

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y
METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



Tesis:

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UNA MESA VIBRATORIA IDRAKONGU PARA TRATAR PRE CONCENTRADO DE ORO DEL YACIMIENTO TRES ESTRELLAS DEL SUR DE LA ZONA BOCA COLORADO - MADRE DE DIOS

(Investigación Tecnológica)

Presentado por:

Br. Jaison Fernando Troncoso Ricra

Br. Denissa Trujillo Meza

Para optar al título profesional de

Ingeniero Metalúrgico

Asesor:

Ing. Porfirio Carrasco Tapia

Cusco – Perú

2021

PRESENTACIÓN

SEÑOR DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO.

SEÑORES MIEMBROS DEL JURADO

En cumplimiento al reglamento de grados y títulos vigentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica, ponemos a vuestra consideración el trabajo intitulado: **“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UNA MESA VIBRATORIA IDRAKO NGU PARA TRATAR PRE CONCENTRADO DE ORO DEL YACIMIENTO TRES ESTRELLAS DEL SUR DE LA ZONA BOCA COLORADO - MADRE DE DIOS”** (Investigación – Tecnológica).

Esperamos que el presente trabajo cumpla con los objetivos que se ha trazado. Así mismo, sirva de consulta para aquellas personas interesadas; en el diseño del equipo que trata minerales auríferos provenientes de la minería pequeña y artesanal de la zona Boca Colorado, región de Madre de Dios.

LOS AUTORES

DEDICATORIA

A Dios, por darme siempre las fuerzas para continuar en lo adverso, por guiarme en el sendero de lo sensato y darme sabiduría en las situaciones difíciles.

Esta investigación la dedico, a mis padres Zoila y Fernando; quienes están presentes brindándome su apoyo, consejo, comprensión, amor y sobre todo compartir su experiencia para poder superar cualquier obstáculo, estoy muy agradecido con ustedes.

Para mis familiares, amigos y maestros quienes por su motivación, inspiración y aliento hicieron posible mi grandeza como persona, mis valores, mis principios y sobre todo mi coraje para conseguir mis objetivos.

A mis compañeros de estudio por haberme compartido sus conocimientos y experiencias, así poder culminar con éxito mi tesis.

Jaison Fernando Troncoso Ricra

A Dios, por darme siempre las fuerzas para continuar en lo adverso, por guiarme en el sendero de lo sensato y darme sabiduría en las situaciones difíciles.

A mis padres María Meza Jiménez y Alberto Trujillo Pacheco, por brindarme su apoyo, consejos, comprensión y sobre todo por compartir sus experiencias y superando obstáculo.

A mi hermano por su motivación, inspiración y aliento que me ayuda a alcanzar mis metas como persona.

A mis padrinos Virgina Maravi de Vera y Carlos Vera Benavente por ser la fuente de mi motivación para superarme cada día más, por darme lecciones de vida y así no decaer en momentos difíciles.

A mis docentes por brindarme sus enseñanzas, conocimientos y experiencias, a mis amigos que me motivaron a perseverar con mi tesis.

Denissa Trujillo Meza

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, mi primera casa superior de estudios, por habernos formado como investigadores para brindar beneficios a la sociedad.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica que son parte vital de nuestra formación profesional; gracias a eso, esta investigación logró desarrollar con normalidad superando pese a las dificultades presentadas.

En especial a nuestro asesor: Ing. Porfirio Carrasco Tapia, por su apoyo, su paciencia y confianza; por habernos orientado en el diseño del presente trabajo de investigación.

Al Mgt. Guillermo Barrios Ruiz por brindarnos sus conocimientos y sobre todo su formación educativa y valores como profesional.

Al Mgt. Danilo Bustamante Jaén, por brindarnos sus conocimientos, su experiencia y toda la información necesaria sobre la metodología de la investigación.

A mis compañeros que me motivan en todo momento con su dedicación y esfuerzo en sus trabajos que manifiestan que todo esfuerzo tiene recompensa, y que lograr nuestros objetivos nos ayuda a proponernos nuevos objetivos, y crecer como profesional con nobleza y sabiduría.

Al Señor Maximiliano Gutiérrez, propietario del yacimiento Tres Estrellas del Sur por su hospitalidad y su pre disposición con el proyecto; facilitándonos el pre concentrado de oro para realizar las pruebas operacionales del proyecto.

A los Señores Sergio Quispe y Luis Gabancho, quienes brindaron su apoyo en la construcción del proyecto de tesis; facilitándonos sus talleres de ebanistería y metal mecánica.

LOS AUTORES

RESUMEN

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UNA MESA VIBRATORIA IDRAKONGU PARA TRATAR PRE CONCENTRADO DE ORO DEL YACIMIENTO TRES ESTRELLAS DEL SUR DE LA ZONA BOCA COLORADO - MADRE DE DIOS (Investigación Tecnológica)

El presente trabajo del sector metalúrgico cuya línea de investigación es el área de Metalurgia Extractiva. trata principalmente de; diseñar, construir y operar una mesa vibratoria IDRAKONGU con capacidad de tratamiento de pre concentrados provenientes del yacimiento Tres Estrellas del Sur de la zona de Boca Colorado y así determinar variables que rigen el proceso de concentración gravimétrica. Porque busca una alternativa de solución al medio ambiente, reduciendo el uso del mercurio y evitando el proceso de amalgamación que perjudica la biodiversidad; ayudando a minimizar los daños ocasionados en la salud de pobladores y trabajadores de la zona. Mediante el uso de un concentrador gravimétrico de tipo mesa vibratoria con facilidades operativas y adquisitivas, para optimizar la extracción del mineral aurífero en forma rentable y ecológica. En el diseño, construcción y operación de una mesa vibratoria se realizan los cálculos para determinar los mecanismos que interactúan en el equipo, tales como: sistema mecánico, eléctrico e hidráulico. Y así ejecutar la construcción teniendo en cuenta los cálculos previos. Las pruebas se realizan en una superficie inclinada y enriflada, a la cual se aplica movimientos longitudinales mientras se adiciona agua; con el fin de recuperar oro del pre concentrado que contiene 62 gramos de oro por tonelada de mineral en forma de láminas y de partículas finas, zirconio, sílice, lamas y materiales orgánicos. Realizando múltiples pruebas modificando variables de operación del equipo hasta lograr parámetros de operación para pre concentrados aluviales, dando como resultado lo siguiente: ángulo de inclinación longitudinal de 3°, flujo de agua de 32.72 L/min y con una intensidad de vibración de 40 Hertz, en estas condiciones la recuperación de oro es óptima. Los costos de diseño,

construcción y operación de una mesa vibratoria IDRAKO NGU son mínimas en comparación de otros equipos de fábrica reconocidos a nivel mundial. En conclusión, la recuperación de oro es favorable, siempre que el mineral aurífero aluvial proveniente del yacimiento Tres estrellas del Sur de la zona Boca Colorado, este, previamente homogenizado en tamaño y libre de entes orgánicos. Así incrementar la eficiencia, mediante la manipulación de variables de operación de una mesa vibratoria.

Palabras Clave: Diseño, Construcción, Operación, Pre - concentrado, Mesa Vibratoria.

ABSTRACT

DESIGN, CONSTRUCTION AND OPERATION OF AN IDRAKO NGU VIBRATORY TABLE TO TREAT PRE-CONCENTRATE GOLD FROM THE TRES ESTRELLAS DEL SUR DEPOSIT IN THE BOCA COLORADO - MADRE DE DIOS (Technological Research)

The present work of the metallurgical sector whose line of research is the area of Extractive Metallurgy, mainly deals with; design, build and operate an IDRAKO NGU vibrating table with the capacity to treat pre-concentrates from the Tres Estrellas del Sur deposit in the Boca Colorado area and thus determine variables that govern the gravimetric concentration process. Because it seeks an alternative solution to the environment, reducing the use of mercury and avoiding the amalgamation process that damages biodiversity; helping to minimize the damage caused to the health of residents and workers in the area. Through the use of a vibrating table type gravimetric concentrator with operational and purchasing facilities, to optimize the extraction of gold ore in a profitable and ecological way. In the design, construction and operation of a vibrating table, calculations are carried out to determine the mechanisms that interact in the equipment, such as: mechanical, electrical and hydraulic system. And thus execute the construction taking into account the previous calculations. The tests are carried out on an inclined and ribbed surface, to which longitudinal movements are applied while adding water; in order to recover gold from the pre-concentrate that contains 62 grams of gold per tonne of mineral in the form of sheets and fine particles, zirconium, silica, slats and organic materials. Carrying out multiple tests modifying equipment operating variables to achieve operating parameters for alluvial pre-concentrates, resulting in the following: longitudinal inclination angle of 3 °, water flow of 32.72 L / min and with a vibration intensity of 40 Hertz, under these conditions the recovery of gold is optimal. The design, construction and operating costs of an IDRAKO NGU vibrating table are minimal compared to other world-renowned

factory equipment. In conclusion, the recovery of gold is favorable, provided that the alluvial gold mineral from the Tres Estrellas del Sur deposit in the Boca Colorado area, this one, previously homogenized in size and free of organic entities. Thus, increasing efficiency by manipulating the operating variables of a vibrating table.

Key Words: Design, Construction, Operation, Pre - concentrate, Vibrating Table.

ÍNDICE

Presentación	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iv
Resumen	v
abstract	vii
Índice.....	ix
Lista de Anexos.....	xiii
Lista de figuras.....	xv
Lista de fotografías.....	xix
Lista de ilustraciones.....	xx
Lista de tablas.....	xxi
Lista de abreviaturas y simbología.....	xxiii
Introducción	xxv

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Situación problemática	1
1.2 Formulación de problemas.....	2
1.2.1 Problema general	2
1.2.2 Problemas específicos.....	2
1.3 Justificación	3
1.3.1 Justificación Tecnológica	3
1.3.2 Justificación Económica	3
1.3.3 Justificación Social	3
1.3.4 Justificación Ambiental	4
1.4 Objetivos de investigación.....	5
1.4.1 Objetivo General.....	5
1.4.2 Objetivos Específicos	5
1.5 Delimitación del estudio	6
1.5.1 Delimitación temporal	6
1.5.2 Delimitación espacial.....	6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación.....	7
---	---

2.1.1 Antecedente internacional.....	7
2.1.2 Antecedente nacional.....	8
2.1.3 Antecedente local.....	8
2.2 Bases teóricas.....	9
2.2.1 Normas legales.....	9
2.2.2 Análisis ambiental – tecnológico.....	11
2.2.3 Desarrollo de un proyecto mecánico.....	18
2.2.4 Principales mecanismos de una mesa vibratoria IDRAKO NGU.....	22
2.2.5 Diseño de una mesa vibratoria tipo IDRAKO NGU.....	31
2.2.6 Construcción y montaje del proyecto de diseño.....	69
2.2.7 Operación del proyecto de diseño.....	69
2.2.8 Uso de software para el proyecto de diseño.....	71
2.3 Hipótesis.....	72
2.3.1 Hipótesis General.....	72
2.3.2 Hipótesis Específicos.....	72
2.4 Variables.....	73
2.4.1 Identificación de variables.....	73
2.5 Definición de términos básicos.....	73

CAPITULO III METODOLOGÍA

3.1 Ámbito del Estudio: Localización Política, Geográfica.....	77
3.2 Diseño de investigación.....	77
3.2.1 Método de la investigación.....	77
3.2.2 Tipo de investigación.....	78
3.2.3 Nivel de la investigación.....	78
3.3 Población y muestra.....	79
3.3.1 Población de Estudio.....	79
3.3.2 Muestra de estudio.....	79
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	79

CAPITULO IV DISEÑO E INGENIERÍA DE UNA MESA VIBRATORIA IDRAKO NGU

4.1 Diseño de una mesa vibratoria IDRAKO NGU.....	80
4.1.1 Principio de concentración de una mesa vibratoria IDRAKO NGU.....	81
4.2 Diseño del sud ensamble 1.....	86

4.3	Diseño del sub ensamble 2.....	94
4.3.1	Diseño del mecanismo de vibraciones.....	95
4.3.2	Diseño de una chaveta	104
4.3.3	Selección de rodamientos	105
4.3.4	Diseño de contrapesos	107
4.3.5	Diseño de resortes helicoidales de compresión	108
4.4	Diseño del sub ensamble 3.....	120
4.4.1	Componentes del tablero	121
4.4.2	Geometría del tablero.....	122
4.4.3	Peso de los sub ensambles 2 y 3	125
4.5	Diseño del sub ensamble 4.....	126
4.5.1	Capacidad de tratamiento del equipo IDRAKO NGU.....	126
4.5.2	Diseño de tolva de pre concentrados	127
4.6	Diseño del sub ensamble 5.....	131
4.6.1	Análisis de la película del fluido en descenso	132
4.6.2	Diseño del sistema de bombeo.....	133
4.7	Diseño del sistema eléctrico	136
4.8	Construcción de los componentes de una mesa vibratoria IDRAKO NGU.....	138
4.9	Máquinas, herramientas y materiales.....	140
4.10	Construcción de elementos de los sub ensambles	141
4.10.1	Construcción del sub ensamble 1	141
4.10.2	Construcción del sub ensamble 2	143
4.10.3	Construcción del sub ensamble 3	146
4.10.4	Construcción del sub ensamble 4	148
4.10.5	Construcción del sub ensamble 5	149
4.11	Tratamiento superficial de los elementos	150
4.12	Montaje de los sub ensambles	152
4.13	Mesa vibratoria IDRAKO NGU	158

