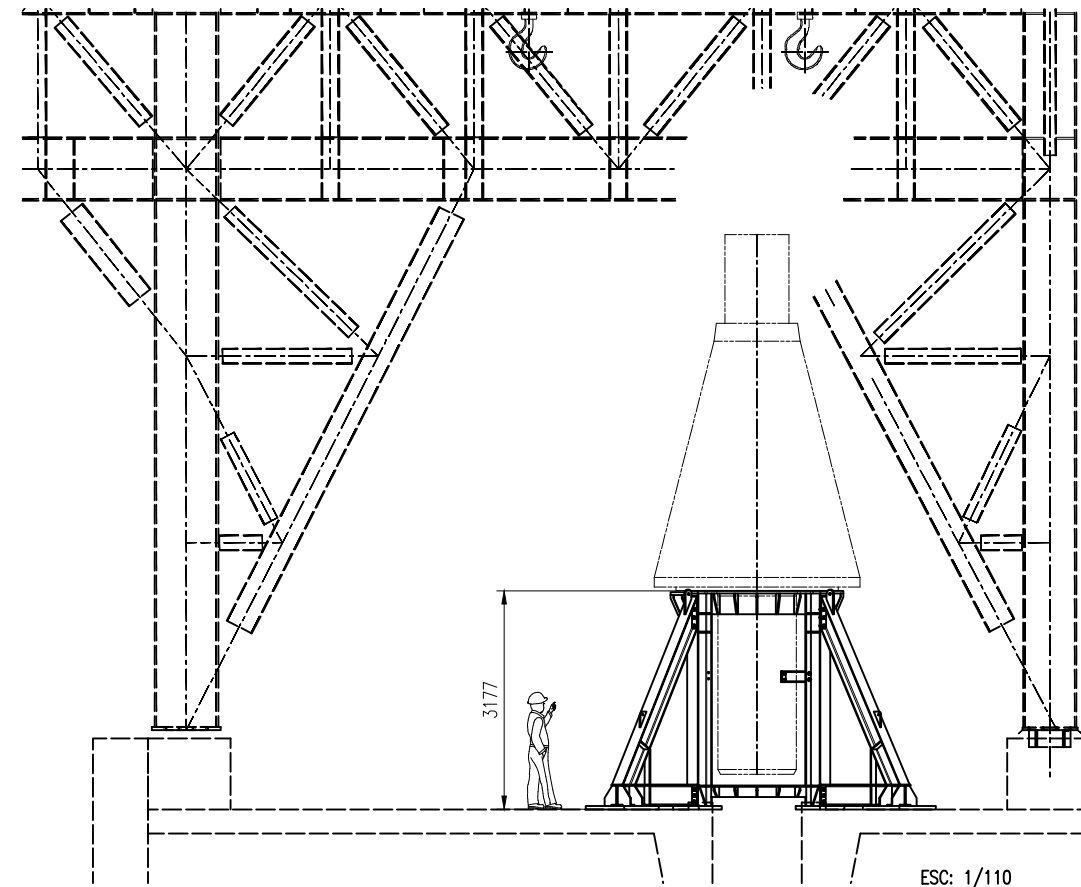
Nota:
La estructura soporte de Mainshaft solo se usara
para el cambio del sello de polvo y anillo de empuje

ESPECIFICACIONES TECNICAS

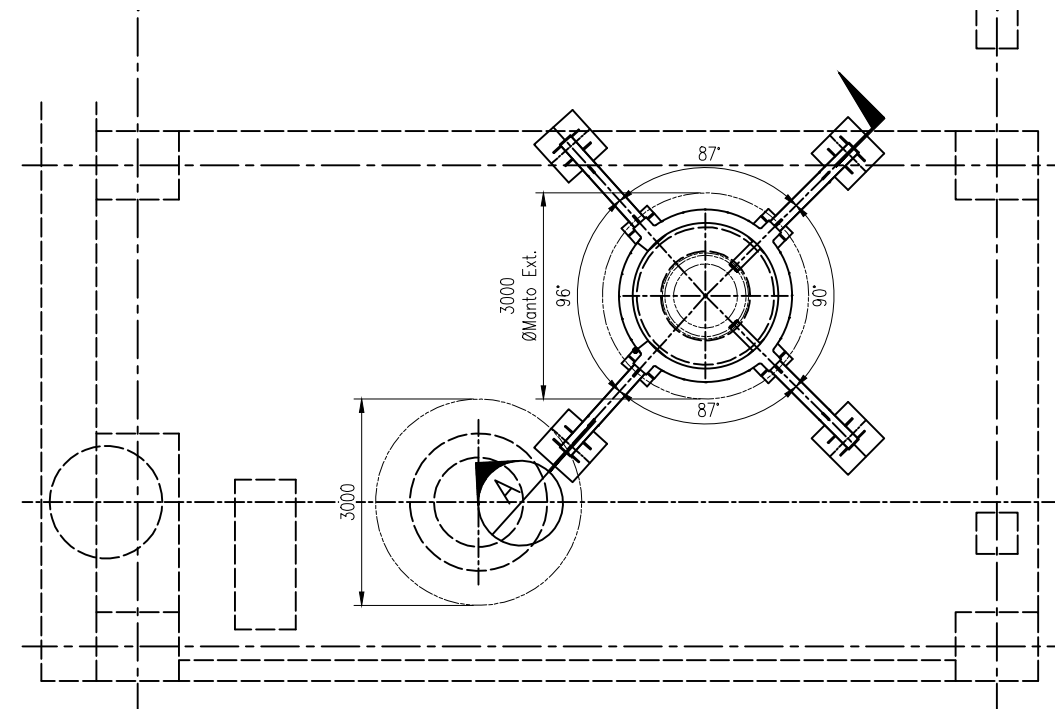
ACERO

— PLANCHAS Y PERFILES LAMINADOS, ASTM A36

Fy = 2,530 kg/cm2



ESC: 1/110



ESC: 1/110

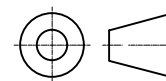


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



METODO DE PROYECCION:
TERCER ANGULO



"DISEÑO DE UN SOPORTE ESTRUCTURAL PARA UNA CARGA DE 126 TONELADAS DEL EJE
PRINCIPAL DE LA CHANCADORA GIRATORIA FLSMITH 60" X130" PARA REDUCIR LOS COSTOS DE
MANTENIMIENTO"

ESTRUCTURA SOPORTE PARA EL EJE
PRINCIPAL

ESCALA:

INDICADA

ALUMNO:

Bach. PUMA POLANCO, Herles Marco

FECHA:

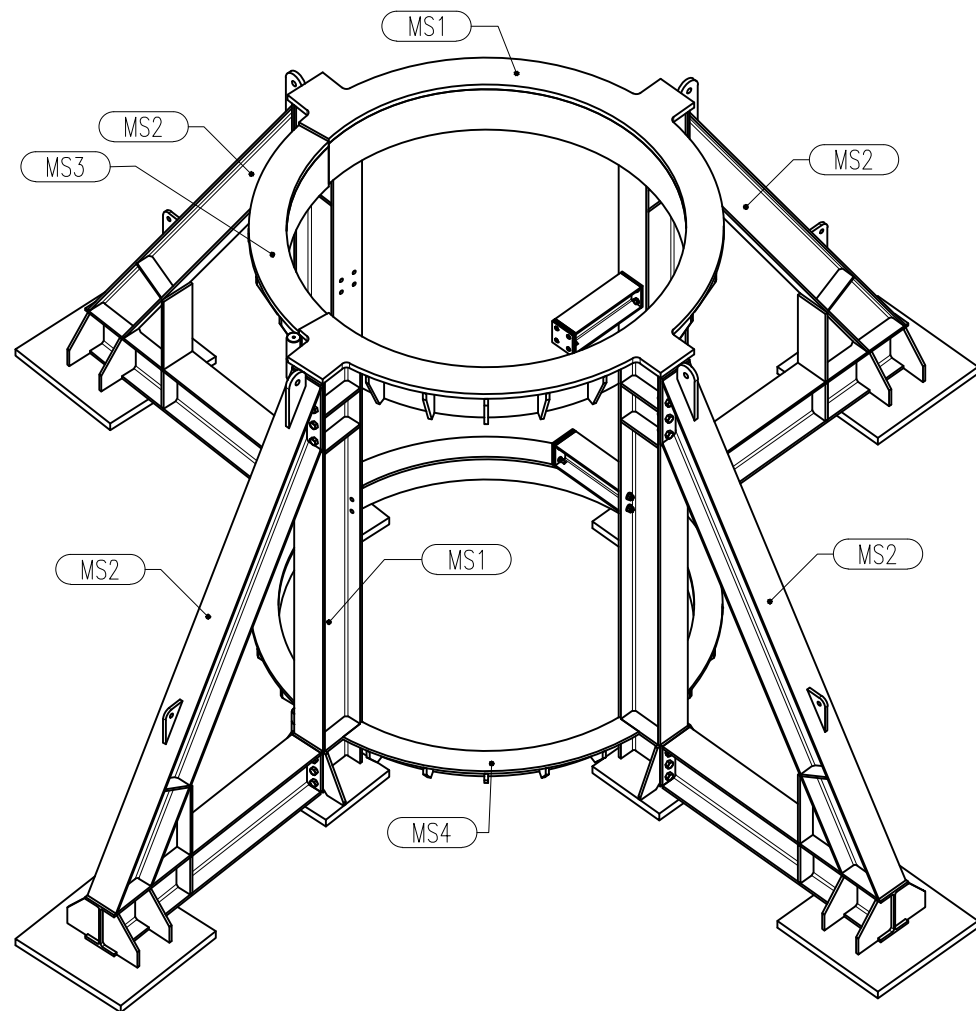
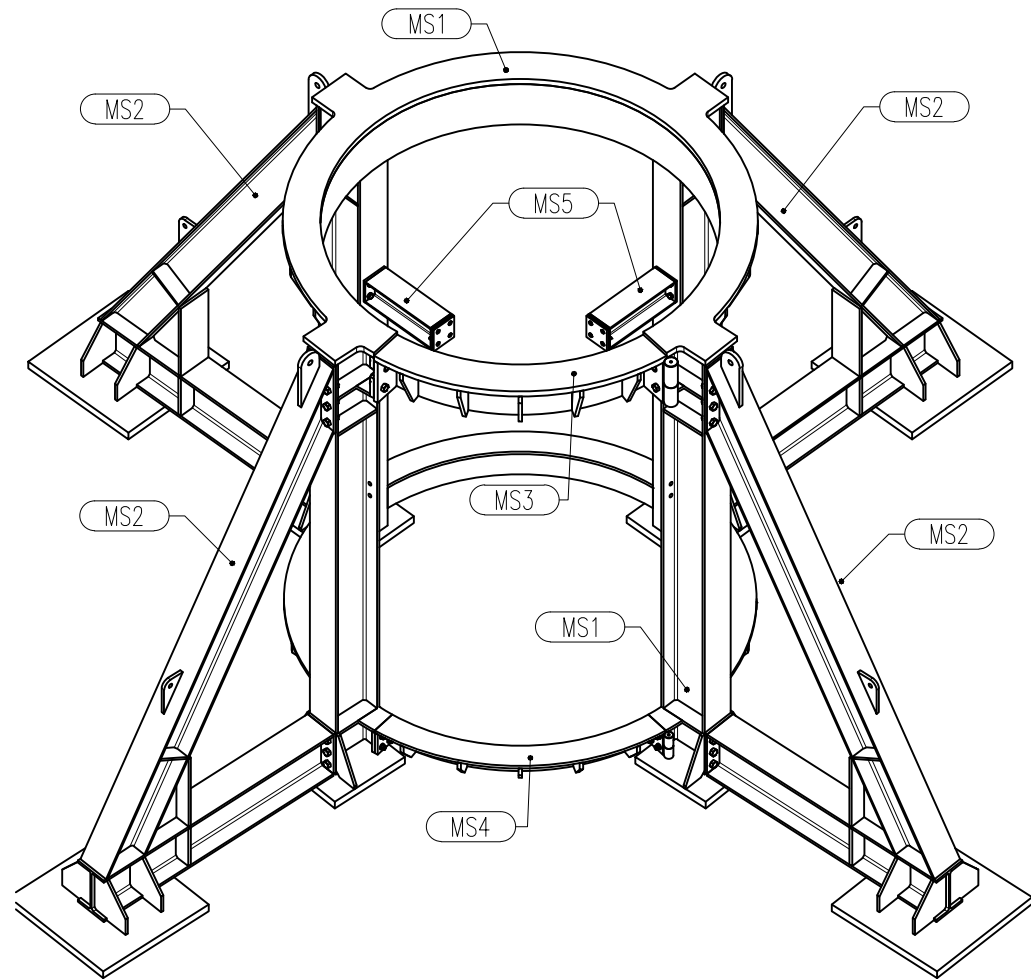
15/06/2026

ASESOR:

Mgt. MACEDO SILVA, Arturo

LAMINA:

1/9



ISOMETRICO ESTRUCTURA SOPORTE MAIN SHAFT
ESC: 1/40

LISTA DE COMPONENTES PRINCIPALES

ITEM	CANT.	DESCRIPCION	MARCA	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
1	1	Estructura W12x50	MS1	AISC-360	ASTM-A36	-
2	4	Estructura W10x33	MS2	AISC-360	ASTM-A36	-
3	1	Estructura Plancha 38mm.	MS3	AISC-360	ASTM-A36	-
4	1	Estructura Plancha 19mm.	MS4	AISC-360	ASTM-A36	-
5	2	Estructura W6x20/Poliamida	MS5	AISC-360/ ASTM D4066	ASTM-A36/POLIAMIDA	-

RESUMEN DE METRADOS

ITEM	DESCRIPCION	MARCA	"LONG. (m)"	CANT.	PESO (Kg)	
					UNIT.	TOTAL
1	Estructura W12x50	MS1	-	1	2665.51	2665.51
2	Estructura W10x33	MS2	-	4	572.36	2289.44
3	Estructura Plancha 38mm.	MS3	-	1	267.34	267.34
4	Estructura Plancha 19mm.	MS4	-	1	85.64	85.64
5	Estructura W6x20/Poliamida	MS5	-	2	19.19	38.36
PESO TOTAL (Kg)						5346.29

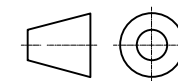


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



METODO DE PROYECCION:



"DISEÑO DE UN SOPORTE ESTRUCTURAL PARA UNA CARGA DE 126 TONELADAS DEL EJE PRINCIPAL DE LA CHANCADORA GIRATORIA FLSMITH 60" X130" PARA REDUCIR LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO"

ISOMETRICO ESTRUCTURA SOPORTE PARA
EL EJE PRINCIPAL

ESCALA:

INDICADA

ALUMNO:

Bach. PUMA POLANCO, Herles Marco

FECHA:

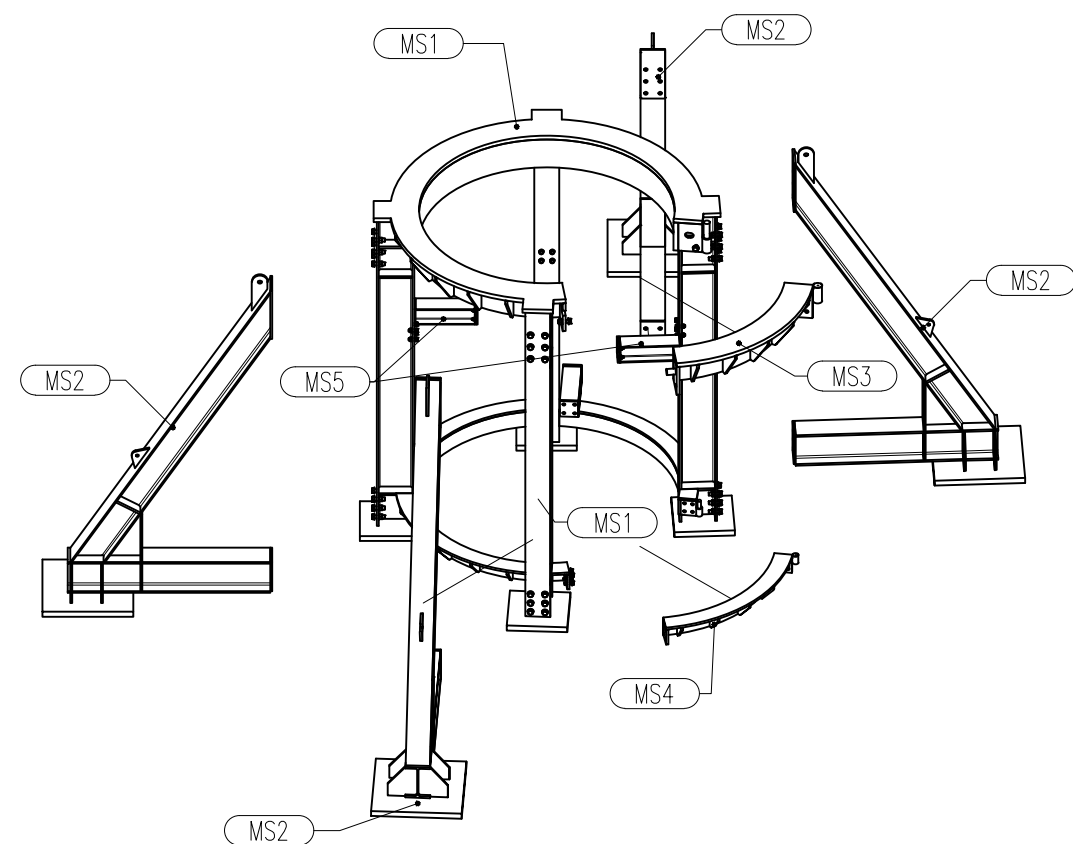
15/06/2026

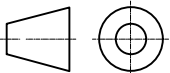
ASESOR:

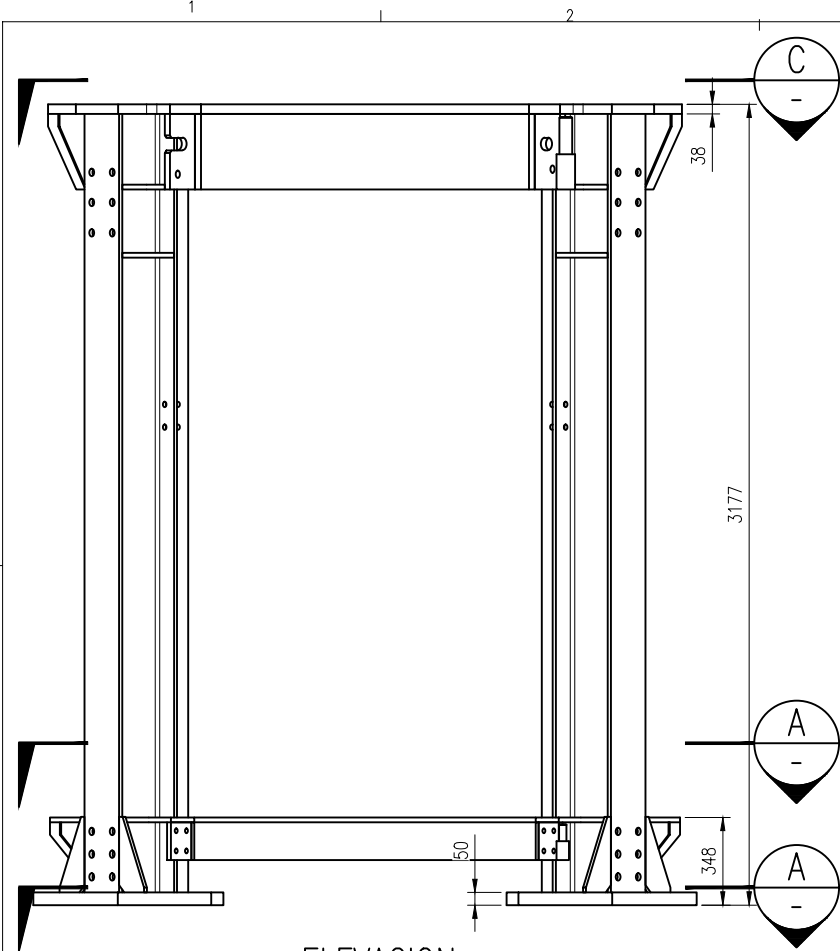
Mgt. MACEDO SILVA, Arturo

LAMINA:

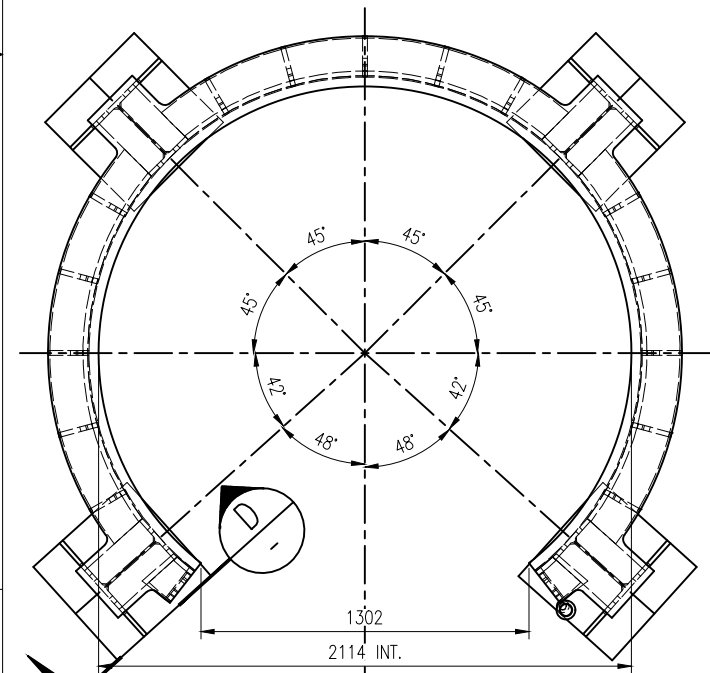
2/9



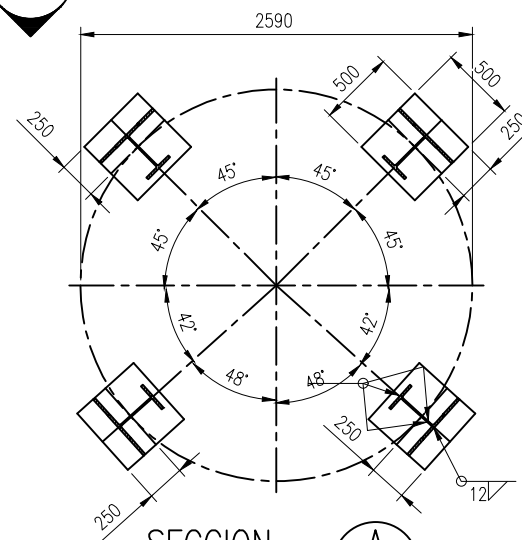
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA		
METODO DE PROYECCION: 	"DISEÑO DE UN SOPORTE ESTRUCTURAL PARA UNA CARGA DE 126 TONELADAS DEL EJE PRINCIPAL DE LA CHANCADORA GIRATORIA FLSMITH 60" X130" PARA REDUCIR LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO" ISOMETRICO ESTRUCTURA SOPORTE PARA EL EJE PRINCIPAL	ESCALA: INDICADA
ALUMNO: Bach. PUMA POLANCO, Herles Marco		FECHA: 15/06/2022
ASESOR: Mgt. MACEDO SILVA, Arturo		LAMINA: 3/9



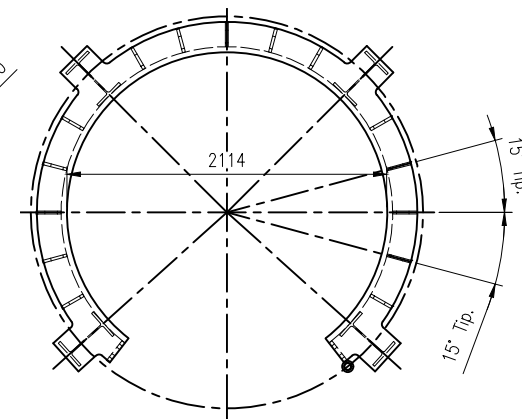
ELEVACION
ESC: 1/30



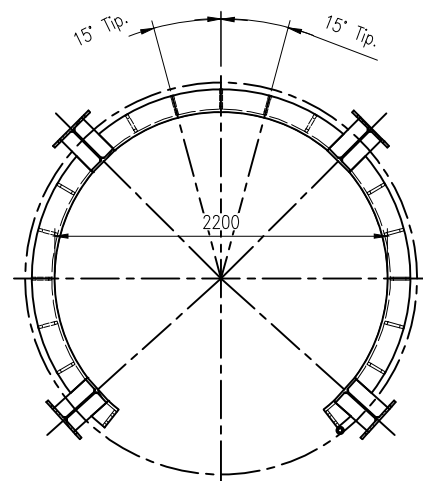
PLANTA
ESC: 1/30



SECCION A

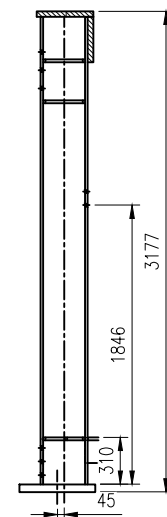


SECCION C



SECCION B

SECCION D

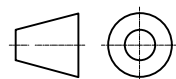


METRADO						
ITEM	DESCRIPCION	MARCA	"LONG. (m)"	CANT.	PESO (Kg)	
					UNIT.	TOTAL
1	Viga W12x50 ASTM A36	w1	10.6	4	56.83	227.30
2	Plancha 38mm. ASTM A36	p3	—	1	694.98	694.98
3	Plancha 38mm. ASTM A36	p2	—	1	777.33	777.33
4	Plancha 50mm. ASTM A36	p1	—	4	74.53	298.10
5	Plancha 25mm. ASTM A36	p38	—	1	18.90	18.90
6	Plancha 19mm. ASTM A36	p28	—	2	14.30	28.60
7	Plancha 19mm. ASTM A36	p30	—	2	13.05	26.10
8	Plancha 19mm. ASTM A36	p29	—	2	1.15	2.30
9	Plancha 19mm. ASTM A36	p12	—	15	5.20	78.00
10	Plancha 19mm. ASTM A36	p11	—	2	0.90	1.80
11	Plancha 19mm. ASTM A36	p9	—	15	4.33	65.00
12	Plancha 19mm. ASTM A36	p8	—	2	52.85	105.70
13	Plancha 19mm. ASTM A36	p7	—	1	108.90	108.90
14	Plancha 19mm. ASTM A36	p6	—	24	4.60	110.40
15	Plancha 19mm. ASTM A36	p5	—	1	36.80	36.80
16	Plancha 19mm. ASTM A36	p4	—	2	16.60	33.20
17	Plancha 16mm. ASTM A36	p21	—	8	4.38	35.00
18	Eje Ø3" ASTM A36	p24	—	1	7.10	7.10
19	Eje Ø2" ASTM A36	p31	—	1	1.60	1.60
20	Plancha 25mm. ASTM A36	p39	—	1	8.40	8.40
PESO TOTAL (Kg)						2665.51



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



METODO DE PROYECCION:


DISEÑO DE UN SOPORTE ESTRUCTURAL PARA UNA CARGA DE 126 TONELADAS DEL EJE PRINCIPAL DE LA CHANCADORA GIRATORIA FLSMITH 60" X130" PARA REDUCIR LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO

ALUMNO:
Bach. PUMA POLANCO, Herles Marco

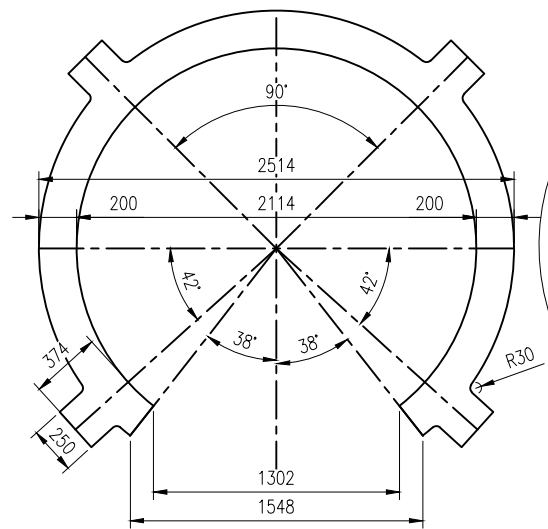
ASESOR:
Mgt. MACEDO SILVA, Arturo

ENSAMBLE CONJUNTO MS1 – SOPORTE ESTRUCTURAL

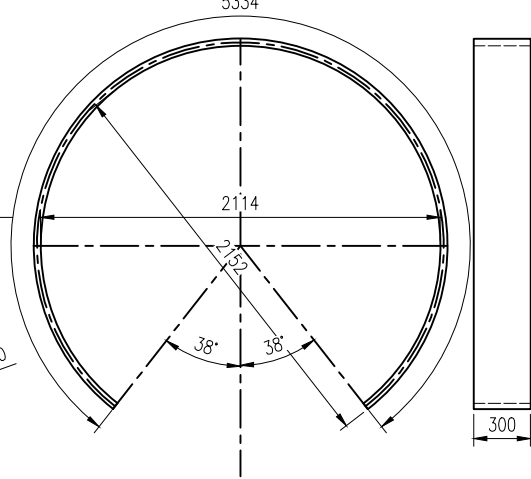
ESCALA:
INDICADA

FECHA:
15/06/2026

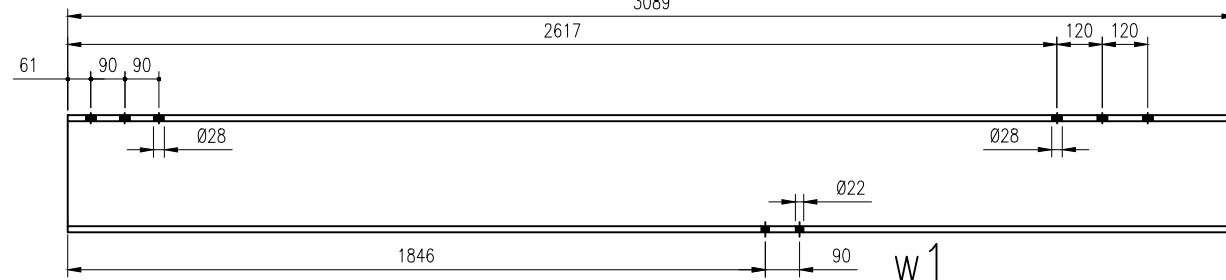
LAMINA:
4/9



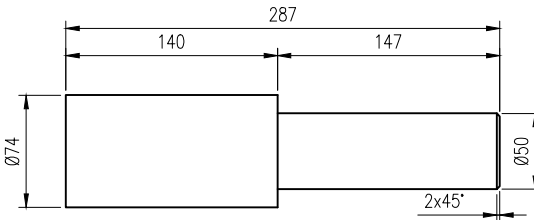
p3
MATERIAL: PL. 38mm A36
CANTIDAD: 01 UNIDADES
ESCALA: 1/40



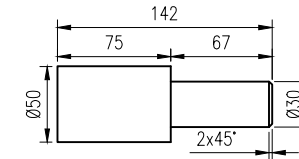
p2
MATERIAL: PL. 38mm A36
CANTIDAD: 01 UNIDADES
ESCALA: 1/40



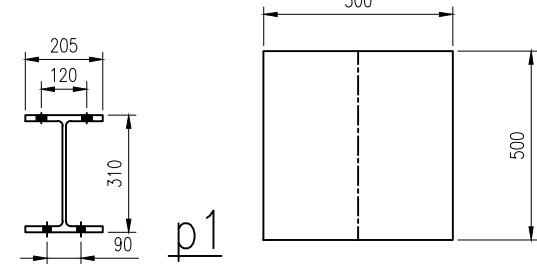
w1
MATERIAL: W12x50 A36
CANTIDAD: 04 UNIDADES
ESCALA: 1/20



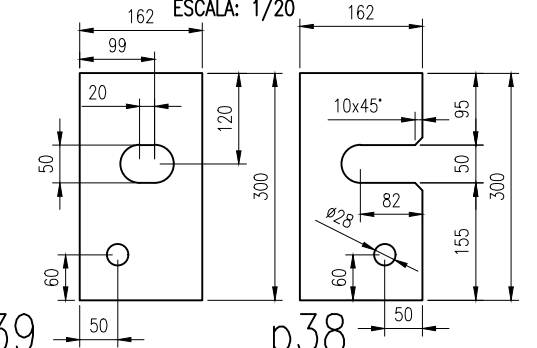
p24 (Bisagra)
MATERIAL: Eje Ø3" A36
CANTIDAD: 01 UNIDADES
ESCALA: 1/5



p31 (Bisagra)
MATERIAL: Eje Ø2" A36
CANTIDAD: 01 UNIDADES
ESCALA: 1/5

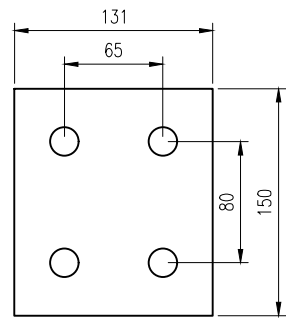


p1
MATERIAL: PL. 50mm A36
CANTIDAD: 04 UNIDADES
ESCALA: 1/20

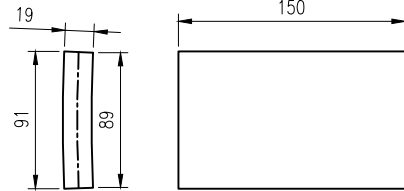


p39
MATERIAL: PL. 25mm A36
CANTIDAD: 01 UNIDADES
ESCALA: 1/10

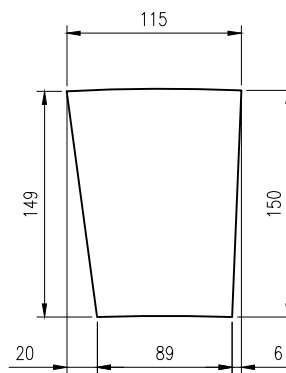
p38
MATERIAL: PL. 25mm A36
CANTIDAD: 01 UNIDADES
ESCALA: 1/10