CAPÍTULO V

OPERATIVIDAD Y COSTOS DE UNA MESA VIBRATORIA IDRAKO NGU

5.1	Preparación del pre concentrado.....	159
5.1.1	Homogenización y limpieza del material	160
5.1.2	Cuarteo del pre concentrado	161
5.1.3	Clasificación granulométrica del pre concentrado.....	162
5.1.4	Gravedad específica del pre concentrado	165

5.1.5 Criterio de concentración para tratar el pre concentrado	166
5.2 Parámetros operacionales de una mesa vibratoria IDRAKO NGU	171
5.2.1 Características del mineral	171
5.2.2 Sistema de vibraciones.....	172
5.2.3 Característica de la superficie	172
5.2.4 Sistema hidráulico.....	172
5.3 Pruebas operacionales de una mesa vibratoria IDRAKO NGU	172
5.3.1 Prueba N°1	173
5.3.2 Prueba N°2	173
5.4 Resultados de las pruebas operacionales de una mesa vibratoria IDRAKO NGU	175
5.4.1 Resultado de la prueba N°1	175
5.4.2 Resultado de la prueba N°2	175
5.5 Guía de operación de una mesa vibratoria IDRAKO NGU.....	178
5.6 Mantenimiento de una mesa vibratoria IDRAKO NGU	179
5.7 Equipos de protección personal al usar una mesa vibratoria IDRAKO NGU.....	179
5.8 Costos de operación	179
5.8.1 Costos de diseño	179
5.8.2 Costos de construcción	180
5.8.3 Costos de operatividad.....	180
5.8.4 Costos por análisis de laboratorio	182
5.8.5 Costos adicionales.....	182
5.8.6 Costo total de la investigación tecnológica.....	182
CONCLUSIONES	184
RECOMENDACIONES	185
BIBLIOGRAFÍA.....	186
BIBLIOGRAFÍA ELECTRÓNICA.....	189
ANEXOS.....	191

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Matriz De Consistencia	192
Anexo 2: Dimensiones Comerciales De Tubería PVC.	193
Anexo 3: Propiedades Mecánicas De Los Aceros.	194
Anexo 4: Vistas Isométricas.....	195
Anexo 5: Medidas Generales.	196
Anexo 6: Explosión De Ensamblés.....	197
Anexo 7: Explosión Sub Ensamble 1.....	198
Anexo 8: Explosión Sub Ensamble 2.....	199
Anexo 9: Explosión Sub Ensamble 3.....	200
Anexo 10: Explosión Sub Ensamble 4.....	201
Anexo 11: Cuerpo o Estructura De Soporte.....	202
Anexo 12: Tolva Para Depósito De Agua.....	203
Anexo 13: Barra, Soporte Delantero.....	204
Anexo 14: Estructura De Soporte Para El Accionante Mecánico.....	205
Anexo 15: Anclaje De Pivote.....	206
Anexo 16: Eje Del Los Contrapesos.....	207
Anexo 17: Pivote Para Varilla De Altura.....	208
Anexo 18: Contrapeso.....	209
Anexo 19: Tablero De Madera.....	210
Anexo 20: Diseño De Rifles Del Tablero.....	211
Anexo 21: Varilla Roscada.....	212
Anexo 22: Marco Base Del Tablero.....	213
Anexo 23: Tubería Pvc Perforada.....	214
Anexo 24: Anclaje De Pivote.....	215
Anexo 25: Pivote Para Varilla De Altura.....	216
Anexo 26: Soporte Para La Tolva De Alimentación.....	217
Anexo 27: Tolva De Alimentación.....	218
Anexo 28: Explosión De La Manilla.....	219
Anexo 29: Esquema De Instalación Del Sistema Eléctrico.....	220
Anexo 30: Esquema De Instalación Del Sistema Hidráulico.....	221
Anexo 31: Análisis Metalúrgico Del Pre Concentrado.....	222

Anexo 32 Tabla De Materiales, Herramientas Y Equipos Para Fabricar Una Mesa Vibratoria IDRAKO NGU.....	223
Anexo 33 Desplazamiento Lineal Del Acero Sometido A Vibraciones	224

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1.1 Delimitación Espacial del proyecto de tesis	6
Figura N° 2.1 Superficie de Mesa Vibratoria	14
Figura N° 2.2 Mesa vibratoria tipo Wilfley	15
Figura N° 2.3 Mesa vibratoria tipo Diester	16
Figura N° 2.4 Diferentes formas de Mesas Vibratorias.....	17
Figura N° 2.5 aceleración diferencial de una partícula en un medio líquido	23
Figura N° 2.6 Sedimentación Retardada	25
Figura N° 2.7 Consolidación Intersticial	27
Figura N° 2.8 Velocidad diferencial en el flujo de laminación	28
Figura N° 2.9 Acción de las fuerzas de cizallamiento.....	29
Figura N° 2.10 Componentes del tablero	32
Figura N° 2.11 Diagrama de cuerpo libre de la partícula en el flujo de agua	33
Figura N° 2.12 Mecanismo de movimiento de las partículas.....	35
Figura N° 2.13 Mecanismo de Fuerzas actuantes - vectorialmente	35
Figura N° 2.14 Movimiento relativo de partículas	36
Figura N° 2.15 Geometría de tableros	37
Figura N° 2.16 Forma de los riffles	37
Figura N° 2.17 Principio de funcionamiento de un riffles.	38
Figura N° 2.18 Mecanismo del flujo en los riffles	39
Figura N° 2.19 Simulación de un elemento metálico a carga estática	42
Figura N° 2.20 Simulación de soporte metálico sometido a cargas variadas.....	43
Figura N° 2.21 Tipos de movimiento oscilante	44
Figura N° 2.22 Funcionamiento del motor síncrono	45
Figura N° 2.23 Sistema de variación de frecuencia.....	46
Figura N° 2.24 Sistema de transmisión por engranajes rectos	48
Figura N° 2.25 Diagrama de fuerzas de dos engranajes rectos	48
Figura N° 2.26 Diagrama de fuerzas de un par de engranajes	50
Figura N° 2.27 Distribución de carga radial/axial	52
Figura N° 2.28 Partes de un rodamiento rígidos de bolas	53
Figura N° 2.29 Diagrama de desbalance generada por una masa	53
Figura N° 2.30 Diagrama de cuerpo libre de un resorte sometido a una carga	55

Figura N° 2.31 Elementos de la unión atornillada.....	60
Figura N° 2.32 Diagrama de cuerpo libre de un sistema Pernado	60
Figura N° 2.33 Diagrama de transmisión de potencia en un giro.....	61
Figura N° 2.34 Partes principales de la chumacera	62
Figura N° 2.35 Carga radial/axial.....	63
Figura N° 2.36 Expansión del eje de una chumacera	63
Figura N° 2.37 diagrama de fuerza actuante sobre la chaveta.....	64
Figura N° 2.38 Sistema de bombeo de succión positiva	66
Figura N° 2.39 Alturas en los tipos de succión	67
Figura N° 2.40 Distribución del mineral según sus pesos específicos	71
Figura N° 3.1 Ubicación geográfica del yacimiento aurífero aluvial	77
Figura N° 4.1 Partes de una mesa vibratoria IDRAKO NGU.....	80
Figura N° 4.2 Conexión estructural con arriostramiento.....	86
Figura N° 4.3 Perfil de acero A 500 de 40x40x1.8 mm sometido a tracción	87
Figura N° 4.4 Perfil de acero A 500 de 40x40x1.8 mm sometido a flexión	88
Figura N° 4.5 Diseño del sub ensamble 1	93
Figura N° 4.6 Diseño de la estructura rígida del sub ensamble 2	94
Figura N° 4.7 Diseño del mecanismo de vibración.....	94
Figura N° 4.8 Esquema de reducción de velocidad	95
Figura N° 4.9 Esquema de Variación de frecuencia	100
Figura N° 4.10 Diagrama del tren de engranajes rectos.....	102
Figura N° 4.11 Distribución de fuerzas actuantes en el mecanismo	103
Figura N° 4.12 Dimensiones de una chaveta	105
Figura N° 4.13 Rodamiento rígido de bolas.....	105
Figura N° 4.14 Especificaciones de un rodamiento rígido de bolas	106
Figura N° 4.15 Diseño del contrapeso excéntrico de eje cuadrado.....	107
Figura N° 4.16 Diagrama del contrapeso	107
Figura N° 4.17 Diseño de resorte helicoidal de compresión.....	109
Figura N° 4.18 Sistema resortes – masa – resortes	118
Figura N° 4.19 Representación del sistema en un diagrama de cuerpo libre.....	119
Figura N° 4.20 Diseño del Sub ensamble 3	121
Figura N° 4.21 Forma de una mesa vibratoria convencional	122
Figura N° 4.22 Unión de dos áreas de trabajo de mesas convencionales.....	122
Figura N° 4.23 Geometría de una mesa vibratoria	123

Figura N° 4.24 Geometría ideal de una mesa vibratoria	124
Figura N° 4.25 Triangulo rectángulo de 74°	125
Figura N° 4.26 Sub ensamble 4.....	126
Figura N° 4.27 Dimensiones de la tolva	128
Figura N° 4.28 Aceros estructurales A36 y A500.....	139
Figura N° 4.29 Proceso de tratamiento superficial anticorrosiva.....	140
Figura N° 4.30 Tipos de uniones de ensamble.....	140
Figura N° 4.31 Fabricación del elemento rígido, sub ensamble 1	141
Figura N° 4.32 Fabricación de la tolva o depósito de agua.....	143
Figura N° 4.33 Fabricación de elementos fijados al sub ensamblaje 2.....	144
Figura N° 4.34 Fabricación de contrapesos	144
Figura N° 4.35 Fabricación del tablero	146
Figura N° 4.36 Maquinado de la superficie del tablero	146
Figura N° 4.37 Fabricación de pivote para la varilla de altura	147
Figura N° 4.38 Fabricación del sistema agua a chorro	148
Figura N° 4.39 Fabricación del sistema de succión y bombeo	149
Figura N° 4.40 Tratamiento superficial en el acero	150
Figura N° 4.41 Pre tratamiento superficial del tablero.....	151
Figura N° 4.42 Montaje de los sub ensambles 1 y 5	152
Figura N° 4.43 Punto de montaje de los sub ensambles 1 y 2	153
Figura N° 4.44 Elementos del sub ensamble 2	153
Figura N° 4.45 Montaje de sub ensamble 3	154
Figura N° 4.46 Distribución de colectores	154
Figura N° 4.47 Punto de montaje de los sub ensambles 2 y 3	155
Figura N° 4.48 Punto de montaje de los sub ensambles 3 y 5	155
Figura N° 4.49 Punto de montaje de los sub ensambles 1 y 4	156
Figura N° 4.50 Montaje del panel control.....	157
Figura N° 5.1 Secado del pre concentrado	159
Figura N° 5.2 Cuarteo manual del pre concentrado parcialmente tratado	161
Figura N° 5.3 Pruebas de tamizado del pre concentrado	162
Figura N° 5.4 Granulométrica del pre concentrado en malla 28.....	163
Figura N° 5.5 Granulométrica del pre concentrado en malla 48.....	163
Figura N° 5.6 Granulométrica del pre concentrado en malla 65.....	164
Figura N° 5.7 Granulométrica del pre concentrado en malla 150.....	164

Figura N° 5.8 Granulométrica del pre concentrado en malla -200	165
Figura N° 5.9 Diagrama de flujo de una mesa vibratoria IDRAKO NGU	174
Figura N° 5.10 Muestras obtenidas de la prueba 2	176

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía N° 4.1 Estructura rígida del sub ensamble 1	142
Fotografía N° 4.2 Fabricación de la barra de soporte delantero.....	142
Fotografía N° 4.3 Estructura rígida del sub ensamble 2	143
Fotografía N° 4.4 Fabricación del sistema de contrapesos	145
Fotografía N° 4.5 Fabricación del accionante mecánico del sub ensamble 2	145
Fotografía N° 4.6 Fabricación del marco base	147
Fotografía N° 4.7 Vista del sub ensamble 4.....	148
Fotografía N° 4.8 Manilla roscada de elevación	149
Fotografía N° 4.9 Pre tratamiento superficial del acero.....	150
Fotografía N° 4.10 Tratamiento superficial en la madera	151
Fotografía N° 4.11 Montaje del sistema de depósito del mineral	156
Fotografía N° 4.12 Montaje del sistema eléctrico motor trifásico 220V	157
Fotografía N° 4.13 Montaje del ensamble general.....	158
Fotografía N° 4.14 Vista posterior del ensamble general	158
Fotografía N° 5.1 Pre concentrado del yacimiento Tres estrellas del Sur.....	159
Fotografía N° 5.2 Material orgánico separado del pre concentrado	160
Fotografía N° 5.3 Primera prueba de lavado del pre concentrado	173
Fotografía N° 5.4 Segunda prueba de lavado del pre concentrado	174