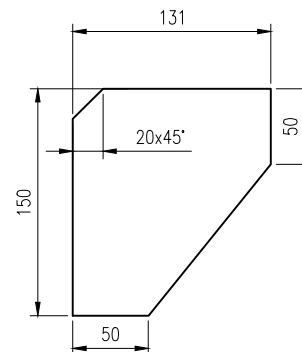
p28
MATERIAL: PL. 19mm A36
CANTIDAD: 02 UNIDADES
ESCALA: 1/5



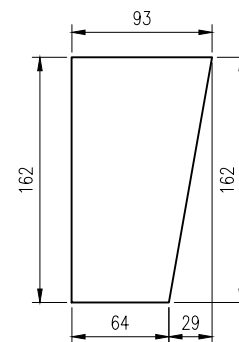
p30
MATERIAL: PL. 19mm A36
CANTIDAD: 02 UNIDADES
ESCALA: 1/5



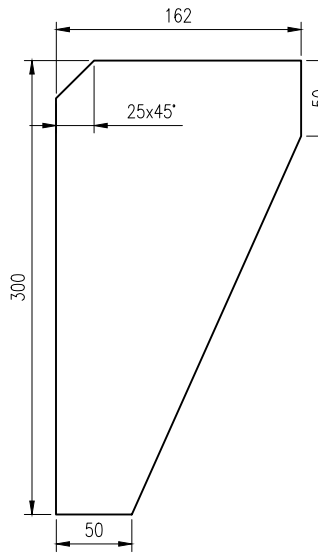
p29
MATERIAL: PL. 19mm A36
CANTIDAD: 02 UNIDADES
ESCALA: 1/5



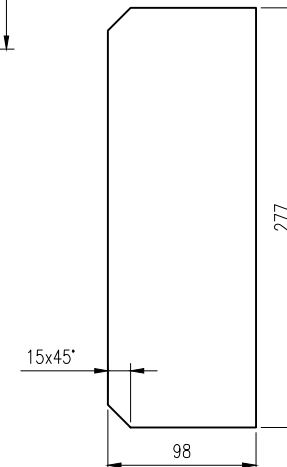
p12
MATERIAL: PL. 19mm A36
CANTIDAD: 15 UNIDADES
ESCALA: 1/5



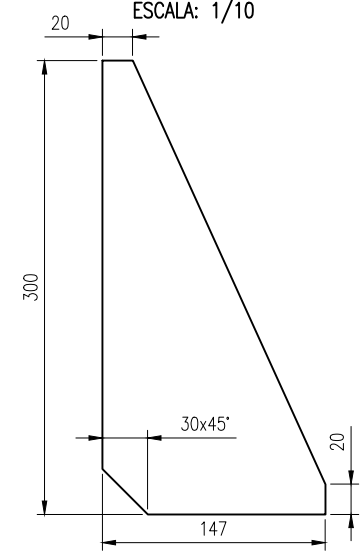
p11
MATERIAL: PL. 19mm A36
CANTIDAD: 02 UNIDADES
ESCALA: 1/5



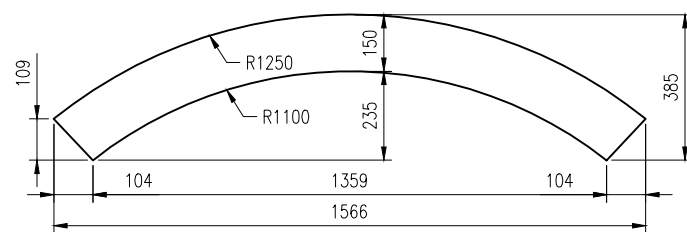
p9
MATERIAL: PL. 19mm A36
CANTIDAD: 15 UNIDADES
ESCALA: 1/5



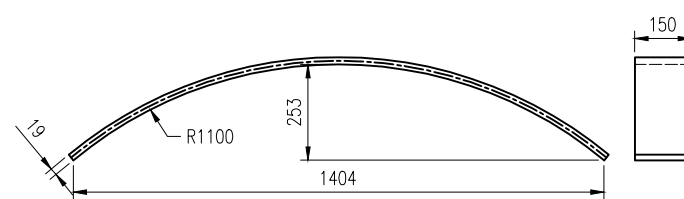
p6
MATERIAL: PL. 19mm A36
CANTIDAD: 24 UNIDADES
ESCALA: 1/5



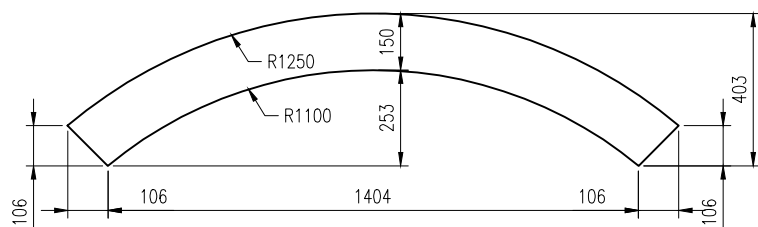
p21
MATERIAL: PL. 16mm A36
CANTIDAD: 08 UNIDADES
ESCALA: 1/5



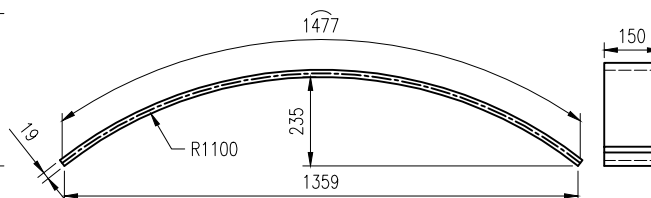
p8
MATERIAL: PL. 19mm A36
CANTIDAD: 02 UNIDADES
ESCALA: 1/5



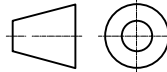
p7
MATERIAL: PL. 19mm A36
CANTIDAD: 01 UNIDADES
ESCALA: 1/5

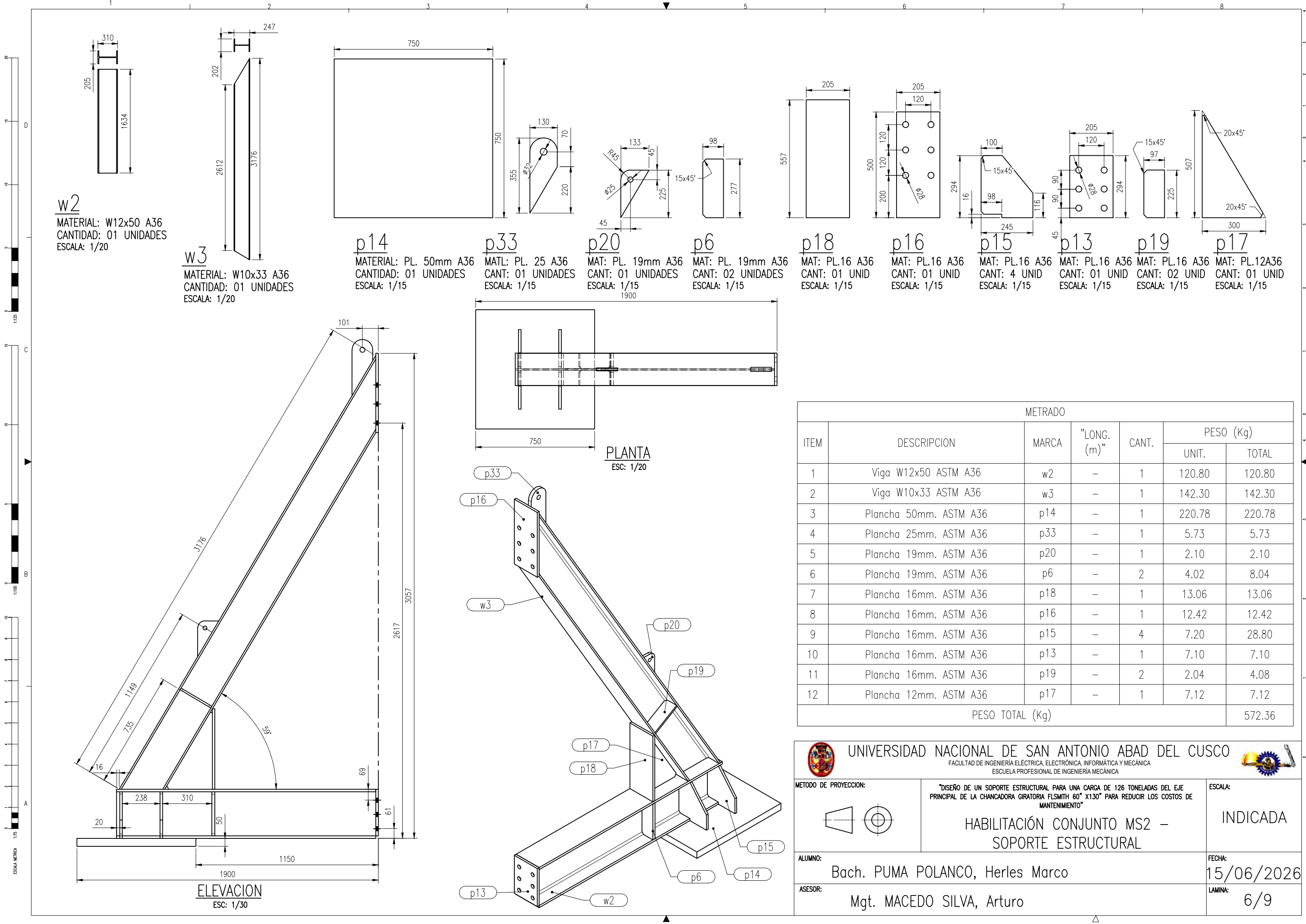


p5
MATERIAL: PL. 19mm A36
CANTIDAD: 01 UNIDADES
ESCALA: 1/5



p4
MATERIAL: PL. 19mm A36
CANTIDAD: 02 UNIDADES
ESCALA: 1/5

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA 		
METODO DE PROYECCION: 	*DISEÑO DE UN SOPORTE ESTRUCTURAL PARA UNA CARGA DE 126 TONELADAS DEL EJE PRINCIPAL DE LA CHANCADORA GIRATORIA FLSMITH 60" X130" PARA REDUCIR LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO*	ESCALA: INDICADA
ALUMNO: Bach. PUMA POLANCO, Herles Marco	HABILITACIÓN CONJUNTO MS1 – SOPORTE ESTRUCTURAL	
ASESOR: Mgt. MACEDO SILVA, Arturo	FECHA: 15/06/2026 LAMINA: 5/9	



w2
MATERIAL: W12x50 A36
CANTIDAD: 01 UNIDADES
ESCALA: 1/20

w3
MATERIAL: W10x33 A36
CANTIDAD: 01 UNIDADES
ESCALA: 1/20

p14
MATERIAL: PL. 50mm A36
CANTIDAD: 01 UNIDADES
ESCALA: 1/15

p33
MATL: PL. 25 A36
CANT: 01 UNIDADES
ESCALA: 1/15

p20
MAT: PL. 19mm A36
CANT: 01 UNIDADES
ESCALA: 1/15

p6
MAT: PL. 19mm A36
CANT: 02 UNIDADES
ESCALA: 1/15

p18
MAT: PL.16 A36
CANT: 01 UNID
ESCALA: 1/15

p16
MAT: PL.16 A36
CANT: 01 UNID
ESCALA: 1/15

p15
MAT: PL.16 A36
CANT: 4 UNID
ESCALA: 1/15

p13
MAT: PL.16 A36
CANT: 01 UNID
ESCALA: 1/15

p19
MAT: PL.16 A36
CANT: 02 UNID
ESCALA: 1/15

p17
MAT: PL.12A36
CANT: 01 UNID
ESCALA: 1/15

PLANTA
ESC: 1/20

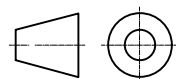
ELEVACION
ESC: 1/30

METRADO						
ITEM	DESCRIPCION	MARCA	"LONG. (m)"	CANT.	PESO (Kg)	
					UNIT.	TOTAL
1	Viga W12x50 ASTM A36	w2	—	1	120.80	120.80
2	Viga W10x33 ASTM A36	w3	—	1	142.30	142.30
3	Plancha 50mm. ASTM A36	p14	—	1	220.78	220.78
4	Plancha 25mm. ASTM A36	p33	—	1	5.73	5.73
5	Plancha 19mm. ASTM A36	p20	—	1	2.10	2.10
6	Plancha 19mm. ASTM A36	p6	—	2	4.02	8.04
7	Plancha 16mm. ASTM A36	p18	—	1	13.06	13.06
8	Plancha 16mm. ASTM A36	p16	—	1	12.42	12.42
9	Plancha 16mm. ASTM A36	p15	—	4	7.20	28.80
10	Plancha 16mm. ASTM A36	p13	—	1	7.10	7.10
11	Plancha 16mm. ASTM A36	p19	—	2	2.04	4.08
12	Plancha 12mm. ASTM A36	p17	—	1	7.12	7.12
PESO TOTAL (Kg)						572.36



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



METODO DE PROYECCION:


DISEÑO DE UN SOPORTE ESTRUCTURAL PARA UNA CARGA DE 126 TONELADAS DEL EJE PRINCIPAL DE LA CHANCADORA GIRATORIA FLSMITH 60" X130" PARA REDUCIR LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO

HABILITACIÓN CONJUNTO MS2 –
SOPORTE ESTRUCTURAL

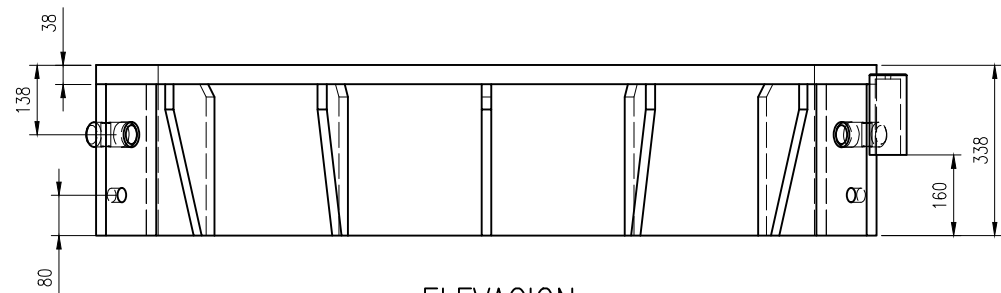
ALUMNO:
Bach. PUMA POLANCO, Herles Marco

ASESOR:
Mgt. MACEDO SILVA, Arturo

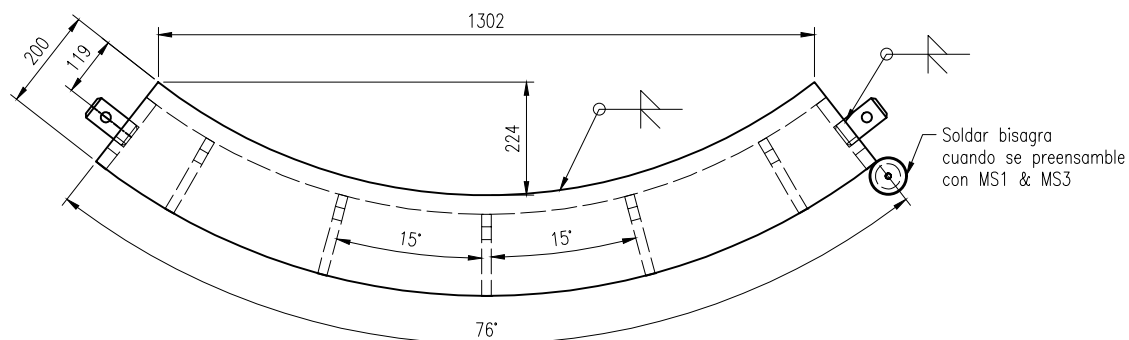
ESCALA:
INDICADA

FECHA:
15/06/2026

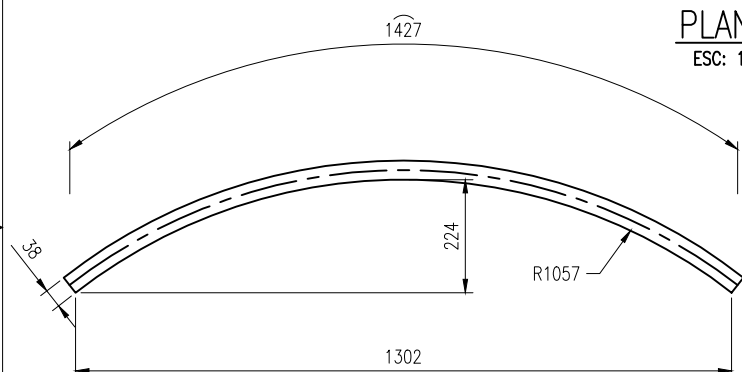
LAMINA:
6/9



ELEVACION
ESC: 1/15

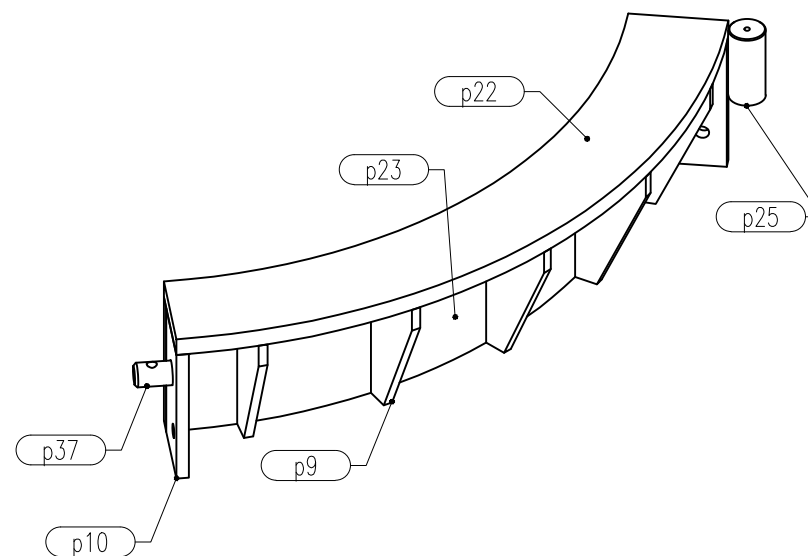


PLANTA
ESC: 1/15



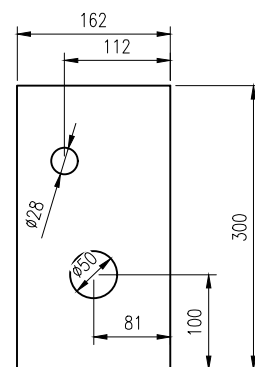
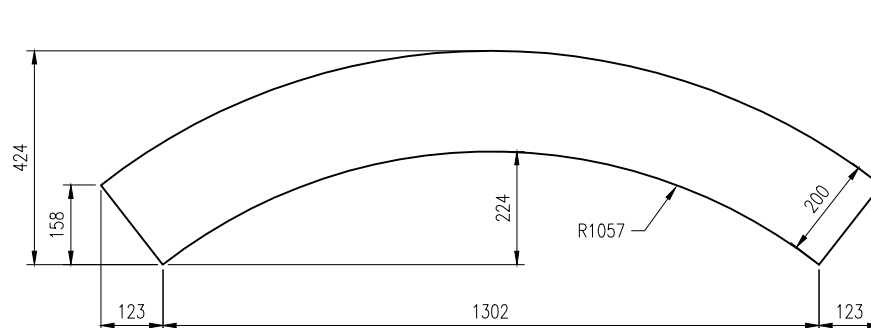
p22

MATERIAL: PL. 38mm A36
CANTIDAD: 01 UNIDADES
ESCALA: 1/15



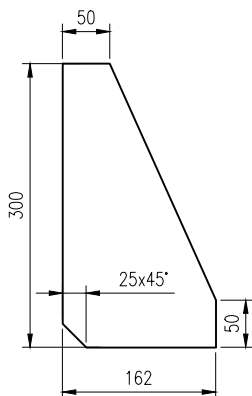
p23

MATERIAL: PL. 38mm A36
CANTIDAD: 01 UNIDADES
ESCALA: 1/15



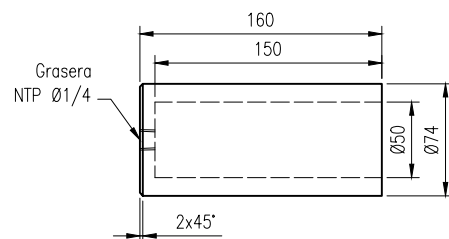
p10

MATERIAL: PL. 25mm A36
CANTIDAD: 02 UNIDADES
ESCALA: 1/8



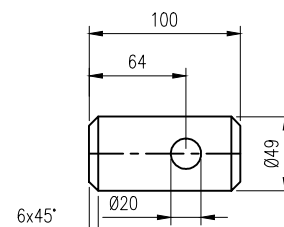
p9

MATERIAL: PL. 19mm A36
CANTIDAD: 05 UNIDADES
ESCALA: 1/8



p25

MATERIAL: Eje Ø3" ASTM A36
CANTIDAD: 01 UNIDADES
ESCALA: 1/5



p37

MATERIAL: Eje 2" ASTM A36
CANTIDAD: 01 UNIDADES
ESCALA: 1/5

METRADO						
ITEM	DESCRIPCION	MARCA	"LONG. (m)"	CANT.	PESO (Kg)	
					UNIT.	TOTAL
1	Plancha 38mm. ASTM A36	p22	—	1	91.57	91.57
2	Plancha 38mm. ASTM A36	p23	—	1	127.74	127.74
3	Plancha 25mm. ASTM A36	p10	—	2	9.03	18.06
4	Plancha 19mm.	p9	—	5	5.11	25.57
5	Eje Ø3" ASTM A36	p25	—	1	3.08	3.08
6	Eje Ø2" ASTM A36	p37	—	1	1.32	1.32
PESO TOTAL (Kg)						267.34

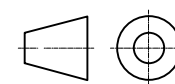


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



METODO DE PROYECCION:



"DISEÑO DE UN SOPORTE ESTRUCTURAL PARA UNA CARGA DE 126 TONELADAS DEL EJE PRINCIPAL DE LA CHANCADORA GIRATORIA FLSMITH 60" X130" PARA REDUCIR LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO"

HABILITACIÓN CONJUNTO MS3 –
SOPORTE ESTRUCTURAL

ESCALA:

INDICADA

ALUMNO:

Bach. PUMA POLANCO, Herles Marco

FECHA:

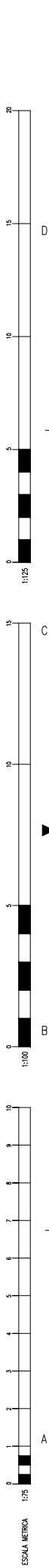
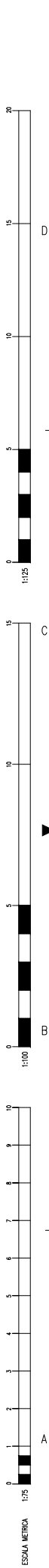
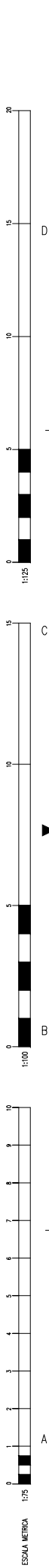
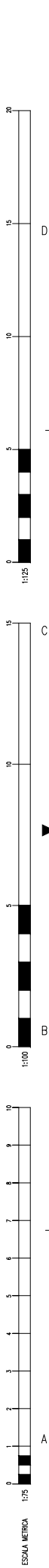
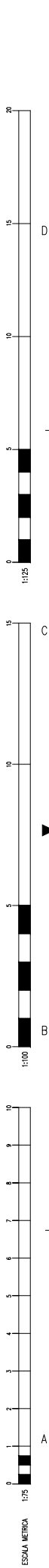
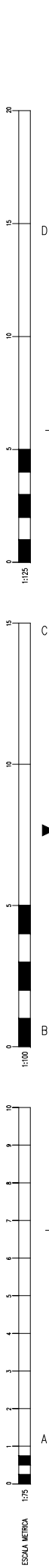
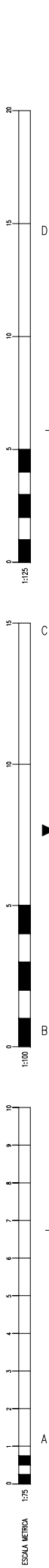
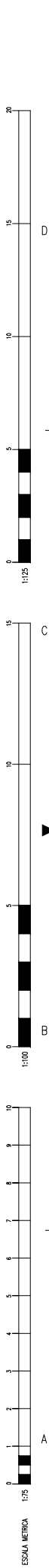
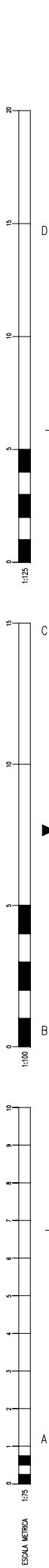
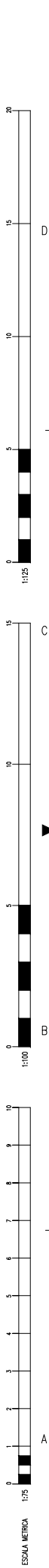
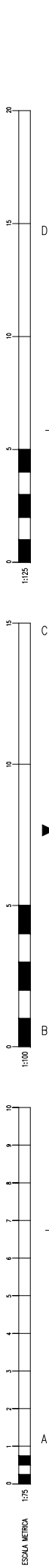
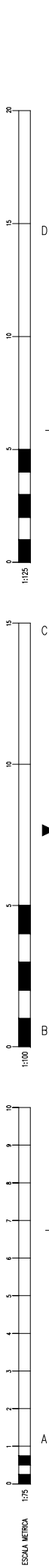
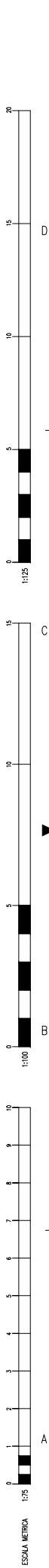
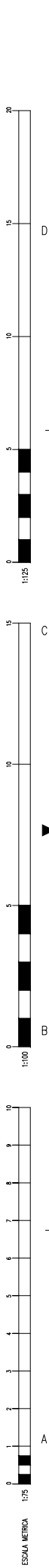
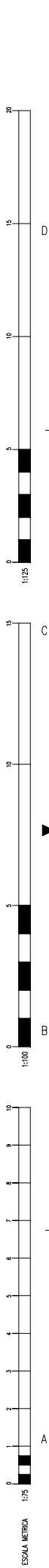
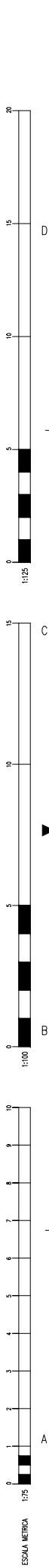
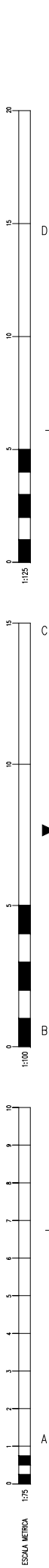
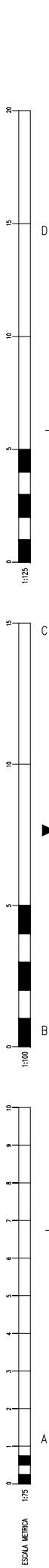
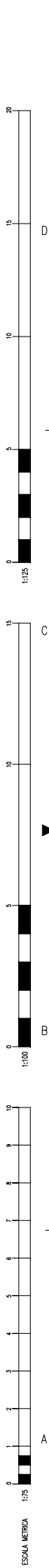
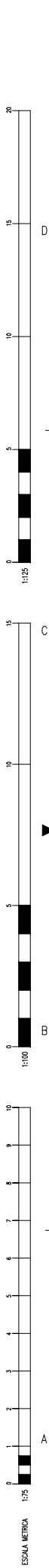
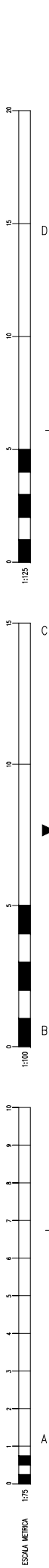
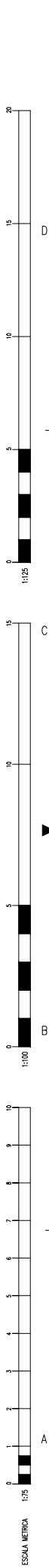
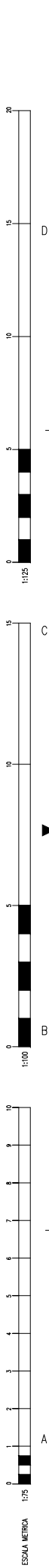
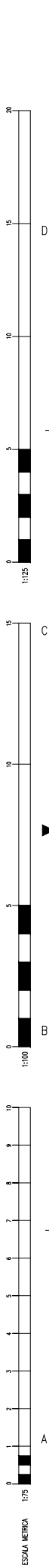
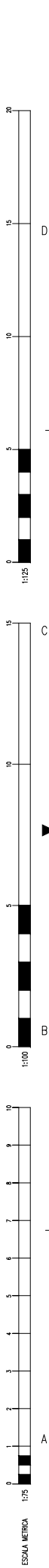
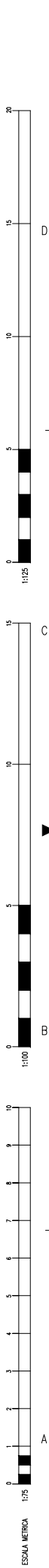
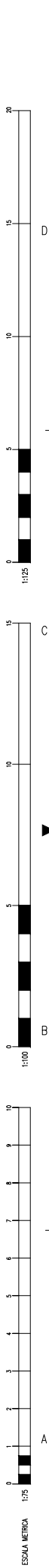
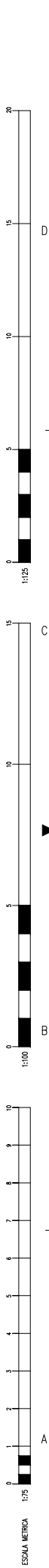
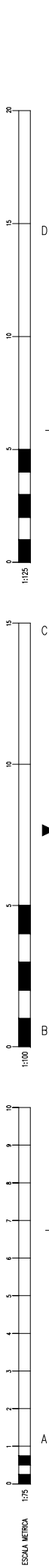
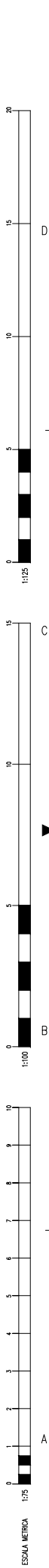
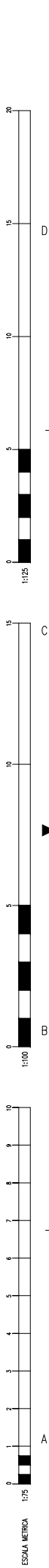
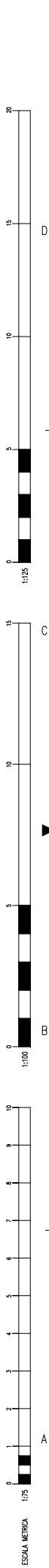
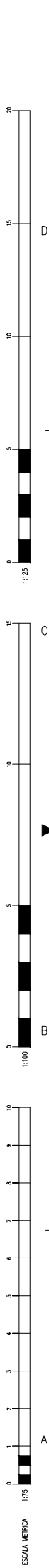
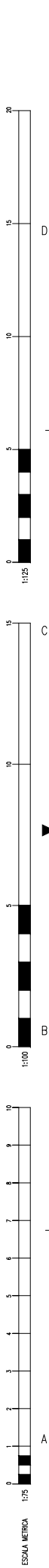
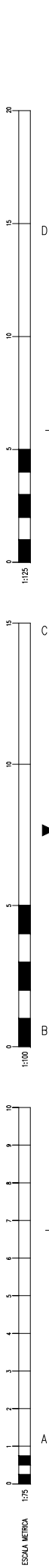
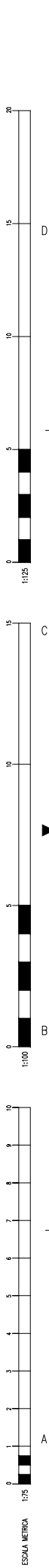
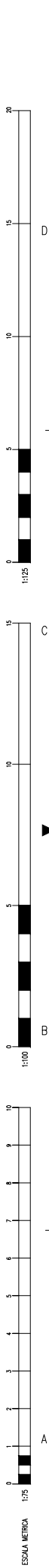
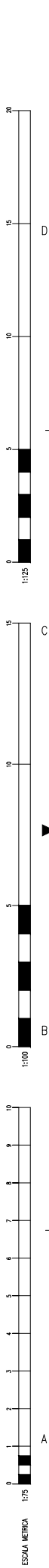
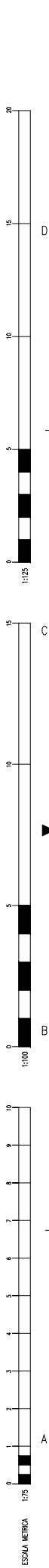
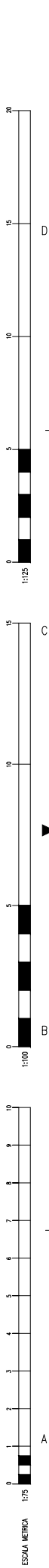
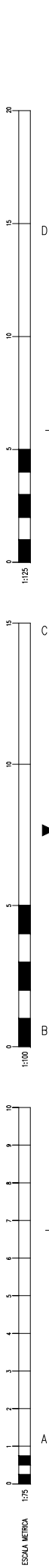
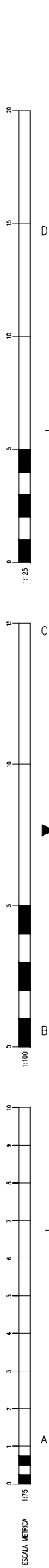
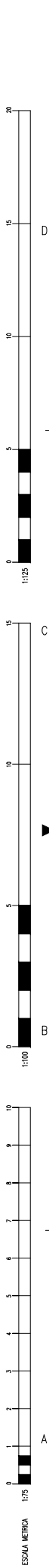
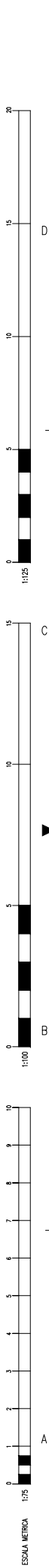
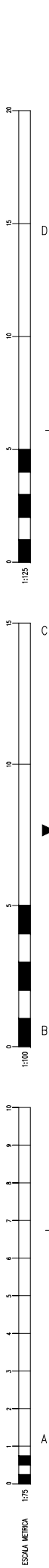
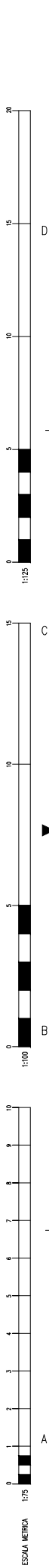
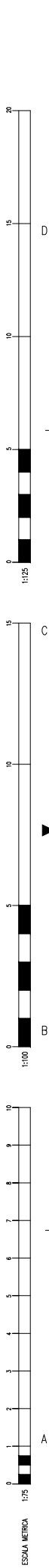
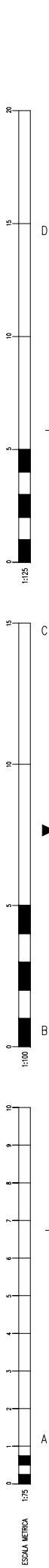
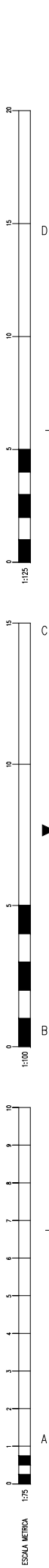
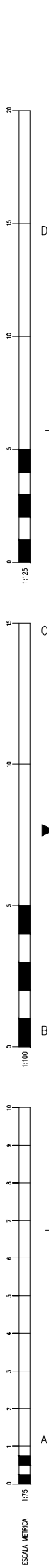
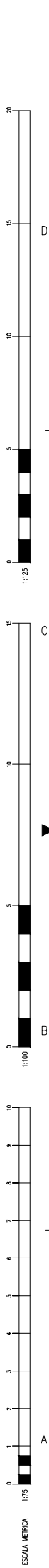
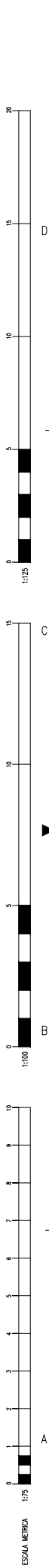
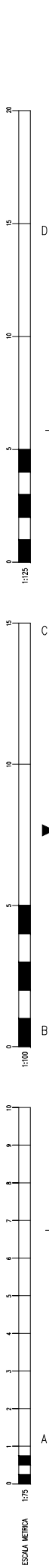
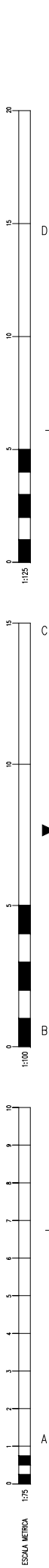
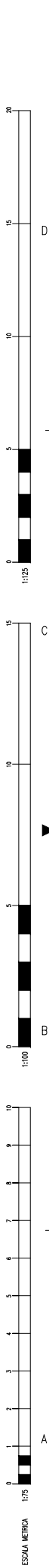
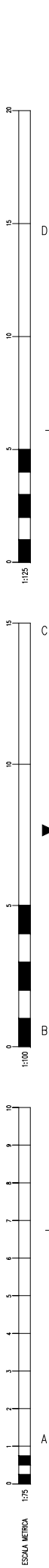
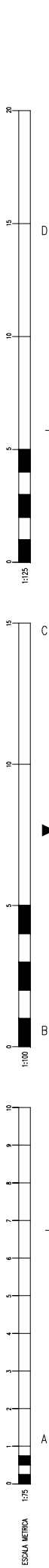
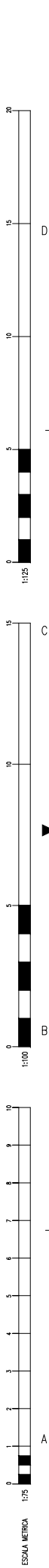
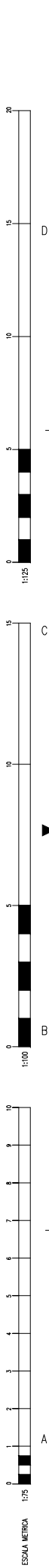
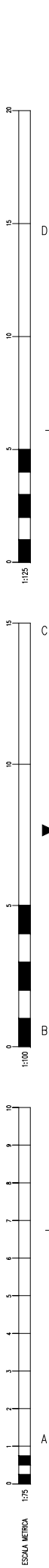
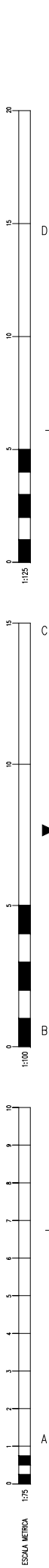
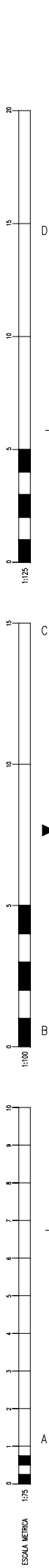
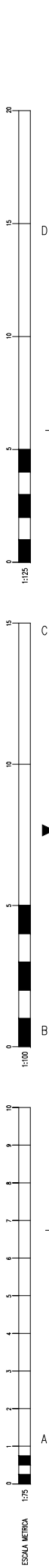
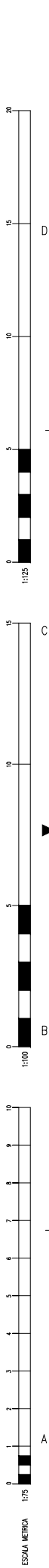
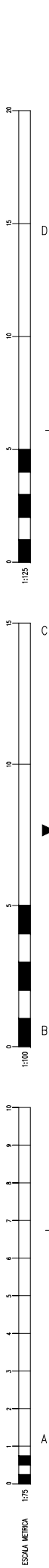
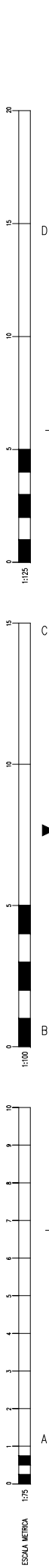
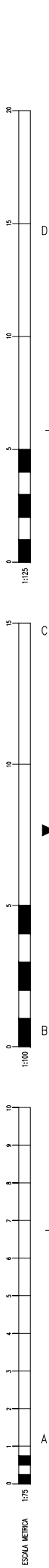
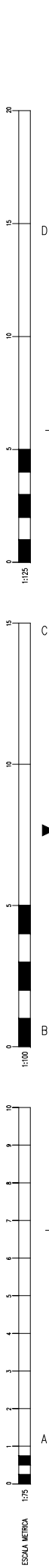
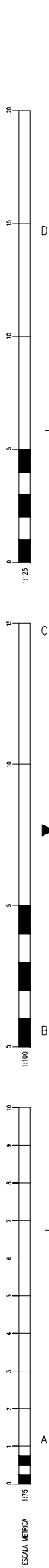
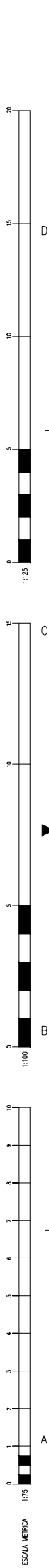
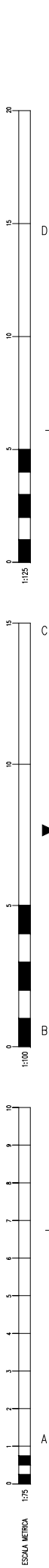
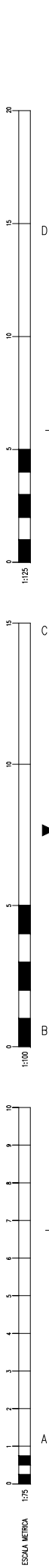
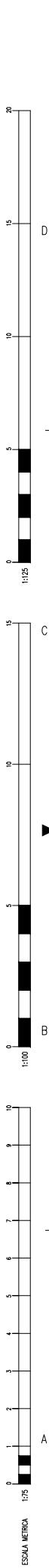
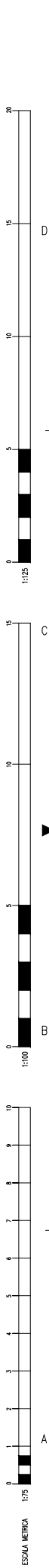
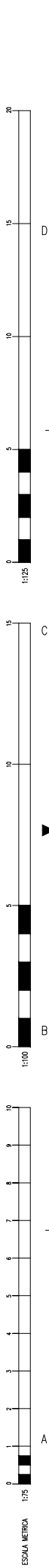
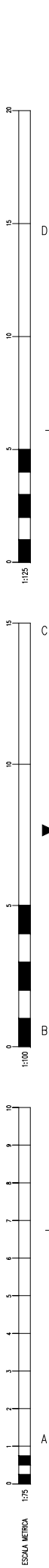
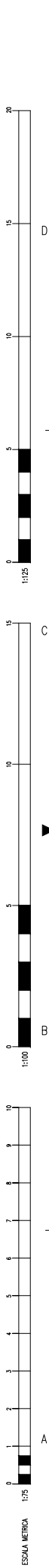
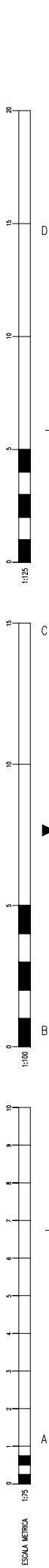
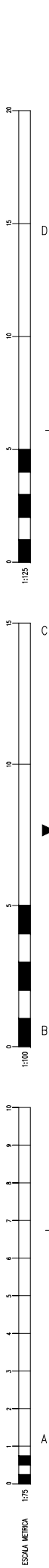
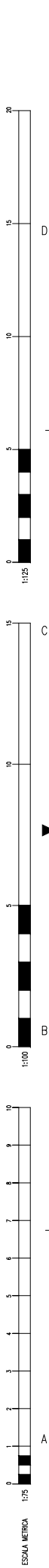
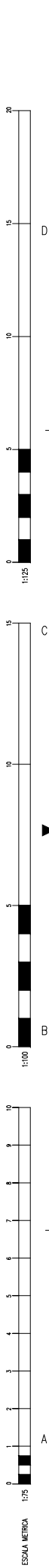
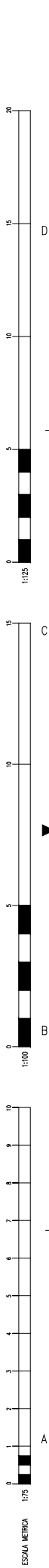
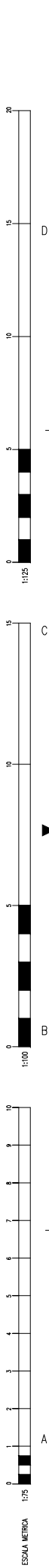
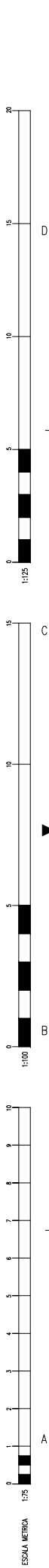
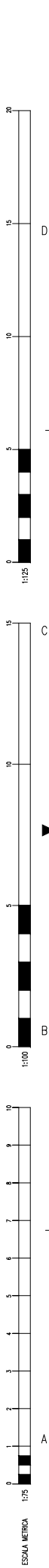
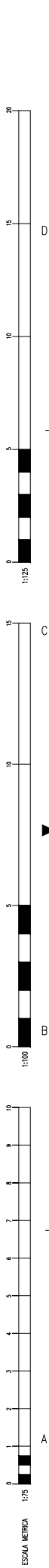
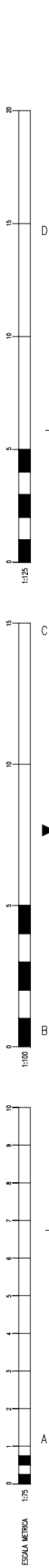
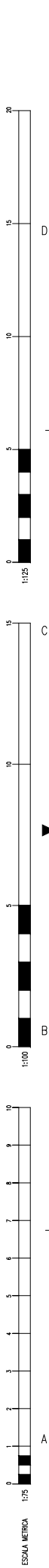
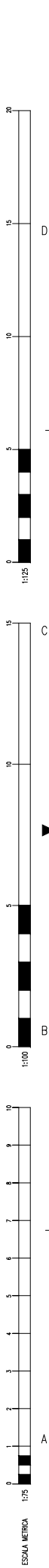
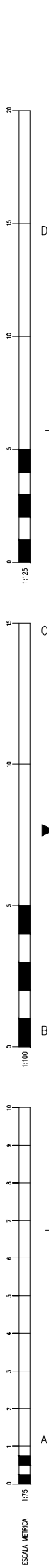
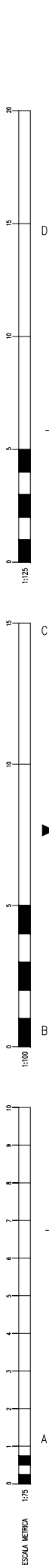
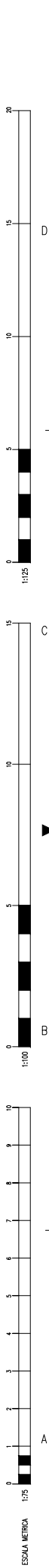
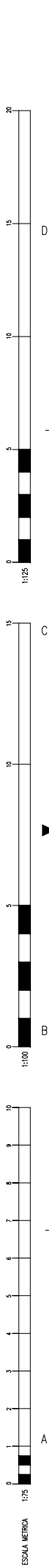
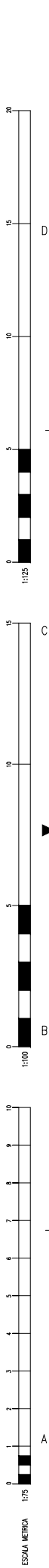
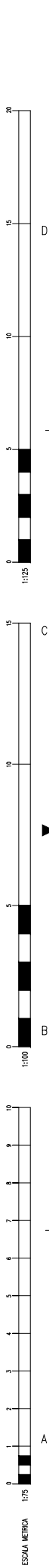
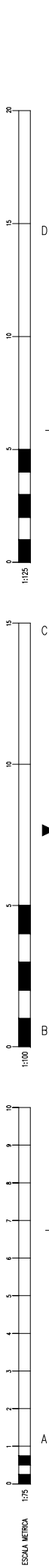
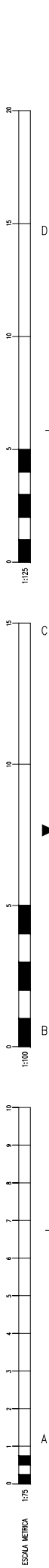
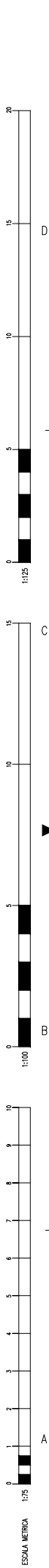
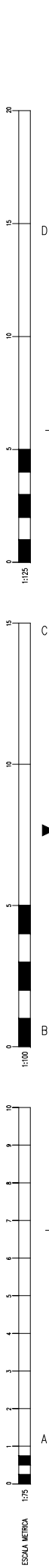
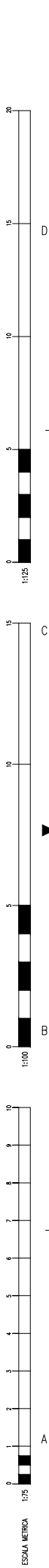
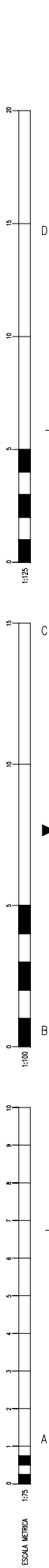
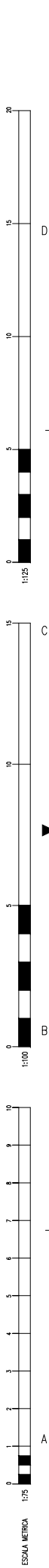
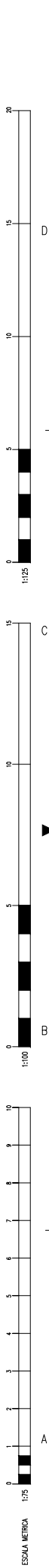
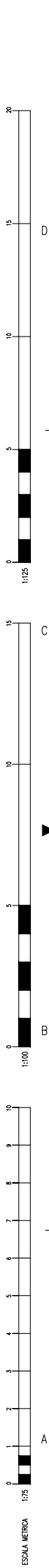
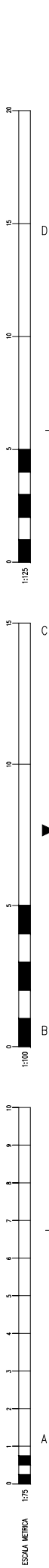
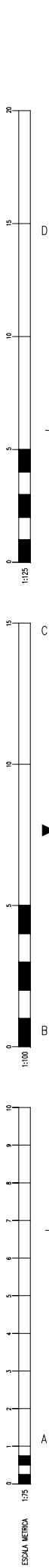
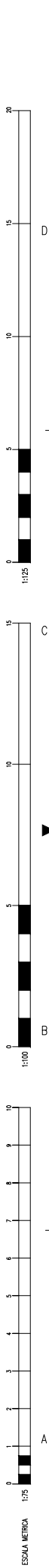
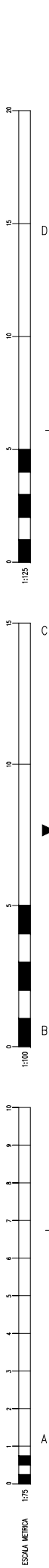
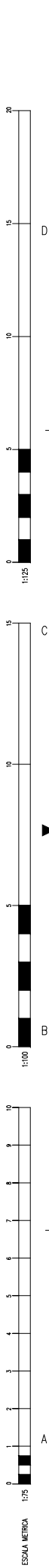
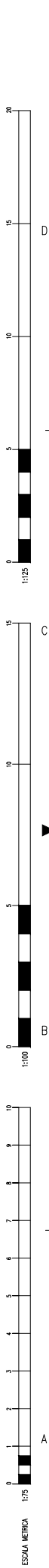
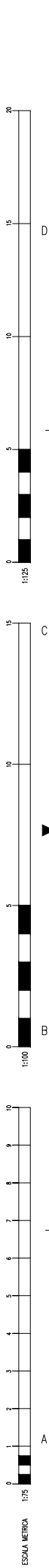
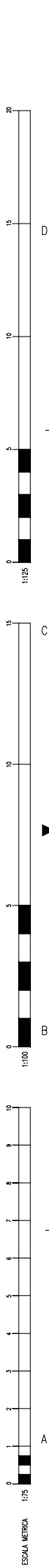
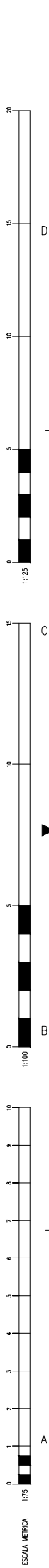
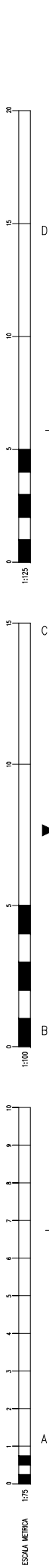
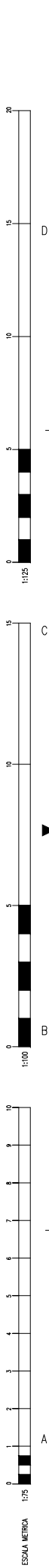
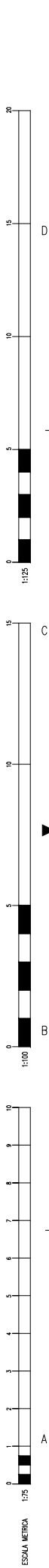
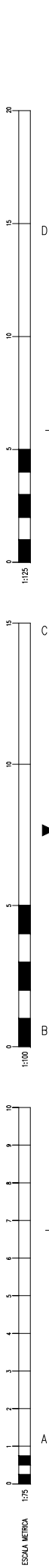
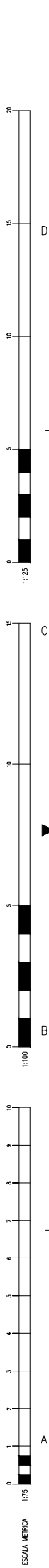
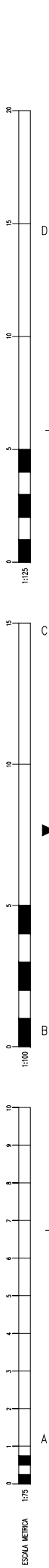
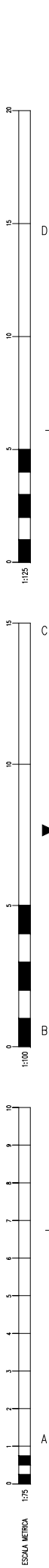
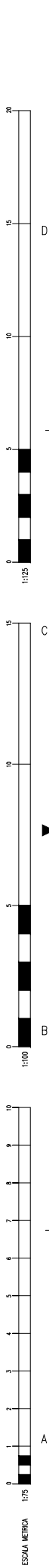
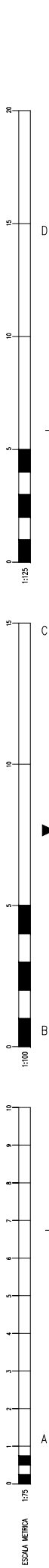
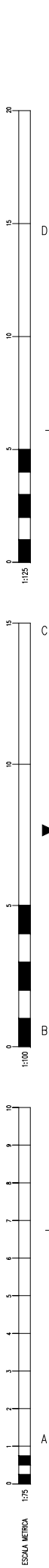
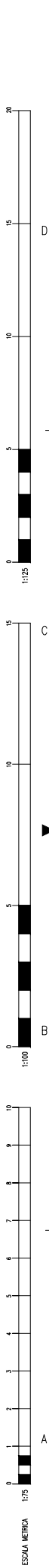