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración N° 2.1 Metodología de un diseño.....	19
Ilustración N° 2.2 Esquema de la fuerza y velocidad de un fluido en descenso.....	24
Ilustración N° 2.3 Diagrama esfuerzo-deformación del acero.....	40
Ilustración N° 2.4 Dimensiones de un engranaje.....	50
Ilustración N° 4.1 Diagrama de cuerpo libre de una partícula del pre concentrado.....	81
Ilustración N° 4.2 Aceleración gravimétrica de diferentes partículas del pre concentrado.....	85
Ilustración N° 4.3 Simulación del análisis estático del sub ensamble 1.....	89
Ilustración N° 4.4 Simulación del desplazamiento estático del sub ensamble 1.....	89
Ilustración N° 4.5 Simulación de la deformación estática unitaria.....	90
Ilustración N° 4.6 Distribución de factor de seguridad.....	90
Ilustración N° 4.7 Simulación dinámica lineal de tensión.....	91
Ilustración N° 4.8 Simulación dinámica lineal de desplazamiento.....	92
Ilustración N° 4.9 Deslizamiento dinámico lineal (mm).....	92
Ilustración N° 4.10 Dimensiones de la tolva.....	128
Ilustración N° 4.11 Diseño del sistema de bombeo del sub ensamble 5.....	131
Ilustración N° 4.12 Diagrama del sistema de bombeo.....	133

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 2.1 Relación del criterio de concentración.....	30
Tabla N° 2.2 Número de polos del motor.....	46
Tabla N° 2.3 Fórmulas para calcular las dimensiones de resortes de compresión.....	57
Tabla N° 4.1 Propiedades mecánicas del tubo LAC ASTM A 500	86
Tabla N° 4.2 Resonancia del sub ensamble 1	93
Tabla N° 4.3 Variación de frecuencia y velocidad del sistema.....	96
Tabla N° 4.4 Eficiencias de sistemas reductores de velocidad	100
Tabla N° 4.5 Dimensiones del rodamiento rígidos de bola	106
Tabla N° 4.6 Parámetros de trabajo del rodamiento rígido de bolas.....	106
Tabla N° 4.7 Parámetros de resistencia a la tracción del alambre	111
Tabla N° 4.8 parámetros de resistencia mínima a la tracción	111
Tabla N° 4.9 Resistencias a la fatiga sin modificar para vida infinita	115
Tabla N° 4.10 Resistencias a la fatiga para vida infinita (Zimmerli).....	115
Tabla N° 4.11 Propiedades mecánicas del poliéster parafínico.....	121
Tabla N° 4.12 Especificaciones de mesas vibratorias convencionales	123
Tabla N° 4.13 Balance metalúrgico del yacimiento aurífero (por línea).....	127
Tabla N° 4.14 Valores del coeficiente K de aditamentos	136
Tabla N° 4.15 Especificaciones de una electrobomba periférica.....	136
Tabla N° 4.16 Especificaciones de un motor eléctrico.....	137
Tabla N° 4.17 Especificaciones de un variador de frecuencia	137
Tabla N° 5.1 Clasificación granulométrica del pre concentrado	162
Tabla N° 5.2 Tiempos de operación del equipo	172
Tabla N° 5.3 Pesos obtenidos de la primera operación gravimétrica.....	175
Tabla N° 5.4 Pesos obtenidos de la segunda operación gravimétrica.....	176
Tabla N° 5.5 Balance metalúrgico de la prueba 2.....	178
Tabla N° 5.6 Pasos y parámetros del equipo.....	178
Tabla N° 5.7 Costo de diseño.....	179
Tabla N° 5.8 Costo total de fabricación	180
Tabla N° 5.9 Costos del pre concentrado	180
Tabla N° 5.10 Costo por consumo de energía eléctrica	181
Tabla N° 5.11 Costo por consumo de agua.....	181

Tabla N° 5.12 Costo total de la operatividad	181
Tabla N° 5.13 Costo por análisis de laboratorio	182
Tabla N° 5.14 Costos adicionales	182
Tabla N° 5.15 Costo total de la investigación	183
Tabla N° 5.16 Comparación de bondades de otras mesas vibratorias fabricadas	183

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA

Au	: Oro
CAD	: Diseño asistido por computadora
cm	: centímetro
CV	: Caballos de vapor
EPA	: Agencia de protección medio ambiental
g	: Gramo
Hp	: Caballos de fuerza
Hz	: Frecuencia
kg	: Kilogramo
Kw	: Kilowatts
L	: Litro
m	: Metro
min	: Minuto
MINAM	: Ministerio del ambiente
mm	: Milímetro
Mpa	: Mega pascales
MSI	: Mantenimiento, servicio e ingeniería
N	: Newton
Pulg	: Pulgadas
Rad	: Radianes
rpm	: Revoluciones por minuto
s	: Segundo

TM	: Toneladas métricas
μ	: Micras
Le	: Longitud del engranaje
Ps	: Potencia del sistema de transmisión
Pt	: Potencia teórica
Dp	: Diámetro primitivo
Di	: Diámetro interno
De	: Diámetro externo
B	: Ancho del engranaje
M	: Momento

INTRODUCCIÓN

En el yacimiento Tres estrellas del Sur de la zona Boca Colorado, dentro de la tecnología de tratamiento de minerales auríferos existe una necesidad para el desarrollo regional. Donde los problemas medio ambientales son críticas en este sector, debido al uso del mercurio en la amalgamación del oro; para ello, esta investigación consiste en diseñar, construir y operar una mesa vibratoria que cumple normas de cuidado medio ambiental utilizando el método de concentración gravimétrica por medio de una mesa vibratoria.

El objetivo del presente trabajo consiste en diseñar, construir y operar una mesa vibratoria capaz de separar el oro del pre concentrado que poseen impurezas. Para fabricar una mesa vibratoria se tomó en cuenta la compra de materiales para el diseño del equipo tratando de minimizar los costos comparados con otras mesas vibratorias producidos en fábrica. Dicha mesa vibratoria se le ha denominado IDRAKO NGU cuya operación requiere de un material homogéneo de alimentación, preparación de pulpa, caudal de agua y transporte de material hacia la superficie del tablero; a través de colectores en forma de rifles.

Para el desarrollo del presente trabajo se ha dividido por capítulos para hacerlo sistemático y organizado siguiendo una metodología:

Capítulo I Planteamiento del problema, donde enfocamos la necesidad del diseño, construcción y operación de una mesa vibratoria para recuperación de oro del pre concentrado.

Capítulo II Marco teórico, donde enfocamos las bases teóricas a través de leyes y principios, así como el estado de arte.

Capítulo III Metodología, se indicará el procedimiento del trabajo a efectuar, considerando que es una investigación tecnológica de diseño.

Capítulo IV Diseño e ingeniería de una mesa vibratoria IDRAKO NGU, se determinará los principios y mecanismos que interactúan en el equipo.

Capítulo V Operatividad y costos de una mesa vibratoria IDRAKO NGU, se realizará múltiples pruebas modificando las variables de operación del equipo hasta lograr parámetros de operación para pre concentrados aluviales, además determinar los costos de construcción y operatividad.

Conclusiones y recomendaciones, donde sintetizamos los resultados obtenidos y damos alcance algunas recomendaciones necesarias para próximas investigaciones.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Situación problemática

La explotación de oro en los yacimientos aluviales se inició hace varias décadas, donde obtienen pre concentrado; usando concentradores gravimétricos de tipo canaletas. Este pre concentrado es llevado al proceso de amalgamación y posteriormente el oro metálico se obtiene mediante refogado o quemado del mercurio, es ahí donde inicia los problemas de emisión y liberación antropogénica de mercurio y sus compuestos.

La investigación efectuada sobre el contenido de mercurio en los peces, informa que las concentraciones de mercurio superan los estándares internacionales que son menos de 1 ppm. El reporte muestra los efectos del mercurio en áreas alejadas del yacimiento, como las comunidades indígenas.

De acuerdo con el Decreto Supremo N° 010-2016-MINAM, poner fin al uso indiscriminado del Mercurio, proteger el medio ambiente y la salud de los peruanos es parte de la implementación del Convenio de Minamata. Norma que ratifica para el tema de la minería artesanal y a pequeña escala, el diseño y la implementación de planes de acción nacional para promover la adopción de tecnologías alternativas o reductoras que reemplazaran el uso de mercurio.

Una mesa vibratoria puede tratar pre concentrados de oro fino y ultra fino de hasta malla 400, además de concentrar y limpiar limo, barros y materiales livianos; obtiene un producto final destinada a fundición directa. Este equipo existe en el mercado mundial, pero tiene un costo adquisitivo demasiado alto.

Para dar solución a estos problemas; tanto económica, social, tecnológico y medio ambiental, es necesario diseñar, construir y operar una mesa vibratoria, para tratar pre concentrados proveniente del yacimiento aurífero Tres Estrellas del Sur de la zona de Boca Colorado - Madre de Dios y de este modo remediar la tecnología de la pequeña minería, y así evitar la contaminación ambiental por el uso del mercurio. Su carácter tecnológico de innovación reduce progresivamente los niveles de contaminación del mercurio tanto en la salud y el medio ambiente.

1.2 Formulación de problemas

1.2.1 Problema general

¿Será posible diseñar, construir y operar una mesa vibratoria IDRAKO NGU para tratar pre concentrado de oro proveniente del yacimiento Tres Estrellas del Sur de la zona Boca Colorado – Madre de Dios?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Las características mineralógicas del pre concentrado de oro serán las adecuadas para el diseño, construcción y operación de una mesa vibratoria IDRAKO NGU del yacimiento Tres Estrellas del Sur en la zona Boca Colorado – Madre de Dios?
- ¿Qué variables se debe establecer para el diseño, construcción y operación de una mesa vibratoria IDRAKO NGU y tratar pre concentrados de oro?
- ¿Las pruebas operacionales de una mesa vibratoria IDRAKO NGU permitirá una buena recuperación del pre concentrado de oro del yacimiento Tres Estrellas del Sur de la zona Boca Colorado – Madre de Dios?
- ¿Cuáles serán los costos del diseño, construcción y operación de una mesa vibratoria IDRAKO NGU para tratar pre concentrado de oro del yacimiento Tres Estrellas del Sur de la zona Boca Colorado – Madre de Dios?

1.3 Justificación

1.3.1 Justificación Tecnológica

El uso tecnológico de una mesa vibratoria se justifica, porque logra mejorar la recuperación de oro a partir del pre concentrado; que se basa en la separación de partículas mediante la aplicación combinada de fuerzas ejercidas por el flujo de agua y las vibraciones. Este equipo reemplaza la tecnología artesanal tradicional, que utiliza productos químicos altamente tóxicos para nuestro medio ambiente, donde se visualiza una recuperación deficiente de oro. Con el uso de esta tecnología limpia, se obtiene concentrado rico en oro libre de limo y cuarzo. Obteniendo un producto para la fundición, este proceso es llamado recuperación de oro por fusión directa el cual reemplaza al proceso de amalgamación en su totalidad.

1.3.2 Justificación Económica

El proyecto resulta factible debido a que el diseño y construcción de una mesa vibratoria IDRAKO NGU resulta mucho más económico a comparación de otras mesas vibratorias expuestas en el mercado internacional, por tanto, se justifica económicamente.

1.3.3 Justificación Social

Con esta tecnología se pretende mejorar el desempeño y eficiencia de los trabajadores del yacimiento aurífero Tres Estrellas del Sur; así implementar técnicas que desarrollen sus capacidades e inducciones sociales. Donde salen beneficiados los trabajadores del yacimiento y la población. También se considera el artículo 2° de licencia social, que define al conjunto de percepciones que tiene la comunidad u otros grupos de interés respecto de la seguridad, salud, sostenibilidad e impacto a largo plazo que tienen las actividades metalúrgicas de extracción. Al cuidar la salud y bienestar general de los trabajadores del yacimiento Tres estrellas del Sur y de la población de Boca Colorado se justifica socialmente.

1.3.4 Justificación Ambiental

En el yacimiento Tres Estrellas del Sur de la zona Boca Colorado, el mercurio se utiliza para separar el oro de las partículas estériles; a este proceso se le conoce como amalgamación. El proceso consiste en utilizar tres kilos de mercurio por cada kilo de oro que se procesa, después se somete al proceso de refogado para recuperar el oro de la amalgama; en este proceso se origina la evaporación del mercurio. Al liberar este gas a la atmósfera son inhalados por los propios mineros, comunidades vecinas y poblaciones distantes a la zona minera; donde reciben las emisiones a través de corrientes de agua, aire y el consumo de alimentos contaminados con mercurio provocando desórdenes neurológicos principalmente en pobladores y los animales.