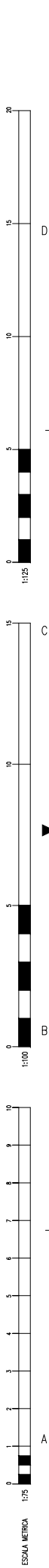
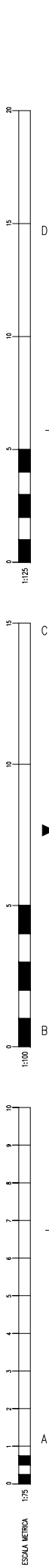
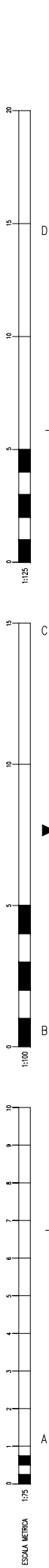
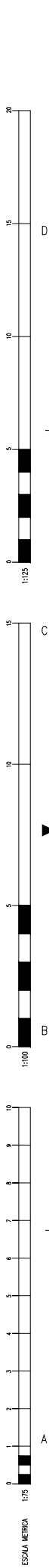
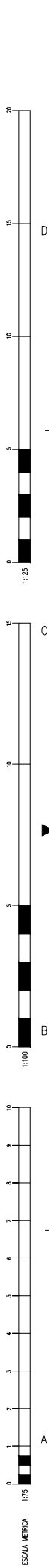
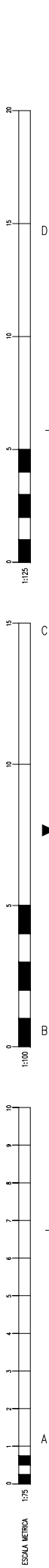
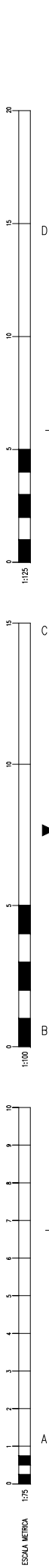
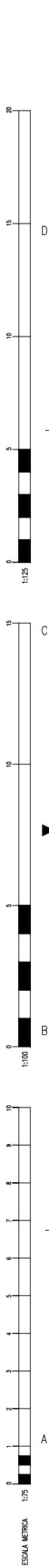
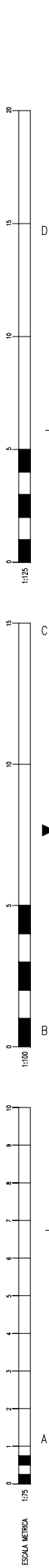
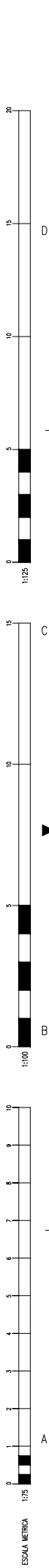
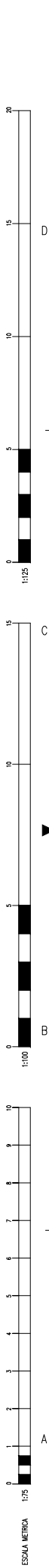
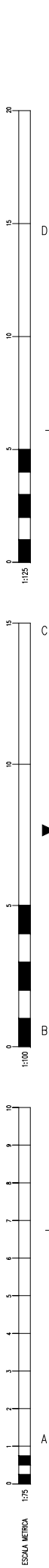
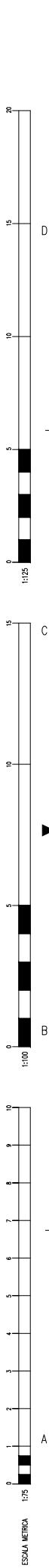
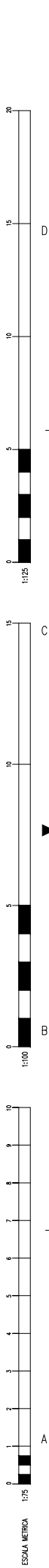
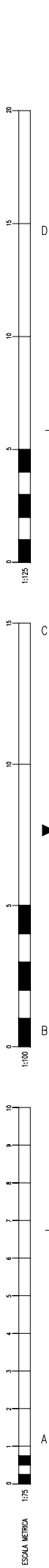
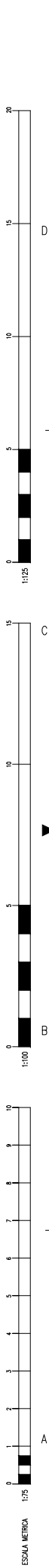
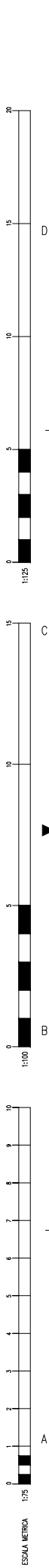
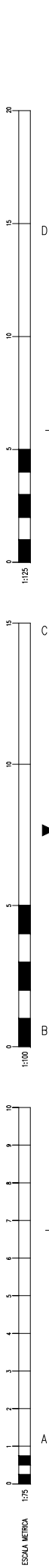
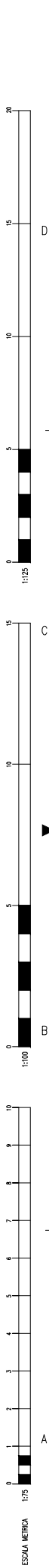
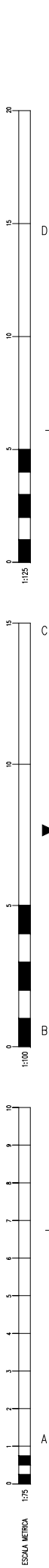
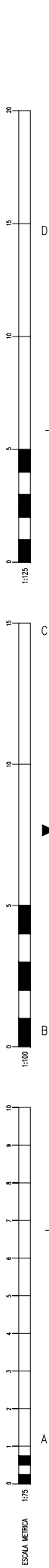
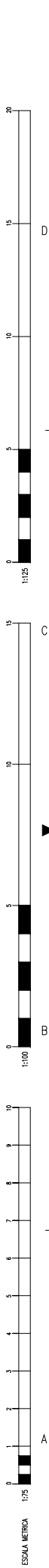
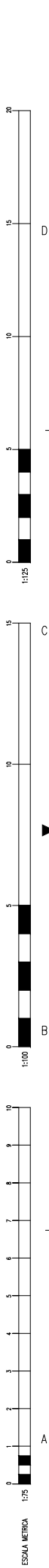
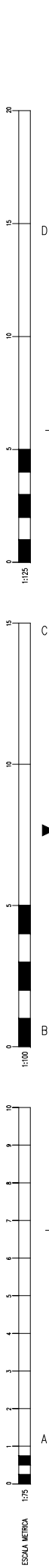
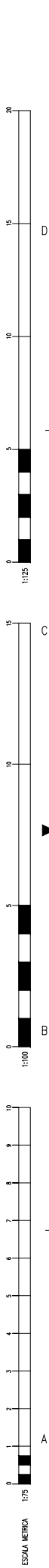
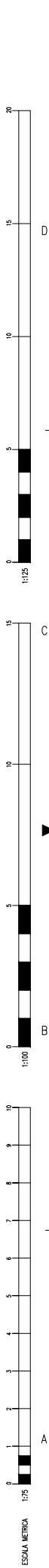
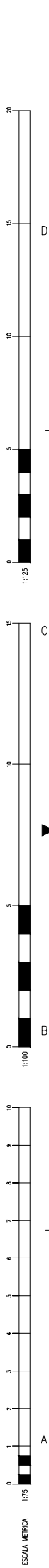
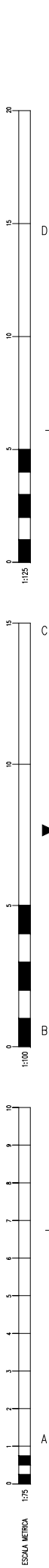
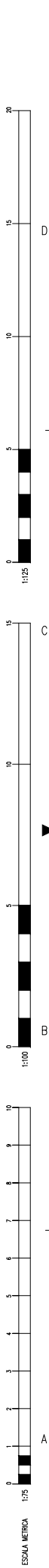
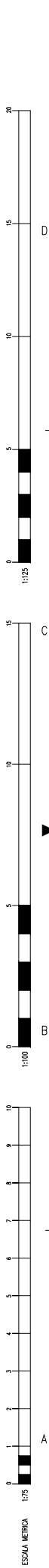
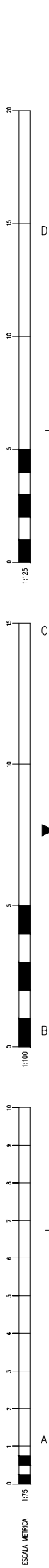
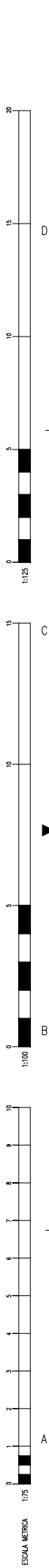
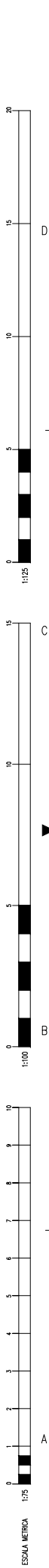
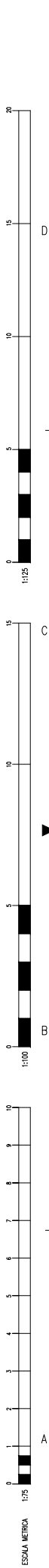
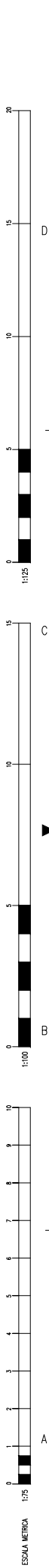
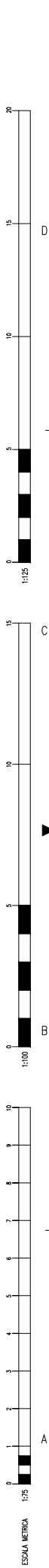
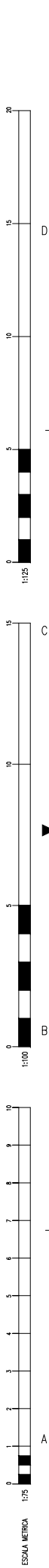
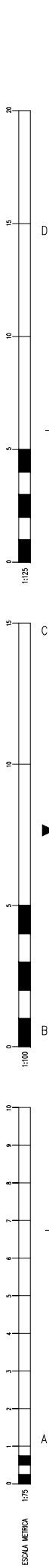
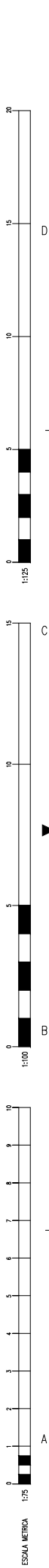
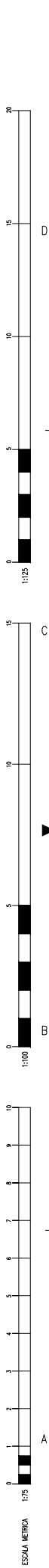
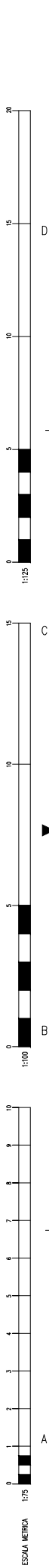
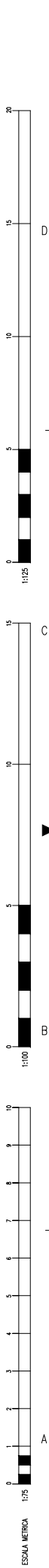
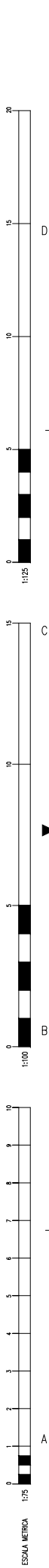
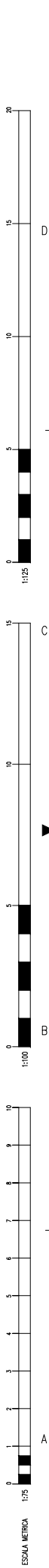
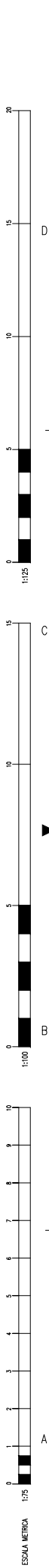
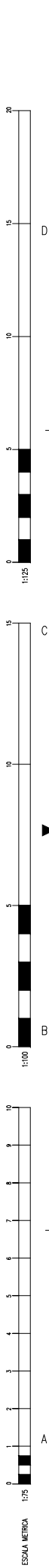
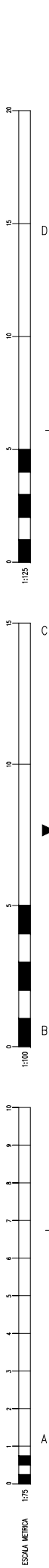
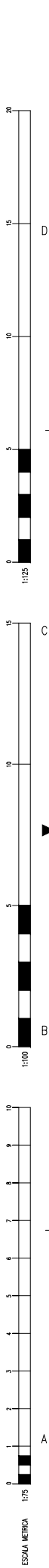
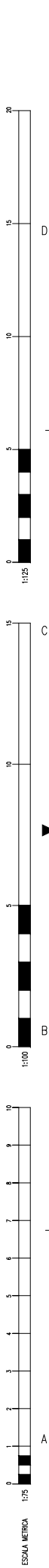
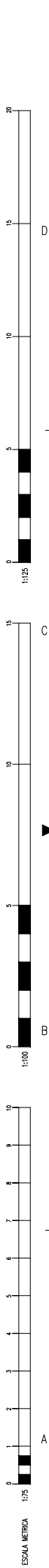
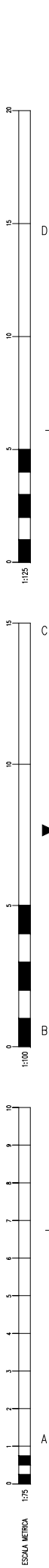
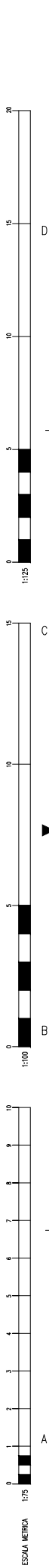
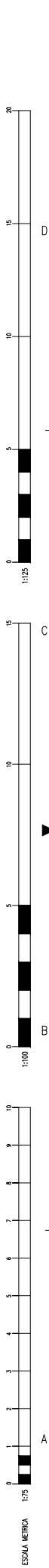
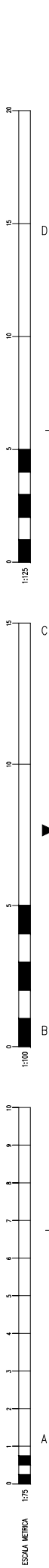
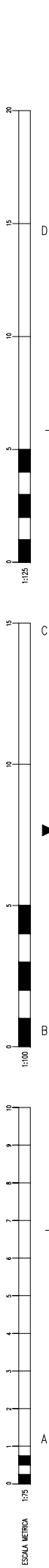
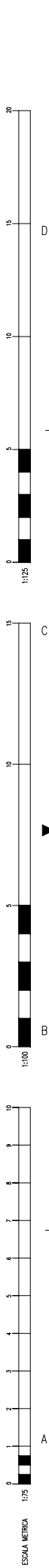
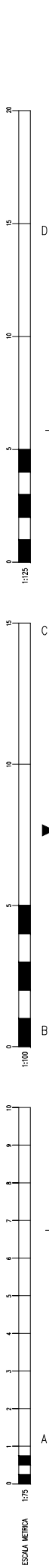
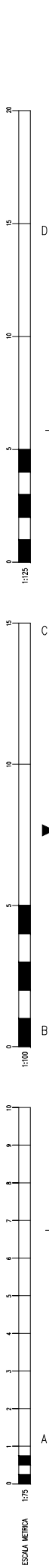
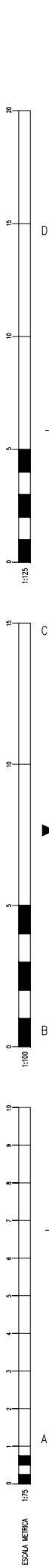
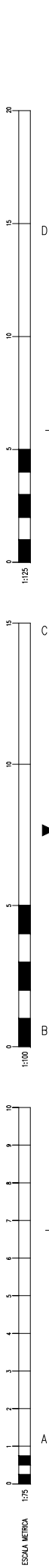
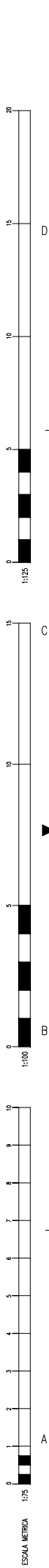
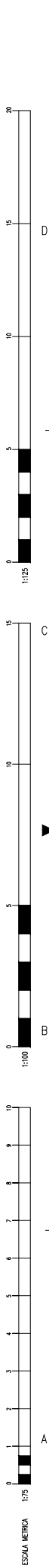
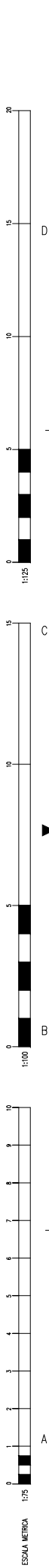
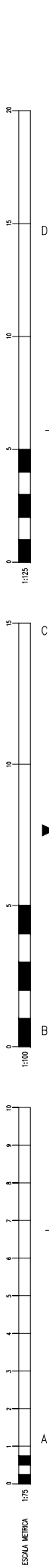
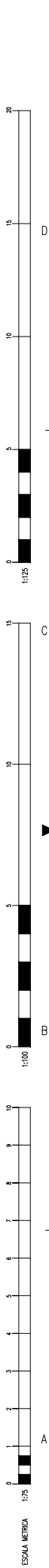
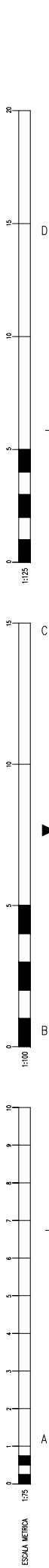
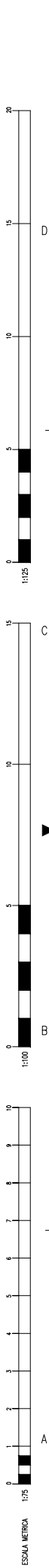
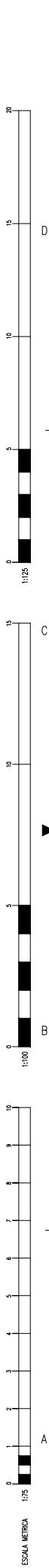
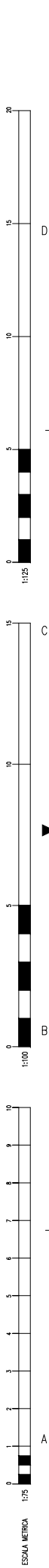
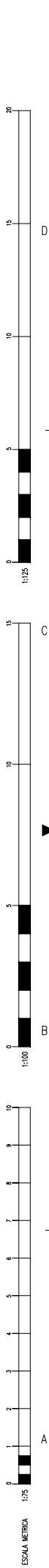
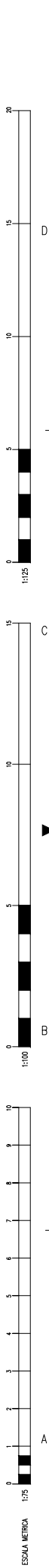
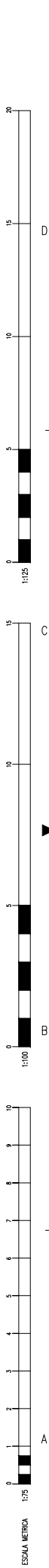
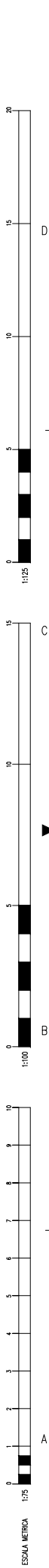
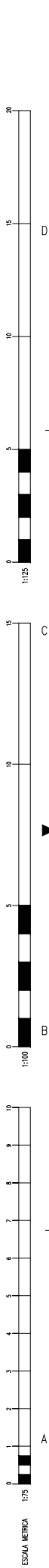
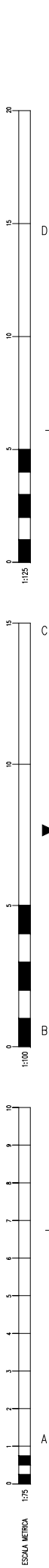
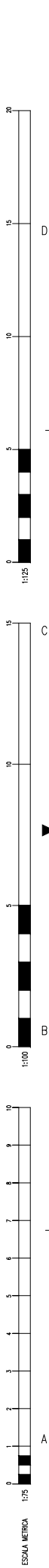
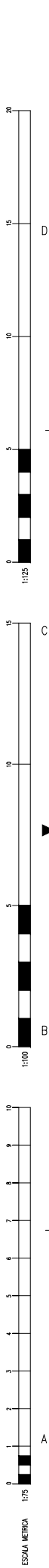
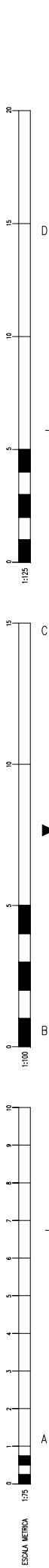
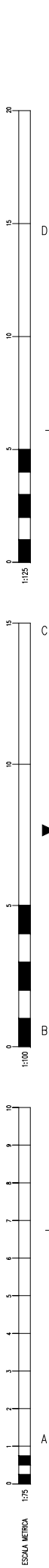
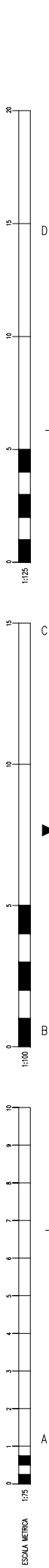
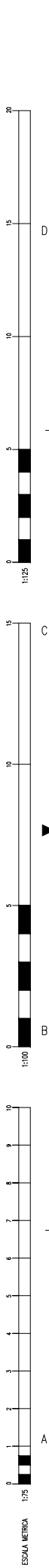
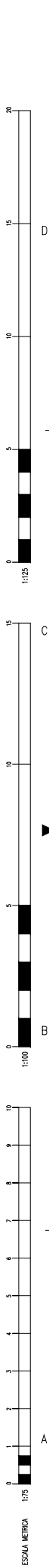
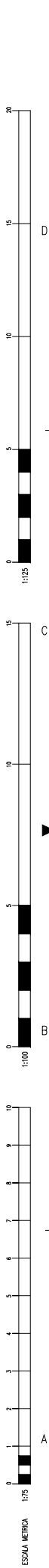
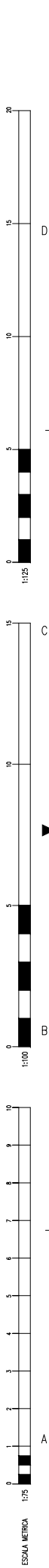
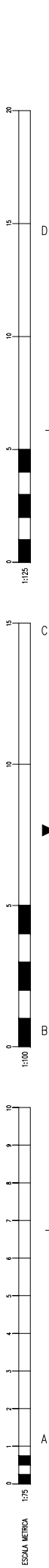
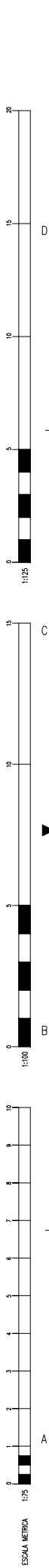
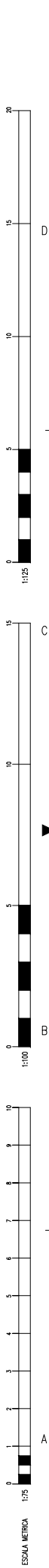
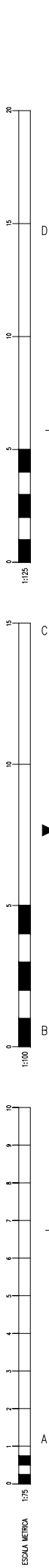
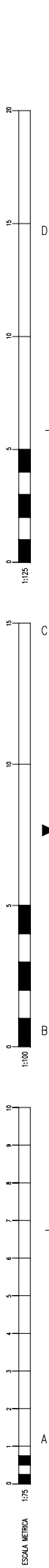
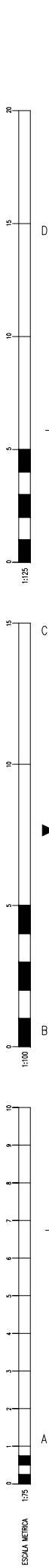
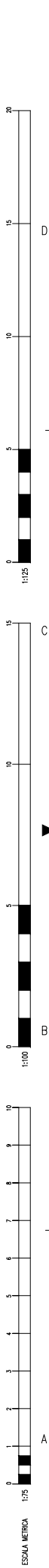
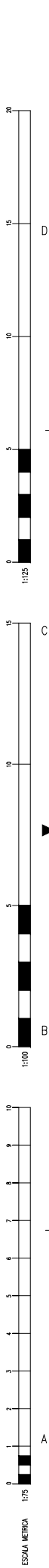
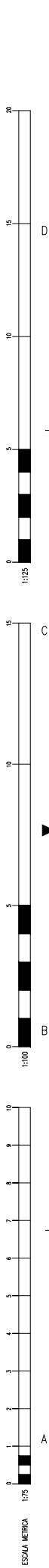
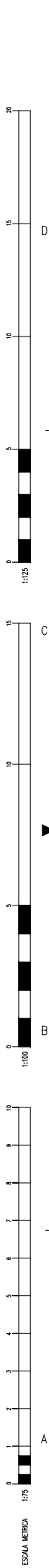
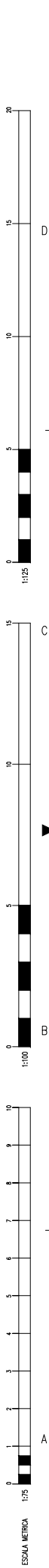
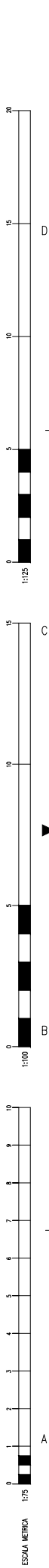
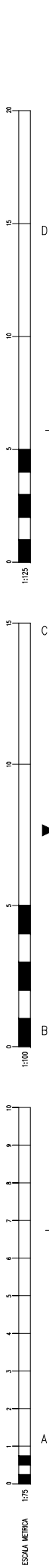
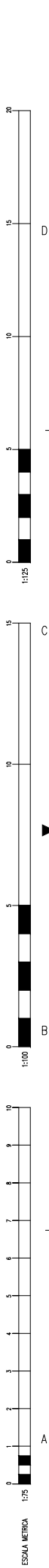
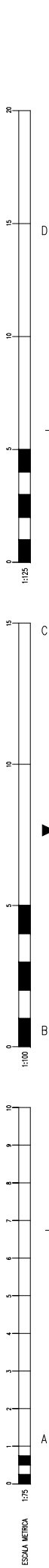
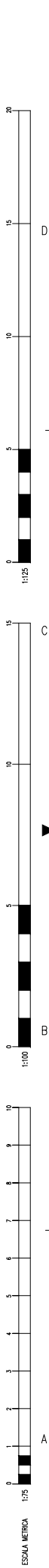
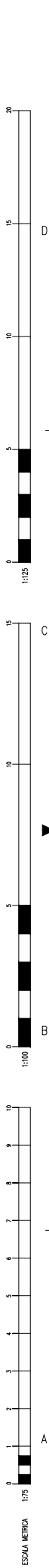
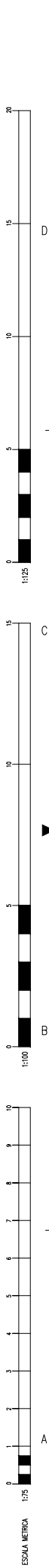
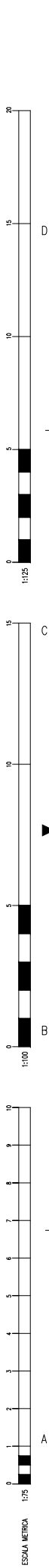
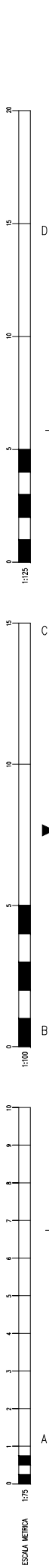
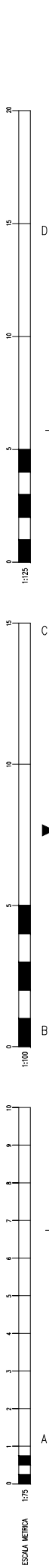
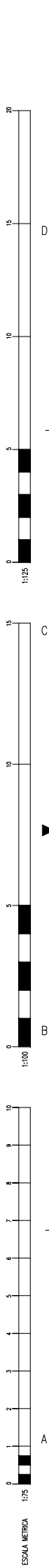
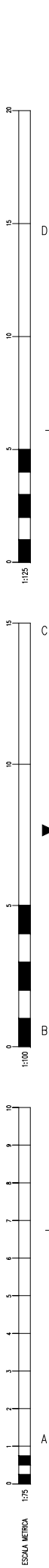
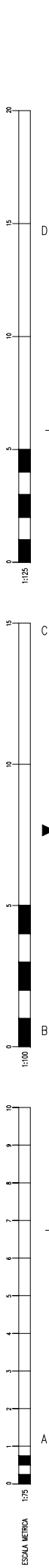
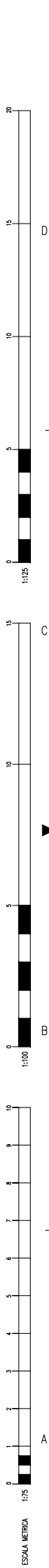
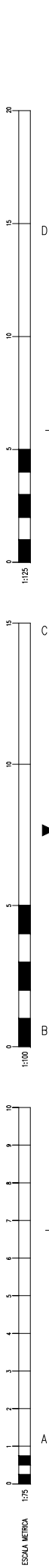
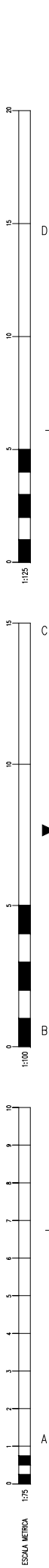
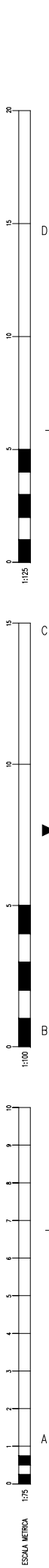
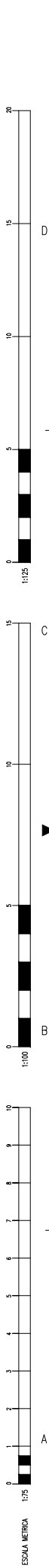
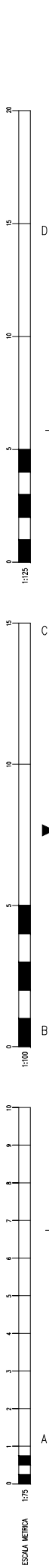
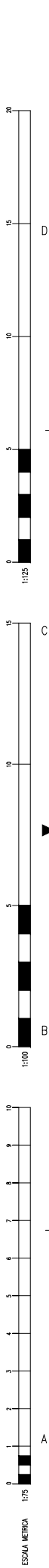
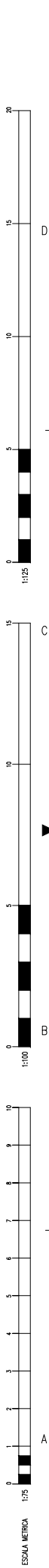
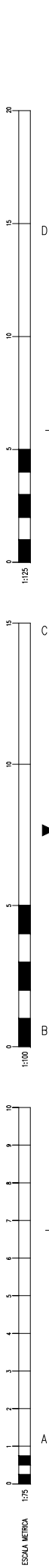
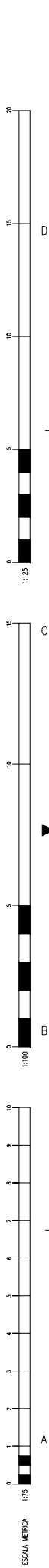
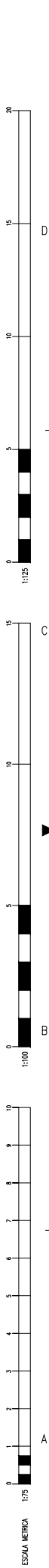
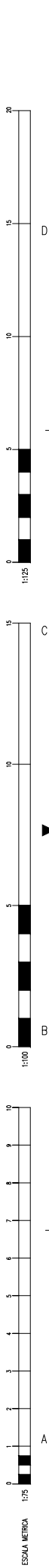
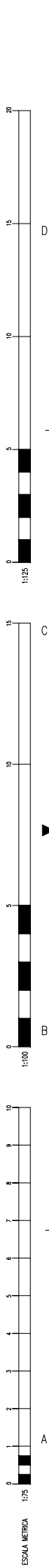
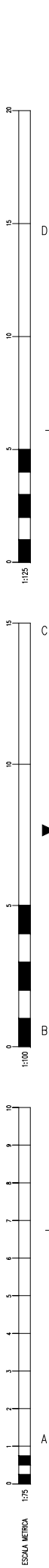
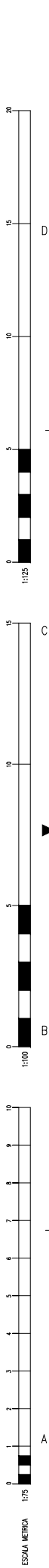
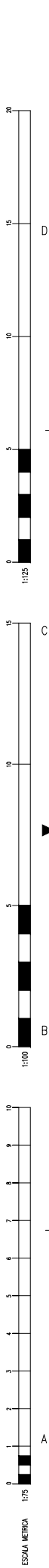
15/06/2026