Se ha investigado ampliamente cómo el uso de mercurio en el yacimiento, genera emisiones y liberaciones del metal a la atmósfera, el agua y el suelo desatan procesos de bioacumulación y biomagnificación. En caso de verter directamente el mercurio en las aguas del lugar, este se adhiere a las partículas de los sedimentos en el agua y es transportado por varios kilómetros río abajo, donde la vegetación y los suelos propician la metilación del mercurio inorgánico convirtiéndose en metilmercurio; su forma orgánica y más tóxica. Una vez metilado, el mercurio se bioacumula en organismos vivos y luego se biomagnifica a medida que circula por los niveles superiores de las cadenas tróficas en los que su toxicidad aumenta en hasta diez veces más. También afecta a personas de comunidades nativas que no necesariamente están situadas cerca del yacimiento, por ejemplo; lo único que hacen es consumir pescado desconociendo la toxicidad a la que estuvieron expuestas. Tras ser liberado el mercurio, este viaja por el ambiente, entra en contacto con organismos vivos, peces, aves y mamíferos hasta llegar al cuerpo humano.

Para lograr una solución integral al problema ampliamente ya desarrollado en el yacimiento Tres Estrellas del Sur, es necesario aplicar tecnología limpia; mejorando el método

de concentración gravimétrica. Usando una mesa vibratoria IDRAKO NGU se torna eficiente para producir concentrados ricos en oro de manera sencilla, con alta capacidad, y al mismo tiempo de bajo costo y de una eficacia razonable, para separar minerales pesados valiosos del estéril, sin usar mercurio; cuidando nuestro ecosistema. Así queda justificado ambientalmente el presente trabajo.

1.4 Objetivos de investigación

1.4.1 Objetivo General

Diseñar, construir y operar una mesa vibratoria IDRAKO NGU para tratar pre concentrado de oro proveniente del yacimiento Tres Estrellas del Sur de la zona Boca Colorado - Madre de Dios.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar las características mineralógicas del pre concentrado de oro para el diseño, construcción y operación de una mesa vibratoria IDRAKO NGU del yacimiento Tres Estrellas de Sur en la zona Boca Colorado - Madre de Dios, a nivel de laboratorio.
- Establecer las variables de control para el grado de inclinación, flujo de agua, intensidad de vibraciones para el diseño, construcción y operación de una mesa vibratoria IDRAKO NGU.
- Evaluar la recuperación de oro teniendo en cuenta el grado de inclinación, flujo de agua e intensidad de vibraciones de una mesa vibratoria IDRAKO NGU para mejorar la recuperación de oro.
- Determinar los costos de diseño, construcción y operación de una mesa vibratoria IDRAKO NGU para tratar pre concentrado de oro del yacimiento Tres Estrellas del Sur de la zona Boca Colorado – Madre de Dios.

1.5 Delimitación del estudio

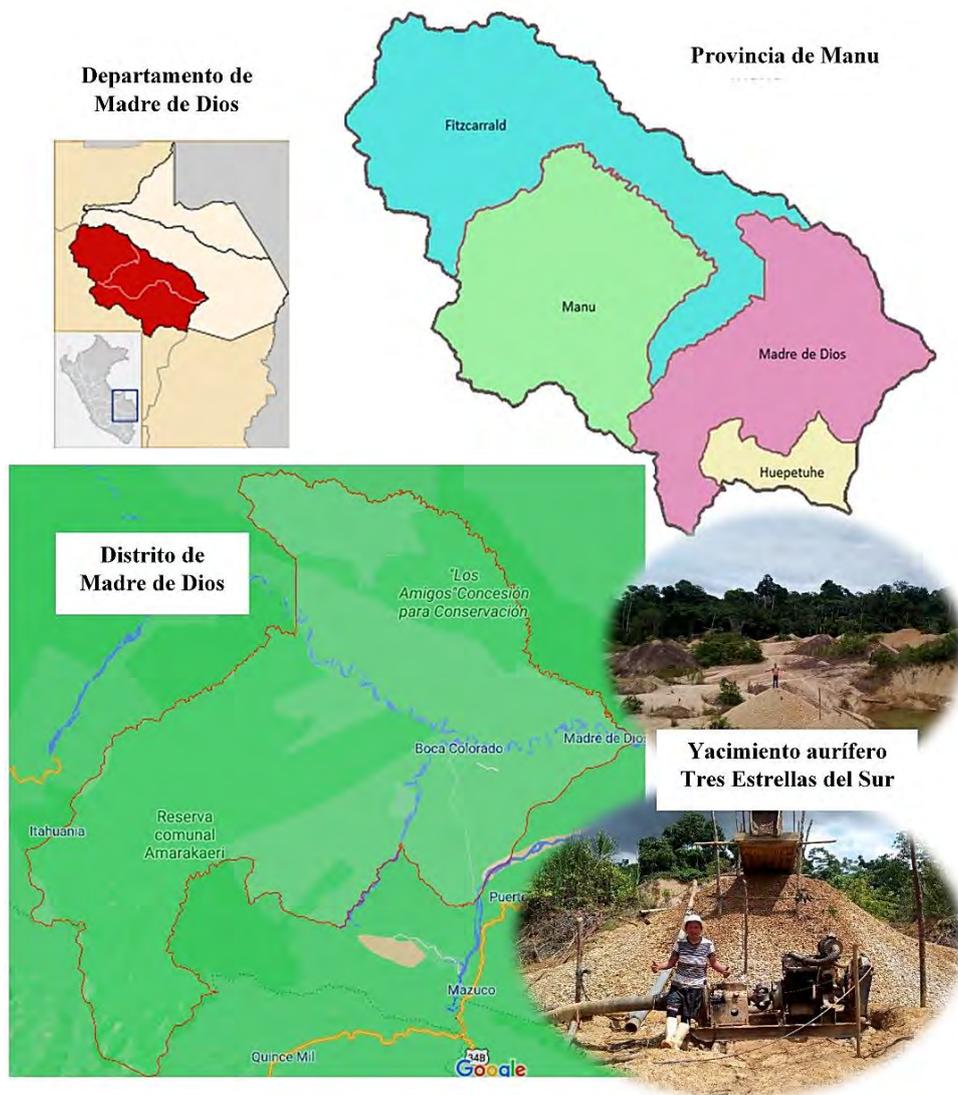
1.5.1 Delimitación temporal

La investigación tecnológica se elaboró en los años 2019 – 2021.

1.5.2 Delimitación espacial

La figura N° 1.1 muestra la delimitación espacial, Se ubica en el departamento de Madre de Dios, provincia de Manu, distrito de Madre de Dios, Capital de Boca Colorado – Yacimiento Aluvial Tres Estrellas del Sur.

Figura N° 1.1 Delimitación Espacial del proyecto de tesis



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedente internacional

Aguilar M., & Corella J., (2016) "Diseño y construcción de una mesa concentradora para la optimización del proceso de extracción de oro en una empresa de Zaruma"

Donde se argumenta que: el único sustento económico de los pobladores de Zaruma, Portobelo y Piñas de la provincia de El Oro; es gracias a la actividad minera aurífera. También, se sabe qué; esta labor genera una serie de impactos a la naturaleza de un tiempo a esta parte. Existen inversiones por parte de los dueños, de cada parcela minera; pero es ineficiente en el aspecto de aplicaciones de nuevas tecnologías. Por otra parte, también su recuperación del oro es deficiente por presencia micro partículas y estas no son captadas fácilmente con los equipos que tienen. Para ello; se desarrolló el proyecto que trata sobre: el diseño y construcción de una mesa concentradora usando una tecnología limpia para la optimización del proceso de extracción de oro, destinada a la planta de beneficio de la ciudad de Zaruma. Donde el objetivo es: Diseñar y construir una mesa concentradora para la optimización del proceso de extracción de oro, en una empresa minera de ciudad de Zaruma. La metodología de investigación que usa: Es seleccionar personas expertas en el tema, tales se conocen como ingenieros metalúrgicos, mecánicos e industriales para poder obtener información y datos exactos. Los resultados fueron exitosos se recuperó el 82% de oro, se tiene una firmeza en la mesa ayudando a la precisión de las vibraciones.

Esta investigación concluye: una vez finalizado el proyecto, si es posible construir la mesa concentradora de oro para poder minimizar la emisión de contaminantes al medio ambiente, ocasionado por la actividad irresponsable del hombre de la actualidad.

2.1.2 Antecedente nacional

Vilcapoma, J., & Chavez, Z., (2012). "Pruebas experimentales a nivel de laboratorio de concentración gravimétrica y flotación de minerales de oro en la planta concentradora "Caselita" en Condoroma – Cusco"

La investigación que se realiza en el presente trabajo se trata de la recuperación de partículas de oro libre mediante la concentración gravimétrica no tradicional utilizando para las pruebas experimentales el concentrador falcón, que según la bibliografía es un equipo más versátil y productivo con respecto a equipos tradicionales como por ejemplo el Jig, manejando parámetros de operación como: campo centrífugo, espesor de flujo. Donde el objetivo es: emplear el concentrador gravimétrico a través de las pruebas experimentales a nivel de laboratorio, hacer un tratamiento por concentración gravimétrica a los minerales de oro de la mina "Caselita". El resultado de la concentración gravimétrica con el concentrador Falcón, es atractiva en la recuperación del mineral en las pruebas metalúrgicas. Concluyendo en las pruebas metalúrgicas con una recuperación del mineral de 76.23 % y obteniendo los relaves con una ley baja de oro.

2.1.3 Antecedente local

Villachica, C., & Llamosas J., & Villachica L., (2012). "Oro ecológico, tecnología para la obtención de oro sin mercurio en la minería de pequeña escala"

El uso del mercurio está asociado con las operaciones de minería en pequeña escala (MPE). El envenenamiento con mercurio es un gran desasosiego internacional, cuando más de 1000 pescadores japoneses en Minamata (Japón) y sus familias murieron por intoxicación al consumir pescado contaminado. En Estados Unidos acaban de aprobar una ley que exige que la industria eléctrica reduzca las emisiones de mercurio en un 50% en 5 años, caso contrario prohibirán a los niños comer pescado. En la selva, como en otras minas tropicales, es más

probable el envenenamiento por peces contaminados por mercurio, lo que aumenta debido a los lavaderos auríferos y por el consumo del mismo. Algunos países prohíben el uso de mercurio, mientras que otros imponen altos impuestos para combatir el uso del mismo. Donde el objetivo es describir el desarrollo de una tecnología que puede ser asimilada por MPE para recuperar el oro sin el uso del mercurio en ninguna de las etapas del proceso. Los resultados obtenidos hasta ahora, muestran que esto es posible mediante la separación magnética de minerales de bajo valor reduciendo significativamente el peso del producto del oro, lo que permite enviar fácilmente el producto a las ciudades para su proceso. El sistema propuesto también reduce el esfuerzo físico del MPE, recupera más el oro y el valor agregado, elimina el costo y la dependencia del uso del mercurio. Este sistema también se aplica a países con actividades de orfebrería. En conclusión, la tecnología desarrollada permite que la MPE pueda recuperar el oro de las gravas auríferas sin emplear mercurio aún en condiciones tan difíciles como las que imperan en la Selva Peruana.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Normas legales

El país cuenta con varias leyes y regulaciones relacionadas con el mercurio que son consistentes con ciertas disposiciones del Convenio de Minamata. Los Estándares de Calidad Ambiental del agua según Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM y los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo según Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM controlan la concentración de parámetros químicos, incluido el mercurio, en el agua y el suelo, respectivamente.

2.2.1.1 Proyecto estándar de calidad ambiental de aire para mercurio

Según la Resolución Ministerial N° 041-2014-MINAM menciona: La regulación de emisiones de mercurio en concentraciones anuales. esta aprobación permite controlar emisiones

de mercurio a la atmósfera y a su vez otros contaminantes como el plomo, procedente de la incineración de combustible, fijada en el artículo 8 del Convenio de Minamata. Y sobre los residuos sólidos peligrosos que contiene mercurio; su exportación es de acuerdo al consentimiento del convenio de Basilea: es un ente quien maneja el destino de los residuos sólidos.

2.2.1.2 Decreto Legislativo N°1103

Se establecieron Medidas de Control y Monitoreo para la Distribución, Transporte y Comercialización de Insumos Químicos Disponibles para Minería Ilegal, Emitidas el 4 de marzo de 2012, y los fondos están incluidos en el Registro de Insumos Químicos Controlados. (MINAM) Pág.31

2.2.1.3 Resolución de Superintendencia N° 207-2014-SUNAT

Promulgada por (MINAM): Este decreto dicta una norma complementaria para el registrar el mercurio, también autorizar el ingreso y salida de este metal. Este controla para todo tipo de usuario en el Perú. Este es riguroso y la vez mayor a la del Convenio de Minamata. Pág.31

2.2.1.4 Decreto Supremo N° 010-2016-MINAM

El objetivo es prevenir, monitorear e impedir la degradación ambiental de acuerdo con MINAM, y el Convenio de Minamata sobre el Mercurio que previene el uso indiscriminado del mismo, y así proteger el medio ambiente y la salud pública. Lo mismo que ocurrió con el Kerosene; es decir, salir del mercado nacional. Págs.09-12

En la actualidad, el mercurio se utiliza para aislar y extraer el oro de las rocas en que se encuentran. El mercurio se adhiere al oro para formar una amalgama, así facilita la separación de la roca. Luego se calienta la amalgama, así el mercurio se evapora y queda el oro. El uso del

mercurio se intensifica cada vez más en diversas industrias. También incluir restricciones sobre la importación y exportación de metales pesados, así como medidas para garantizar el almacenamiento seguro de los desechos de mercurio. Se precisa que los mineros deben utilizar otros métodos de separación de minerales, como la operación gravimétrica.

2.2.2 Análisis ambiental – tecnológico

De acuerdo con las normas y estándares medio ambientales del “No uso del mercurio” se pone en evidencia realidades presentes actuales de mediana y pequeña minería; se analiza la problematizada tecnología del yacimiento Tres estrellas del Sur del sector minero Boca Colorado, posteriormente se propone una nueva tecnología de aplicación.

2.2.2.1 ¿Por qué el mercurio es un peligro para la salud y el medio ambiente?

El Mercurio se caracteriza por ser un metal líquido inodoro (T° ambiente). Forma una amalgama con algunos metales (oro y plata), posee un bajo punto de vaporación, y por ende es volátil. El mercurio es nocivo para el medio ambiente, en la atmósfera puede formar compuestos organometálicos, bioacumulación (seres vivos) y biomagnificación (aumenta la concentración a medida que ascienda la cadena trófica). Se establece según (MINAN): Al inhalar vapores de mercurio el organismo retiene entre el 75 a 85 %. Por vía oral, el sistema digestivo absorbe entre 2 a 7 %, pero al comer pescado (metilmercurio) absorbe el 100 %. Págs.09-12

2.2.2.2 Estudios realizados en el Sector Minero Boca Colorado - Madre de Dios

En las comunidades indígenas de Madre de Dios, se observa que los niveles de mercurio son más altos con respecto a los estudios realizados a comunidades no indígenas, (CAMEP 2013). El análisis realizado a los pobladores indígenas arroja un promedio de mercurio de 11.3 ppm. (rango: 5.1 – 17 ppm.), encima de lo permitido según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), la concentración de referencia =1 ppm. Dando a conocer que en

las comunidades indígenas los niveles de mercurio exceden hasta 11 veces los niveles máximos permitidos. CAMEP 2020.

2.2.2.3 Problemática tecnológica de la zona Boca Colorado – Madre de Dios

En la actualidad, la extracción de metales auríferos es uno de los problemas técnicos más preocupantes del sector, debido a la extracción inadecuada que causa daños a la salud y al medio ambiente.

En el proceso de beneficio del oro, se utilizan sustancias tóxicas como el mercurio, afectando no solo la salud de las personas que realizan esta actividad si no también las comunidades aledañas, sin tomar en cuenta las disposiciones y control de la sustancia. La implementación de tecnologías limpias en cada proceso mitigaría la contaminación ambiental y promovería un desarrollo sostenible.

2.2.2.4 Proceso de beneficio de oro del yacimiento Tres estrellas del Sur

La extracción de metales valiosos (oro) a menudo comienza con la deforestación. El oro se extrae del material atravesando canaletas cubiertas por huaypes producidas en esa región, luego se obtiene un pre concentrado y pasa al proceso de amalgamación. La amalgama (perla o botón) se quema en el exterior sin protección. En este contexto, el mercurio recuperado de la batea se almacena y reutiliza sin un proceso de reactivación.

2.2.2.5 Uso y aplicación del mercurio

El mercurio se utilizaba en cantidades significativas en explosivos, medicamentos, equipos y aparatos eléctricos, etc. En la actualidad, los campos de aplicaciones más importantes de los elementos metálicos son instrumentos de medida, productos electrónicos, celdas electrolíticas, catalizadores y en la metalurgia de oro y plata. El uso inapropiado del mercurio conduce a grandes pérdidas, en forma líquida durante el procesamiento del mineral, y también

en forma de vapor de mercurio y compuestos inorgánicos durante la separación oro y el mercurio.

2.2.2.6 Perdidas de mercurio en la recuperación de oro por amalgamación

La amalgamación realizada en la minería aluvial, utiliza contenedores abiertos, o descubiertos. Donde, a la carga mineral se le aumenta mercurio en exceso, formando una amalgama de oro. Al final del proceso las pérdidas se producen en forma de vapor de mercurio y partículas finas de amalgama, que se escapan del contenedor abierto durante la operación o al final en los desechos o colas.

La utilización del mercurio en circuito abierto es claramente la mayor fuente de pérdida de mercurio en la producción de oro. Pierden grandes cantidades de mercurio en los procesos de molienda y amalgamación simultánea. En general, las trampas o planchas de amalgamación no fueron suficientes para recuperar el oro, y las colas aún quedan intactas con oro libre, amalgama y mercurio libre. En la minería aluvial, la pérdida de mercurio es generalmente la misma.

2.2.2.7 Aplicación de nuevas tecnologías para reemplazar el mercurio en la minería

Si requerimos obtener soluciones integrales, no basta con decir que es mejor el uso de una nueva tecnología limpia, también se requiere de nuevos métodos y a su vez modificar la práctica laboral. La gravimetría en un yacimiento aluvial se ve muy eficiente para obtener pre concentrado que se permitirán en una óptima comercialización.

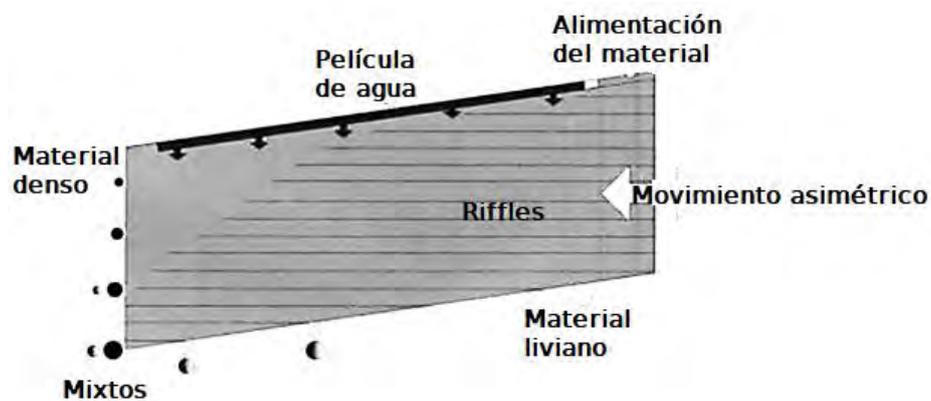
2.2.2.8 Mesas Vibratorias

La mesa vibratoria es un tipo de equipo útil para la minería aurífera, donde el tipo de tecnología que usa; esta contribuye al medio ambiente al no usar productos químicos para

concentrar minerales auríferos. El mecanismo que emplea ayuda a separar las partículas valiosas del material estéril.

Estos equipos son concentradores gravimétricos que emplean flujo laminar sobre superficies inclinadas. Donde existe un movimiento longitudinal mediante vibraciones que son transversales a la dirección del fluido; se usa principalmente para minerales como del estaño, wolframio y oro. También tienen facilidades para tomar muestras directamente durante la operación, mediante bateas de tipo cónicas.

Figura N° 2.1 Superficie de Mesa Vibratoria



Fuente: (Aguilar Asanza & Corella Merizalde, 2016) recuperada de <http://slideplayer.com.br/slide/9945749/>

Estas mesas te permiten realizar múltiples variaciones en sus parámetros operativos, de esta forma, así poder adaptar cualquier tipo de material. Esto se debe a que el mecanismo de separación del mineral aurífero es visible, entonces cualquier momento se realiza cambios en los parámetros (inclinación longitudinal y transversal, cantidad de agua, etc.) en dichos cambios pueden visualizarse inmediatamente.

La superficie inclinada se puede describir como un plano rectangular o romboide, en dicha superficie contiene rifles, como se observa en la Figura N° 2.1. Su mecanismo de esta mesa es mediante un movimiento longitudinal, a lo largo del eje axial, cuando el agua fluye en la dirección del eje más corto.

Esta máquina establece doble funcionalidad: La primera consiste separar correctamente los minerales en dos o más fases, y la segunda función es hacer que la separación sea efectiva descargando las diferentes fases en pequeños compartimientos separados.

La operación gravimétrica que separa a los metales o minerales de diferentes densidades específicas esparciéndose en toda la superficie del tablero con un ligero grado de inclinación y con ayuda de la fuerza de gravedad más el flujo de agua. Así se detalla algunas mesas vibratorias como: la Wilfley y Diester, funcionan por el proceso gravimétrico y con un grado de inclinación para realizar la respectiva separación. A continuación, se detallan algunos tipos de mesas vibratorias existentes:

- a) **Mesas vibratorias Wilfley:** Este tipo de equipo se usa para clasificar el mineral del más pesado al más liviano; mediante la aplicación de fuerzas gravitatorias y centrífugas. La efectividad de este tipo de mesa, depende de cuán homogéneo es el mineral de alimentación; también depende de la densidad de pulpa.

Figura N° 2.2 Mesa vibratoria Wilfley



Fuente: (Aguilar Asanza & Corella Merizalde, 2016) recuperada de <http://slideplayer.com.br/slide/9945749/>

Ya que cualquier imperfección modifica el comportamiento que transporte el agua hacia borde del tablero. En estos últimos años se crearon más modelos de mesas de este tipo,

incrementando su eficiencia, y como ejemplo se observa en la Figura N° 2.2, un tipo de mesa moderna.

- b) Mesa vibratoria Diester:** La funcionalidad de esta mesa sigue siendo la misma a la mesa Wilfley. La diferencia, está en el mecanismo del cabezal, la geometría de su tablero y el tipo de diseño en riffles; así detalla en la figura N° 2.3.

Figura N° 2.3 Mesa vibratoria Diester



Fuente: (Aguilar Asanza & Corella Merizalde, 2016) recuperada de <http://slideplayer.com.br/slide/9945749/>

- c) Mesa vibratoria Holman, SKM y Concenco:** Este tipo de mesas se estaba dejando de utilizar, siendo reemplazados por otro tipo de equipo que usan procesos de flotación. Mientras tanto debido al fuerte impacto en contra del medio ambiente; se está empezando a reutilizar la tecnología de las mesas vibratorias con la finalidad de minimizar costos de operación y aplicación de insumos químicos.

Estas mesas han facilitado la concentración de minerales cada vez más eficientes, separando materiales cada vez más finas, volumen y peso específico, aprovechando a la gravedad y la fuerza del fluido laminar que circula por la superficie de la mesa, el oro metálico se torna eficiente por su peso alto y así facilita la separación.

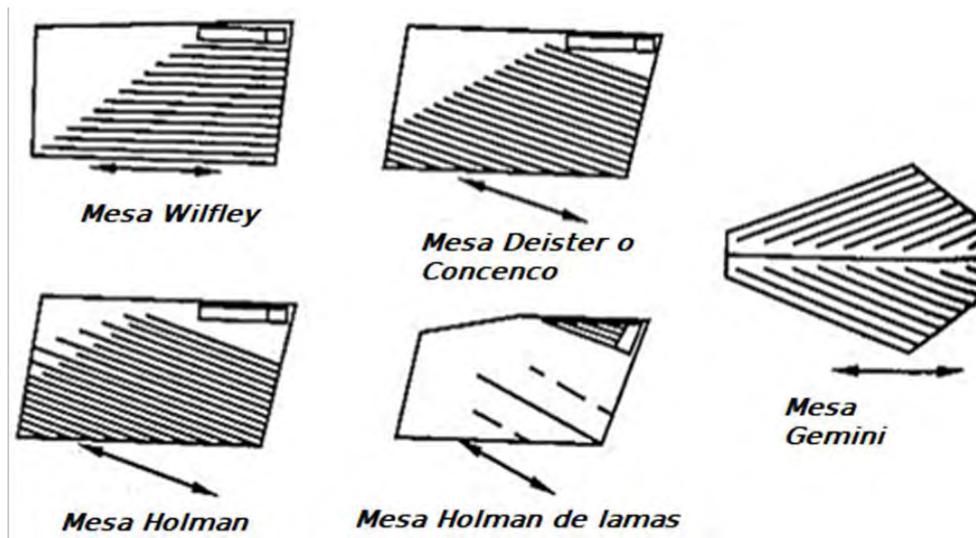
- d) Mesa vibratoria Gemini:** Este tipo de mesa usa el método mejorado a las anteriores mesas, el área de separación gravimétrica es mayor, tiene un sistema de desfogue de

agua por el centro de la mesa, tiene riffles que direccionan tanto los materiales livianos como los pesados a diferentes depósitos que cosechan en su interior.

- e) **Mesa vibratoria Xtruder:** Similar al Gemini, considerada mesa del siglo, también llamada mesa de acabado de oro y el último paso antes de la fundición, es simple de operar, tiene control de velocidad variable completo, tiene una capacidad de 125 kg por hora, puede recuperar oro fino y ultra fino hasta malla 400 con un requerimiento mínimo de agua de 24 a 40 litros por minuto. El agua trabaja en circuito cerrado. Cuenta con un sistema de riffles avanzados.