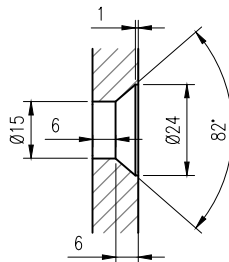
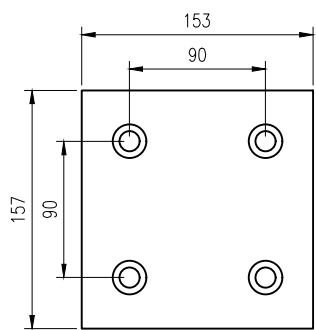
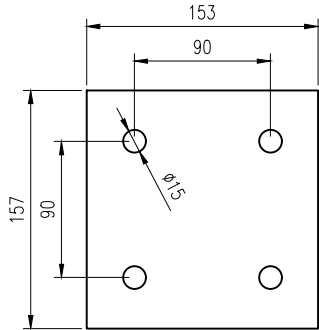
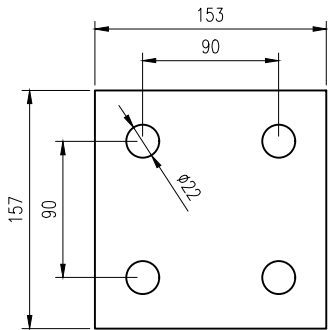
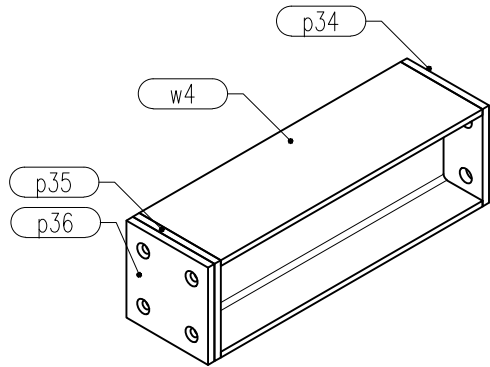
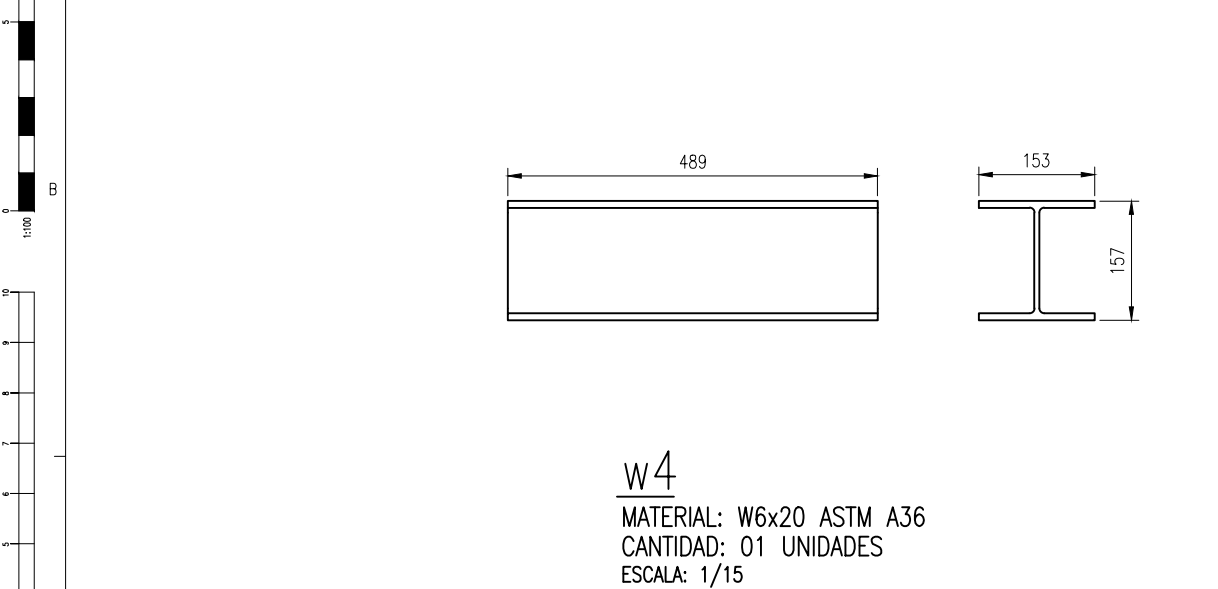
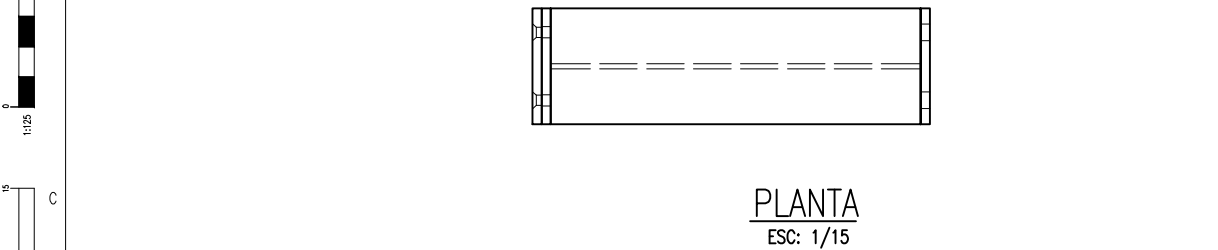
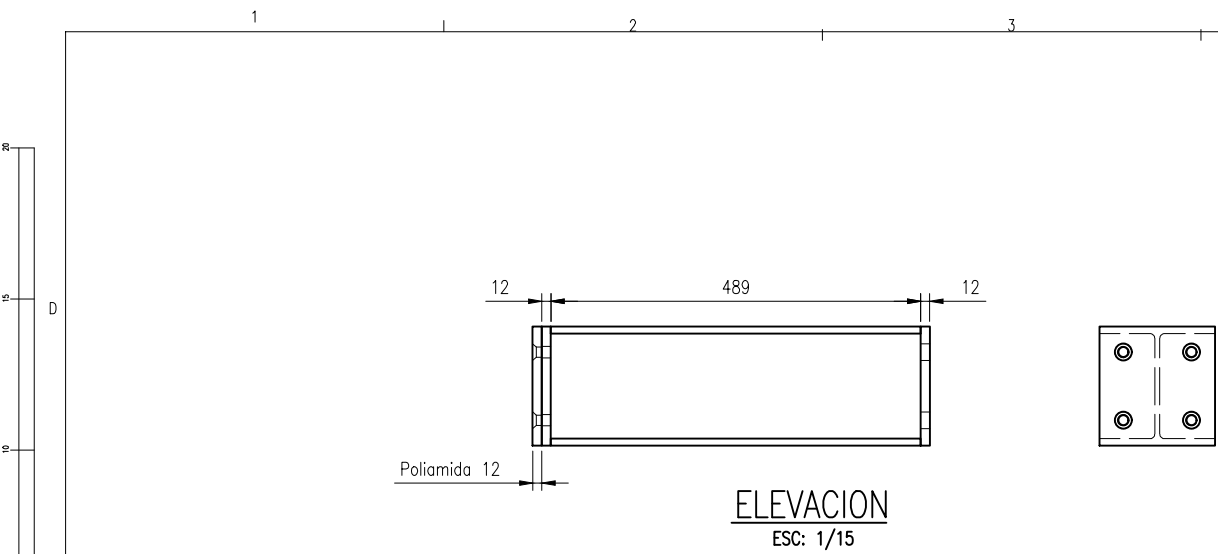
ASESOR:

Mgt. MACEDO SILVA, Arturo

LAMINA:

7/9





p34
MATERIAL: PL. 12mm ASTM A36
CANTIDAD: 01 UNIDADES
ESCALA: 1/5

p35
MATERIAL: PL. 12mm ASTM A36
CANTIDAD: 01 UNIDADES
ESCALA: 1/5

p36
MATERIAL: PL. 12mm POLIAMIDA
CANTIDAD: 01 UNIDADES
ESCALA: 1/5

METRADO						
ITEM	DESCRIPCION	MARCA	"LONG. (m)"	CANT.	PESO (Kg)	
					UNIT.	TOTAL
1	W6x20 ASTM A36	p26	–	1	14.54	14.54
2	Plancha 12mm. ASTM A36	p27	–	1	2.13	2.13
3	Plancha 12mm. ASTM A36	p28	–	1	2.20	2.20
4	Plancha 12mm. POLIAMIDA	p12	–	1	0.32	0.32
PESO TOTAL (Kg)						19.19

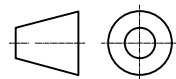


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



METODO DE PROYECCION:



"DISEÑO DE UN SOPORTE ESTRUCTURAL PARA UNA CARGA DE 126 TONELADAS DEL EJE PRINCIPAL DE LA CHANCADORA GIRATORIA FLSMITH 60" X130" PARA REDUCIR LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO"

HABILITACIÓN CONJUNTO MS5 –
SOPORTE ESTRUCTURAL

ESCALA:

INDICADA

ALUMNO:

Bach. PUMA POLANCO, Herles Marco

FECHA:

15/06/2026

ASESOR:

Mgt. MACEDO SILVA, Arturo

LAMINA:

9/9