2.2.2.9 Clasificación y mecanismos de las mesas vibratorias

Figura N° 2.4 Diferentes formas de Mesas Vibratorias



Fuente: (Peralta S., 2010) recuperada de <http://slideplayer.com.br/slide/9945749/>

Se clasifican según a la forma del tablero; como se ve en la figura N° 2.4; estas tienen el mismo principio y mecanismo para tratar minerales auríferos y otros metales de gravedad específica similares al oro. También se diferencian en la inclinación y ubicación de sus riffles. Los principios de concentración de las mesas vibratorias son:

- a) **El fenómeno de película de flujo laminar:** Esta se define como la velocidad diferencial que tiene la partícula del líquido en el momento que desciende, donde la velocidad

máxima está en el borde la película y es cero en el contacto del líquido con la superficie del tablero.

Este fenómeno físico da como resultado de que partículas pesadas se sedimenten y los de baja densidad sean trasladadas por la capa superior del fluido, donde la partícula alcance la máxima velocidad, mientras las partículas de elevada densidad se mueven demasiado lento por la mínima velocidad del fluido en esa zona. Las partículas gruesas y las partículas de baja densidad se mueven a una velocidad intermedia en la mitad de la capa de la película líquida.

- b) El principio de obstrucción al libre asentamiento de las partículas:** En este fenómeno la operación de selección es dada por la gravedad específica que poseen las partículas en suspensión que están sobre la superficie del tablero; los más densos son concentrados por los riffles y son suspendidas verticalmente por el flujo. La concentración resultante de dichas partículas es similar al principio anterior.
- c) El reordenamiento por consolidación:** Se debe a un fenómeno que dificulta la deposición libre de partículas, en el cual las partículas finas continúan depositándose entre los espacios porosos de las partículas gruesas después de asentarse.
- d) La aceleración asimétrica:** Este es el efecto del movimiento recíproco asimétrico repartido en la superficie de la mesa, dando como resultado un movimiento discontinuo del material en la superficie.

2.2.3 Desarrollo de un proyecto mecánico

Para realizar diseños mecánicos de un futuro equipo, es necesario analizar minuciosamente todo punto de vista al mismo tiempo. Así se detalla en la ilustración N° 2.1, todo el proceso para realizar un diseño de cualquier proyecto mecánico; siguiendo una serie de fases para lograr el objetivo determinado.

Ilustración N° 2.1 Metodología de un diseño



Fuente: (Cortizo Rodriguez, 2013) recuperada de www.ue-inti.gov.ar

La fase de mayor importante en el proceso de diseño es la segunda, para ello; es necesario dedicar estrictamente toda la energía y tiempo suficiente en el momento de la investigación asignada.

Su finalidad es evitar frustraciones al momento de elaborar soluciones desconociendo información de la misma, esto significa solo una cosa; reinventar es una pérdida de tiempo, se puede optimizar, mejorar o sustituir acorde a una necesidad. A su vez uno puede estar en la situación, de que comprarla sería mejor opción que elaborar uno propio. Cabe destacar que, es bueno aprender de problemas que requieren ser resueltos en el momento de la investigación acerca tecnologías.

Según Cortizo Rodríguez donde menciona: Que esta segunda fase puede ser completada según a las necesidades mencionadas en la fase anterior, donde se renueva o modifica alguna

de la anterior. La gran mayoría de ingenieros no le dan mucha importancia a esta fase, suelen pasar directamente a la etapa de ideación o invención del proceso, en ese sentido nosotros debemos evitar. (Cortizo Rodriguez, 2013) Pág. 09.

2.2.3.1 Proceso de diseño

- a) **Diseño:** Dibujar, proyectar o planificar una acción o trabajo.
- b) **Diseño de ingeniería:** Conjunto de principios científicos y de ingeniería que define un dispositivo, proceso o sistema con suficiente detalle para permitir su implementación.
- c) **Diseño de máquinas:** Apoya la producción de máquinas que funcionan de forma segura y fiable. (Norton, Diseño de Maquinas, 1999) Pág. 3
- d) **Iteración:** Antes de tomar en cuenta los pasos del proceso de diseño, es necesario indicar que esto no es un proceso lineal. Más bien, es esencialmente un proceso repetitivo con progresión impredecible; es decir, repetir y volver a un estado anterior, si los resultados no alcanzan un diseño aceptable. (Norton, Diseño de Maquinaria, 2000)

2.2.3.2 Pasos del proceso para diseñar un equipo

- Identificar las necesidades
- Verificación de antecedentes
- Declaración del propósito
- Especificaciones del trabajo
- Sinopsis
- Estudio
- Elección
- Diseño minucioso
- Prototipo y resultados
- Construcción

2.2.3.3 Fundamentos para diseñar un equipo

Para dar inicio al diseño de un proyecto mecánico, es obligatorio estar bien preparado y seguir las recomendaciones al pie de la letra. Es necesario analizar los diversos aspectos que puedan cambiar la calidad del proyecto a diseñar. Se enuncia principales características para tener en cuenta al momento de iniciar el nuevo diseño, definir su viabilidad; mediante los siguientes aspectos primordiales que deben cumplir:

- Debe ser funcional, cubriendo en su totalidad la necesidad propuesta y también expectativas del consumidor.
- Debe ser seguro, a falta de eliminar el peligro mediante el diseño, es necesario incluir medidas de protección e instruir adecuadamente.
- Debe ser confiable, evitando fallas acordes al tiempo que se haya determinado confiable.
- Debe ser competitivo, en el tipo de mercado destino.
- Debe ser útil, cubriendo adecuadamente las expectativas del usuario.
- Debe ser fabricable en serie, para cubrir requerimientos adicionales.
- Debe ser comerciable, al alcance de todo tipo de usuario.

2.2.3.4 Factor de seguridad y códigos para diseñar un equipo

Para medir la índole de un diseño, se basa a diferentes aspectos. Como la determinación de factores de seguridad con fines de evitar una probabilidad de falla; siguiendo normas y códigos de diseño.

Según (Norton, Diseño de Maquinas, 1999): Un factor de seguridad es manifestada de diversas maneras. Definida por la relación, donde dos cantidades con las mismas unidades se dividen y carecen de unidades como: resistencia sobre esfuerzo, carga crítica sobre carga aplicada, carga para la falla de la pieza entre la sobrecarga esperada de servicio, ciclos máximos sobre ciclos aplicados, etc. Un factor de seguridad siempre carecerá de unidades. Pág. 18

¿Como diseñar mecánicamente diferentes componentes?, se debe recurrir a normas y códigos. Existe muchas organizaciones que rigen protocolos de diseño; tales son:

- Instituto Americano del Hierro y el Acero (AISI)
- Sociedad Americana para Metales (ASM)
- Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME)
- Sociedad Americana de Ensayo de Materiales (ASTM)
- Sociedad Americana de Soldadura (AWS)
- Organización Internacional de Normalización (ISO)
- Sociedad de Ingenieros de Automoción (SAE).

Para fabricar diferentes máquinas, siempre es bueno regirse con responsabilidad a las normas estrictamente; así se define: un fabricante es legalmente responsable de cualquier daño o perjuicio que resulte debido a cualquier defecto. Para prevenir dicha responsabilidad es bueno analizar bien el diseño y monitorear la calidad.

2.2.4 Principales mecanismos de una mesa vibratoria IDRAKO NGU

La concentración gravimétrica se define como un proceso donde las partículas de diferentes densidades, formas y tamaños son separadas entre sí por la fuerza de gravedad, centrífuga y conjunta. Los principales mecanismos que actúan en el proceso gravimétrico son:

2.2.4.1 Aceleración diferencial

En los concentradores gravimétricos, las partículas sufren intromisión de las paredes del concentrador u de otras partículas; y así, moverse por la superficie en un tiempo y una distancia muy corta hasta detenerse. Como resultado, las partículas experimentan una aceleración y desaceleración continuas, y bajo ciertas condiciones de aceleración puede proporcionar una parte significativa del periodo de movimiento de la partícula.

La ecuación N° 2.1 establece el movimiento de una partícula sedimentada en un fluido viscoso de la densidad es:

$$m \times a = m \times \left(\frac{dv}{dt}\right) = m \times g - m' \times g - R \quad \text{Ec. [2.1]}$$

Donde:

m: masa del mineral

a: aceleración

m': masa del fluido;

g: gravedad;

R: resistencia del fluido

Si en la aceleración inicial, la velocidad tiende a cero entonces la resistencia de los fluidos puede ser considerada nula, entonces se tiene la ecuación N° 2.2.

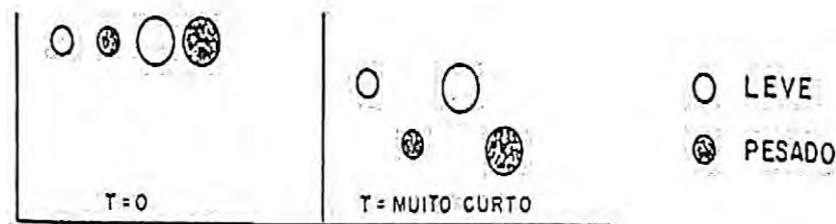
$$\frac{dv}{dt} = \left(1 - \frac{\rho}{\Delta}\right) \times g \quad \text{Ec. [2.2]}$$

Donde:

ρ : Densidad de los fluidos

Δ : Densidad de la partícula

Figura N° 2.5 aceleración diferencial de una partícula en un medio liquido



Fuente: (Gobierno del Estado de Ceará, 2013) recuperada

http://educacaoprofissional.seduc.ce.gov.br/images/material_didatico/mineracao/mineracao_concentracao_mineral.pdf

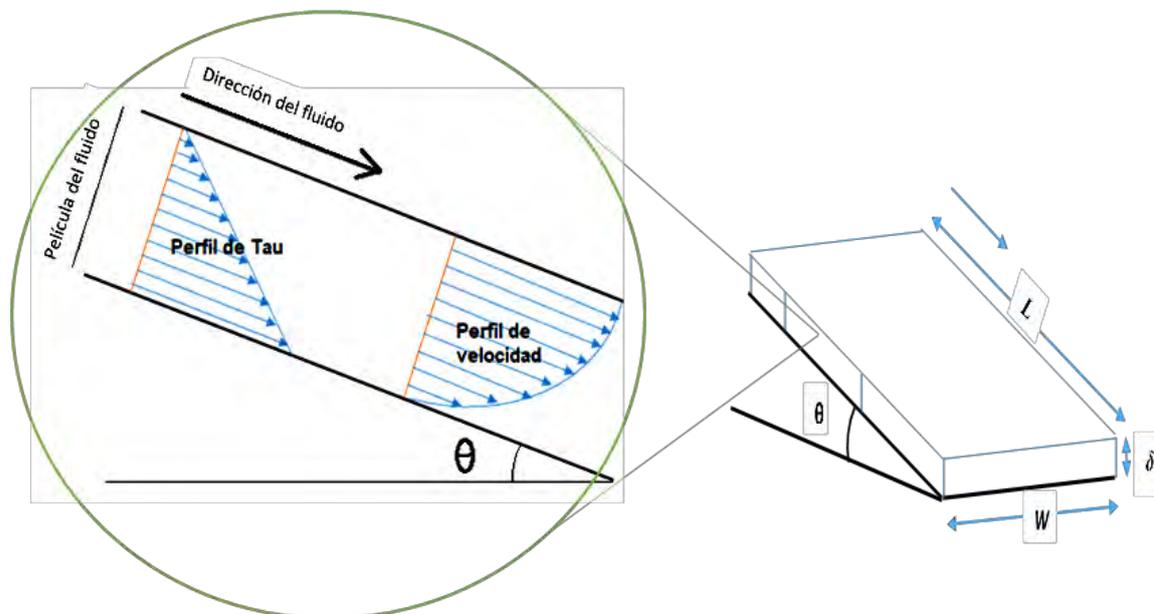
Por tanto, como se muestra en la figura N° 2.6, la aceleración inicial de los minerales es independiente del tamaño y depende solo de las densidades del sólido y del fluido (o pulpa). En teoría, el tiempo restante es lo suficientemente corto, y la distancia total recorrida por la

partícula se ve afectada con frecuencia por la aceleración diferencial inicial (y la densidad) en vez de la velocidad final (y por el tamaño). (Gobierno del Estado de Ceará, 2013) Pág. 19

2.2.4.2 Fuerza y velocidad del fluido en descenso

El mecanismo físico del fluido que se desliza en una superficie con un ligero grado de inclinación y una fuerza de fricción nula, bajo condiciones de tipo laminar posee distribuciones de velocidad y fuerza. Se basan de acuerdo al análisis del Perfil de Velocidad y el Perfil de Tao, así se detalla en la ilustración N° 2.2.

Ilustración N° 2.2 Esquema de la fuerza y velocidad de un fluido en descenso



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Fuerza de un fluido en descenso; según el análisis del perfil de Tao, la fuerza como un flujo de cantidad de movimiento esta expresada por la ecuación N° 2.3:

$$F_{fluido} = W \times L \times \delta \times \rho \times g \times \text{sen}\theta \quad [N] \quad \text{Ec. [2.3]}$$

Donde:

W*L: área de recorrido por película del fluido (m²).

delta: espesor de la película (mm).

g: fuerza de gravedad (m/s²).

rho: densidad del fluido (kg/m³).

θ : ángulo de inclinación en grados sexagesimales

Velocidad del fluido en descenso; define, que el fluido recorre una distancia en un tiempo determinado; según el análisis del perfil de velocidad. Dicha velocidad esta expresado por la ecuación N° 2.4:

$$V_{fluido} = \frac{\rho \times g \times \text{sen}(\theta) \times \delta^2}{2 \times \mu} \left[\frac{m}{s} \right] \quad \text{Ec. [2.4]}$$

Donde:

μ : coeficiente de viscosidad dinámica (kg/m.s)

2.2.4.3 Sedimentación retardada

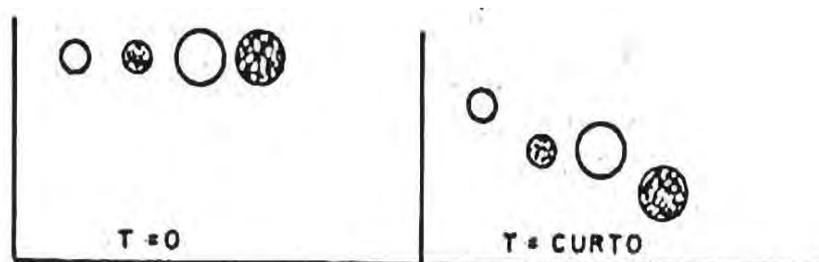
Una partícula queda libre en un fluido (agua, por ejemplo) es acelerada cierto tiempo por acción de la fuerza gravitatoria, aumentando su velocidad hasta alcanzar un valor máximo, la velocidad terminal, que esta permanece constante.

La razón de sedimentación libre en agua $\rho=1$ de dos partículas esféricas de diámetro d_1 , d_2 y densidades Δ_1 y Δ_2 es expresada por la relación:

$$\frac{d_1}{d_2} = \left(\frac{\Delta_2 - 1}{\Delta_1 - 1} \right)^m \quad \text{Ec. [2.5]}$$

Donde m varía de 0.5 para partículas pequeñas ($<0.1\text{mm}$) obedeciendo a la ley de Stokes; y a 1 para partículas gruesas ($>2\text{mm}$) obedeciendo a la ley de Newton.

Figura N° 2.6 Sedimentación Retardada



Fuente: (Gobierno del Estado de Ceará, 2013) recuperada

http://educacaoprofissional.seduc.ce.gov.br/images/material_didatico/mineracao/mineracao_concentracao_mineral.pdf

La relación de la razón de tamaño requerida para que dos partículas presenten la misma velocidad terminal. Se verifica que, para un cierto par de minerales, la relación será mayor en las condiciones de Newton ($m = 1$).

En otras palabras, la diferencia de densidad entre partículas minerales tiene un efecto más pronunciado en las bandas gruesas, o aún, en el otro lado, en las bandas granulométricas más finas, la separación por este mecanismo es menos efectiva. Por ejemplo, una pepita esférica de oro de 2 mm de diámetro presenta la misma velocidad terminal, en caída libre, que una partícula de cuarzo de 20 mm.

En la práctica, equivale a decir que, para un determinado par de minerales, la separación de estos, en granulometría gruesa (régimen de Newton), puede alcanzarse en intervalos de tamaños relativamente más anchos. En granulometría fina (régimen de Stokes), es necesario un mayor estrechamiento del intervalo de tamaño para una separación más eficiente por este mecanismo.

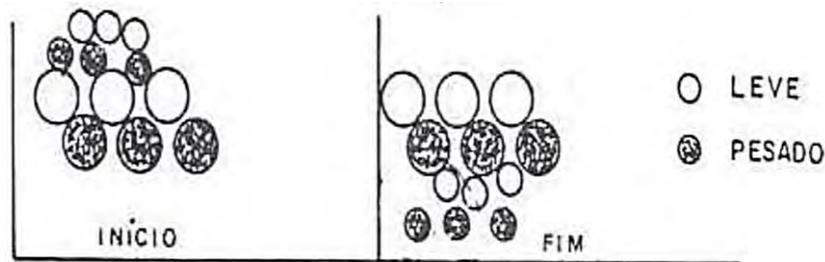
Si en lugar de agua existe la sedimentación en una pulpa (agua y minerales) el sistema se comporta como un líquido pesado, y la densidad de la pulpa es más importante que la del agua. La condición de sedimentación retardada mostrada en la figura N° 2.6, o con interferencia, ahora prevalece.

Considerando las partículas esféricas, la relación de sedimentación retardada es similar a la relación anterior, sustituyendo la densidad del agua por la densidad de la pulpa. Es fácil comprobar que esta relación es siempre mayor que en la situación de sedimentación libre. Si la densidad de la pulpa fuera 2, por ejemplo, los diámetros del cuarzo y el oro serían $48/2$ mm y $100 / 80$ m, respectivamente, para comparación como el ejemplo anterior, es decir, los diámetros en los que las partículas de cuarzo y oro presentarían la misma velocidad terminal en los dos regímenes. (Gobierno del Estado de Ceará, 2013) Pág. 21

2.2.4.4 Consolidación Intersticial

Este mecanismo mostrado en la figura N° 2.7, ocurre por la formación de intersticios entre partículas gruesas, dando mayor libertad de movimiento a las partículas finas en dichos vacíos conformados. Por ejemplo, al final del proceso del Jig, el lecho empieza a comprimirse y las pequeñas partículas bajan por los intersticios debido a la gravedad y al flujo de agua decreciente, inducido por la succión que inicia. (Gobierno del Estado de Ceará, 2013) Pág. 22.

Figura N° 2.7 Consolidación Intersticial



Fuente: (Gobierno del Estado de Ceará, 2013) recuperada

http://educacaoprofissional.seduc.ce.gov.br/images/material_didatico/mineracao/mineracao_concentracao_mineral.

2.2.4.5 Velocidad diferencial en el flujo de laminación

El principio en que se basa la concentración en flujo laminar es el hecho que cuando una película de agua fluye sobre una superficie inclinada y lisa, en condiciones de flujo laminar ($Re < 500$), la distribución de velocidad es parabólica, nula en la superficie y alcanza su máximo en la interfaz del fluido con el aire. Este principio se aplica a la concentración en lámina de agua de pequeño espesor, hasta aproximadamente diez veces el diámetro de la partícula.

Cuando las partículas se transportan en una lámina de agua, se arreglan en la siguiente secuencia, de arriba abajo en un plano inclinado: finas pesadas, gruesas pesadas y finas leves, y gruesas leves. La forma influye en este arreglo, con las partículas achatadas posicionándose por encima de las esféricas. Se observa que este arreglo es el inverso de lo que ocurre en la

sedimentación retardada, sugiriendo que una clasificación hidráulica (que se vale del mecanismo de sedimentación) del mineral a ser concentrado por velocidad diferencial es más adecuada que un cribado como se observa en la figura N° 2.8. (Gobierno del Estado de Ceará, 2013) Pág. 22.

Figura N° 2.8 Velocidad diferencial en el flujo de laminación



Fuente: (Gobierno del Estado de Ceará, 2013) recuperada

http://educacaoprofissional.seduc.ce.gov.br/images/material_didatico/mineracao/mineracao_concentracao_mineral.

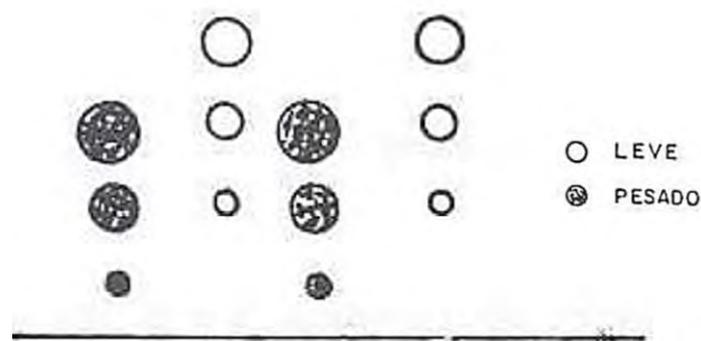
2.2.4.6 Acción de las fuerzas de cizallamiento

Si una suspensión de partículas se somete a un cizallamiento continuo, existe una tendencia al desarrollo de presiones a través del plano de cizallamiento y perpendicular a este plano, pudiendo resultar en la segregación de las partículas. Este fenómeno fue primero determinado por Bagnold en 1954. El esfuerzo de cizallamiento mostrado en la figura N° 2.9, puede surgir de una pulpa que fluye sobre una superficie inclinada, o ser producido por un movimiento de la superficie bajo la pulpa, o aún de la combinación de los dos. El efecto resultante de estos esfuerzos de cizallamiento sobre una partícula es directamente proporcional al cuadrado del diámetro de la partícula y decrece con el aumento de la densidad. De este modo, las fuerzas de Bagnold provocan una estratificación vertical: partículas gruesas y ligeras hacia arriba, seguidas de finas leves y gruesas pesadas, con las finas pesadas cercanas a la superficie

del plano. Se observa que este mecanismo de separación produce una estratificación opuesta a la resultante de la sedimentación retardada o clasificación hidráulica.

Cuando el cizallamiento es promovido sólo por el flujo de pulpa, el caudal tiene que ser sustancial para crear esfuerzos de cizalla suficientes para una separación, requiriendo normalmente mayores inclinaciones de la superficie. Donde el cizallamiento es, principalmente, debido al movimiento de la superficie, se pueden utilizar bajos caudales y menores ángulos de inclinación de la superficie.

Figura N° 2.9 Acción de las fuerzas de cizallamiento



Fuente: (Gobierno del Estado de Ceará, 2013) recuperada

http://educacaoprofissional.seduc.ce.gov.br/images/material_didatico/mineracao/mineracao_concentracao_mineral.

2.2.4.7 Criterio y eficiencia de concentración gravimétrica

El criterio de concentración (CC) se utiliza en un primer acercamiento y proporciona una idea de la facilidad de obtener una separación entre minerales por medio de operaciones gravimétricas, desconsiderando el factor de forma de las partículas minerales. El criterio de concentración - originalmente sugerido por Taggart, basado en la experiencia industrial - aplicado a la separación de dos minerales en agua, definida por la ecuación N° 2.6:

$$CC = \frac{(\rho_p - \rho_f)}{(\rho_l - \rho_f)} \quad \text{Ec. [2.6]}$$

Donde:

ρ_p : densidad del mineral pesado

ρ_l : densidad del mineral leve

ρ_f : densidad del fluido

También ρ_p y ρ_l son las masas específicas de los minerales pesado y ligero, respectivamente, considerando la masa específica del agua igual a 1,0. La tabla N° 2.1, muestra la relación entre el criterio de concentración y la facilidad de hacer una separación gravídica.

Tabla N° 2.1 Relación del criterio de concentración

CC	Significado
> 2,5	Separación eficiente hasta 200 mallas (74 μm)
2,5 – 1,75	Separación eficiente hasta 100 mallas (149 μm)
1,75 – 1,50	Separación eficiente hasta 10 mallas (2 mm), pero difícil
1,70 – 1,20	Separación posible hasta $\frac{1}{4}$ ", pero difícil
< 1,20	La concentración por gravedad ya no es posible.

Fuente: (Gobierno del Estado de Ceará, 2013) recuperada

http://educacaoprofissional.seduc.ce.gov.br/images/material_didatico/mineracao/mineracao_concentracao_mineral.pdf

Según Burt (1984), para incluir el efecto de las formas de las partículas a ser separadas, el criterio de concentración se debe multiplicar por un factor de razón de forma (FRF). Este factor es el cociente entre los factores de sedimentación (FS) de los minerales pesados y ligeros,

El factor de sedimentación para un mineral se define como la razón de las velocidades terminales (v) de dos partículas del mismo mineral, del mismo tamaño, pero de formas diferentes; la primera partícula siendo aquella para la que se desea calcular el factor de sedimentación (FS), y la segunda partícula una esfera.

De acuerdo con Burt, el criterio de concentración (CC) puede ser muy útil si la forma de las partículas se considera; caso contrario, sorpresas desagradables en cuanto a la eficiencia del proceso pueden verificarse en la práctica. Las ecuaciones siguientes redefinen el criterio de concentración, según la sugerencia de Burt:

$$CC = \left[\frac{(\rho_p - 1)}{(\rho_l - 1)} \right] * FRF \quad \text{Ec. [2.7]}$$

$$FRF = \frac{FS_p}{FS_l} \quad \text{Ec. [2.8]}$$

$$FS_p = \frac{V_p}{V_{p(esf.)}} \quad \text{Ec. [2.9]}$$

$$FS_l = \frac{V_l}{V_{l(esf.)}} \quad \text{Ec. [2.10]}$$

En cualquier caso, los datos de la tabla indican la dificultad de alcanzar una separación eficiente cuando se trata de fracciones abajo (74 m.), Este criterio de concentración, sin embargo, fue sugerido con base en equipos que operan bajo la acción de la gravedad, fuerza centrífuga amplía la posibilidad de una separación más eficiente con materiales finos y superfino

2.2.5 Diseño de una mesa vibratoria tipo IDRAKO NGU

2.2.5.1 Capacidad de tratamiento de una mesa vibratoria

Capacidad de operación del equipo al tratar el pre concentrado proveniente del yacimiento Tres Estrellas del Sur por hora es:

$$\text{Capacidad de operación} = \frac{\text{Peso total del pre concentrado} \left[\frac{Kg}{h} \right]}{24} \quad \text{Ec. [2.11]}$$

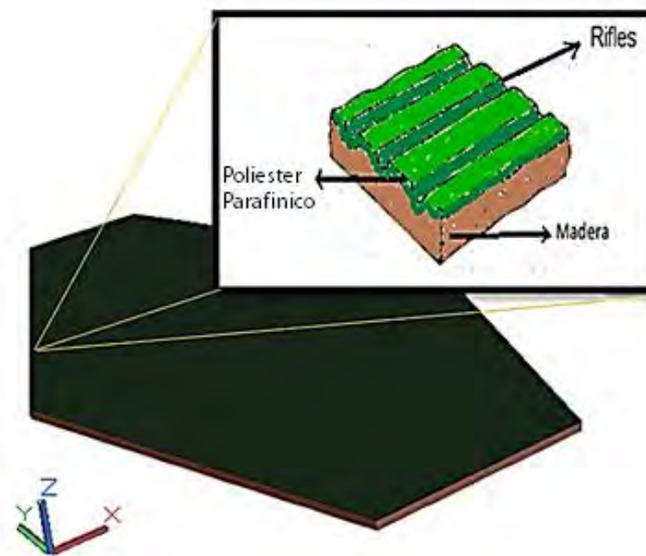
La capacidad de tratamiento de una mesa vibratoria IDRAKO NGU, esta denotada por CO; esta define, al peso total de pre concentrado obtenida en el yacimiento de estudio en 24 horas. Donde se obtiene cantidades menores a una tonelada. Entonces para determinar dicha capacidad, se toma como referencia el peso de pre concentrado obtenido en una hora.

2.2.5.2 Superficie de una mesa vibratoria

Tomando en cuenta el contacto superficie – partícula en un medio líquido; en dicha superficie se estima que la fuerza de fricción sea cercana a cero, para que las partículas tengan

un deslizamiento adecuado. Y para ello se nota los contactos: metal – partícula, vítreo – partícula, polímero – partícula. En este diseño se toma en cuenta el contacto de superficie vítreo – partícula, debido a su aspecto ambiental que sobresale con respecto a las demás opciones. Para el tipo de superficie vítrea se toma como alternativa de uso del poliéster parafínico, debido a la accesibilidad del producto y facilidad de manejo. Este material está compuesto de filamentos muy finos de vidrio aglomerados con resinas que, al entrelazarse dan lugar a una estructura fuerte perfecta para ser empleada como superficie de una mesa vibratoria.

Figura N° 2.10 Componentes del tablero



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020) 1/20

Entonces, se aprovecha lo que nos brinda la naturaleza con ciertos componentes orgánicos; entre ellos la madera, que tiene la facilidad de maquinado y además constituye una superficie altamente rugosa que favorece a la adherencia del poliéster parafínico, donde es mostrada en la figura N° 2.10.

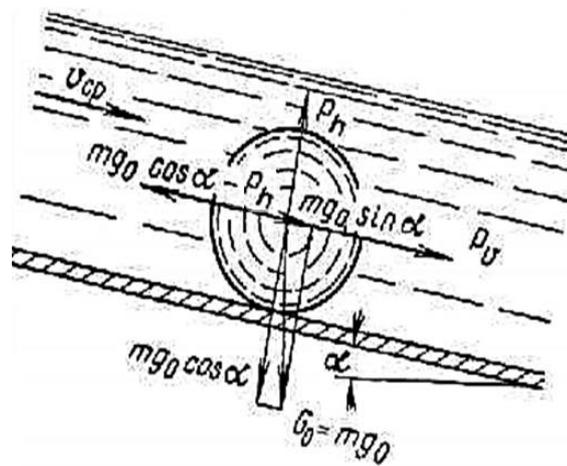
El acabado del poliéster parafínico como superficie debe ser completamente lisa. Si la superficie es rugosa, es decir, si tiene en su superficie algunos huecos capaces de proteger parcialmente las partículas finas del roce del fluido; se incrementará la pendiente requerida para mover las partículas rodando o deslizando. Por lo tanto, la relación del ángulo crítico con el

tamaño utilizado no se aplicará a las superficies rugosas, dando un problema analíticamente complejo en la concentración de la película fluida.

2.2.5.3 Mecanismo de la partícula en la superficie

Las fuerzas que actúan sobre la partícula, en el flujo de agua que fluye a lo largo de una superficie inclinada. Se muestra en la figura N° 2.11:

Figura N° 2.11 Diagrama de cuerpo libre de la partícula en el flujo de agua



Fuente: Recuperada: <https://present5.com/gravitacionnoe-obogashhenie-obshhie-predstavleniya-processy-apparaty-2/> (2020)

Donde las fuerzas actuantes sobre la partícula son:

- $m g_0 \cos \alpha - P_n$: Fuerza de fricción opuesta a la fuerza de la gravedad de la partícula.
- $m g_0 \sin \alpha$: Fuerza de presión dinámica del chorro de agua en la dirección del movimiento de las partículas.
- $m g_0 \cos \alpha$: Fuerza de acción dinámica del componente vertical de la velocidad que surge en el régimen turbulento.
- $G_0 = m g_0$: Peso del cuerpo en el medio, dirigido verticalmente hacia abajo.
- V_{cp} : velocidad promedio del fluido
- P_n : Fuerza normal

- P_v : Fuerza del fluido

Las partículas en la superficie del tablero poseen las siguientes fuerzas: la presión hidráulica del agua de descarga dirigida a través de la superficie, las fuerzas de fricción en la superficie (para las partículas en la capa inferior) y la fuerza de inercia causada por la vibración en el tablero dirigida a lo largo de ella.

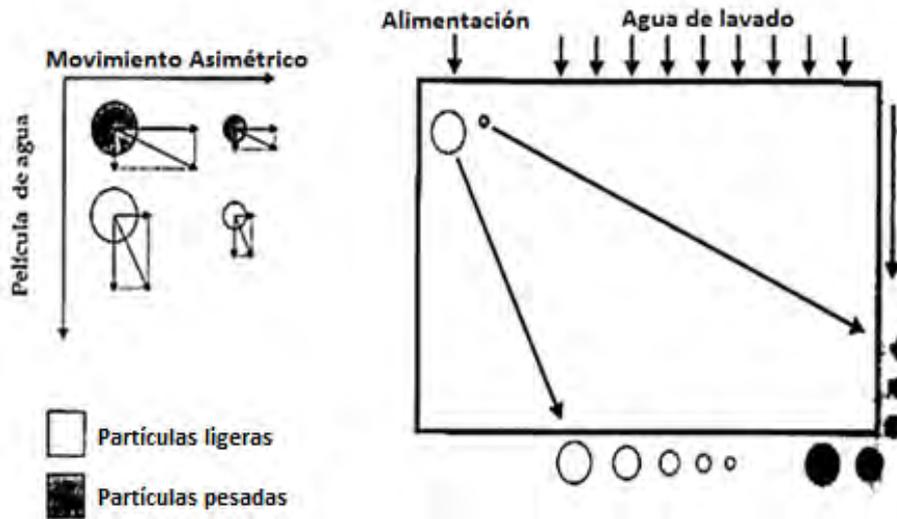
Como resultado de las vibraciones en la mesa, las partículas se mueven hacia adelante en la dirección longitudinal del tablero. Cuando la superficie se mueve rápidamente hacia atrás, aparecen fuerzas de inercia que superan las fuerzas de fricción de las partículas en la superficie, como resultado, las partículas se mueven a lo largo de la superficie por los riffles.

Las partículas de mayor peso específico avanzarán a mayor velocidad, ya que la fuerza de inercia adquirida es mayor que las partículas con menor peso específico. Como resultado, se forma un abanico de partículas de varias densidades (ligeras – intermedias – pesadas) que se alejan desde el lugar de alimentación de la superficie. Además, las partículas pesadas generalmente se encuentran más cerca de la superficie del tablero y tienen un contacto más fuerte con ella que las partículas ligeras ubicados más arriba. La fuerza del agua, por el contrario, actuará más sobre las partículas de menor peso específico, es decir, las partículas ligeras en la dirección transversal se moverán más rápido que las pesadas.

La altura de los riffles disminuye con la distancia desde la alimentación, por lo que la capa de mineral que se ha asentado y retenido por los riffles disminuye debido a la acción del agua de lavado.

Bajo la influencia de estas fuerzas, el mecanismo de movimiento de las partículas en una superficie de medio líquido se alinea y toman una dirección gracias a la diferencia de peso específico que existe. Este efecto causa una trayectoria en diagonal obtenida por la suma vectorial de las velocidades como se muestra en la figura N° 2.12:

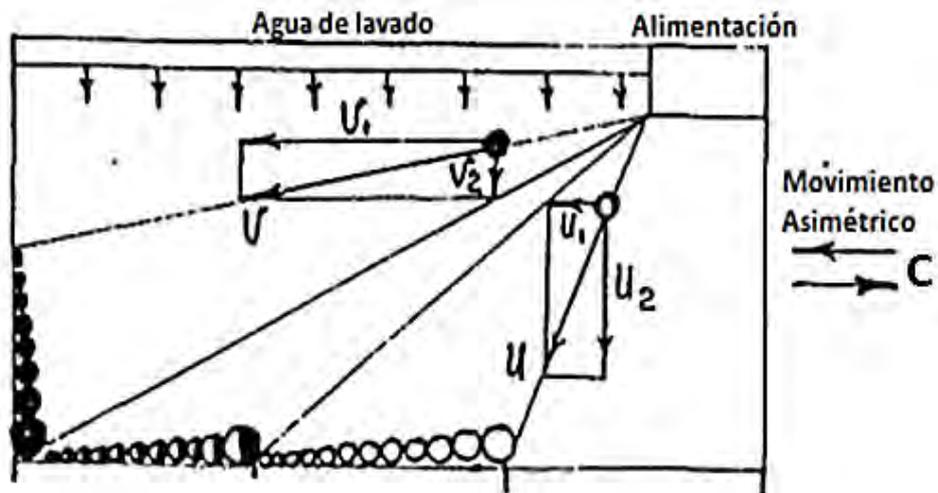
Figura N° 2.12 Mecanismo de movimiento de las partículas



Fuente: (Peralta S., 2010) recuperada: <http://slideplayer.com.br/slide/9945749/>

Vectorialmente, las fuerzas actuantes, ejercidas por flujo de agua y el movimiento asimétrico del plano inclinado sobre las partículas. Se muestra en la figura N° 2.13:

Figura N° 2.13 Mecanismo de Fuerzas actuantes - vectorialmente



Fuente: Recuperada: <https://present5.com/gravitacionnoe-obogashhenie-obshhie-predstavleniya-processy-apparaty-2/> (2020)

Los vectores v_2 y u_2 de las trayectorias del movimiento de la partícula bajo la acción de la fuerza de lavado del agua a lo largo de un plano inclinado y los vectores v_1 y u_1 bajo la acción de la inercia causada por el movimiento asimétrico la mesa. Como resultado de la suma de las fuerzas que actúan sobre la partícula mineral, obtenemos las resultantes v y u , que

determinan la dirección de la trayectoria del movimiento en la superficie de la mesa. El ángulo de deflexión de las partículas dependerá de la relación de U , V y C .

Donde:

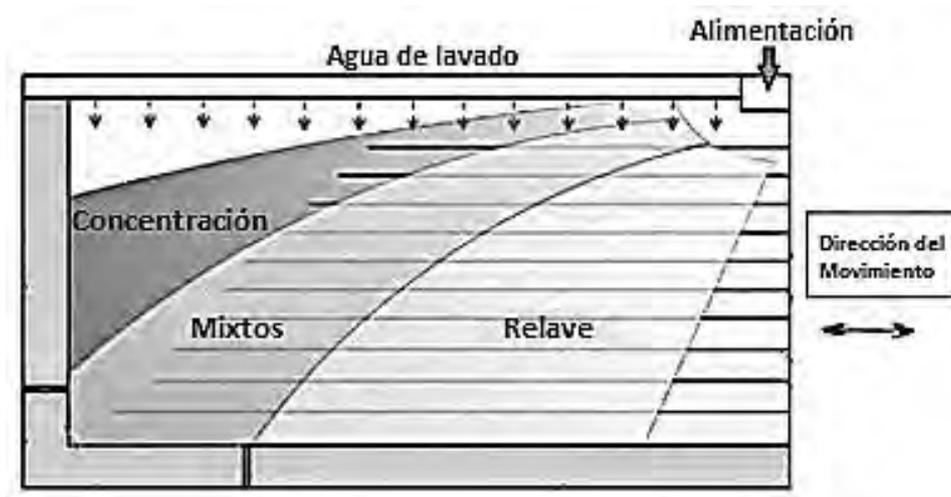
V_1 y U_1 : Vectores actuantes de la partícula en el eje abscisas (x)

V_2 y U_2 : Vectores actuantes de la partícula en el eje ordenadas (y)

V y U : Resultantes de los vectores actuantes

Entonces, de acuerdo al movimiento que tienen las partículas se analiza el movimiento relativo de las mismas sobre una mesa vibratoria, como se muestra en la figura N° 2.14:

Figura N° 2.14 Movimiento relativo de partículas

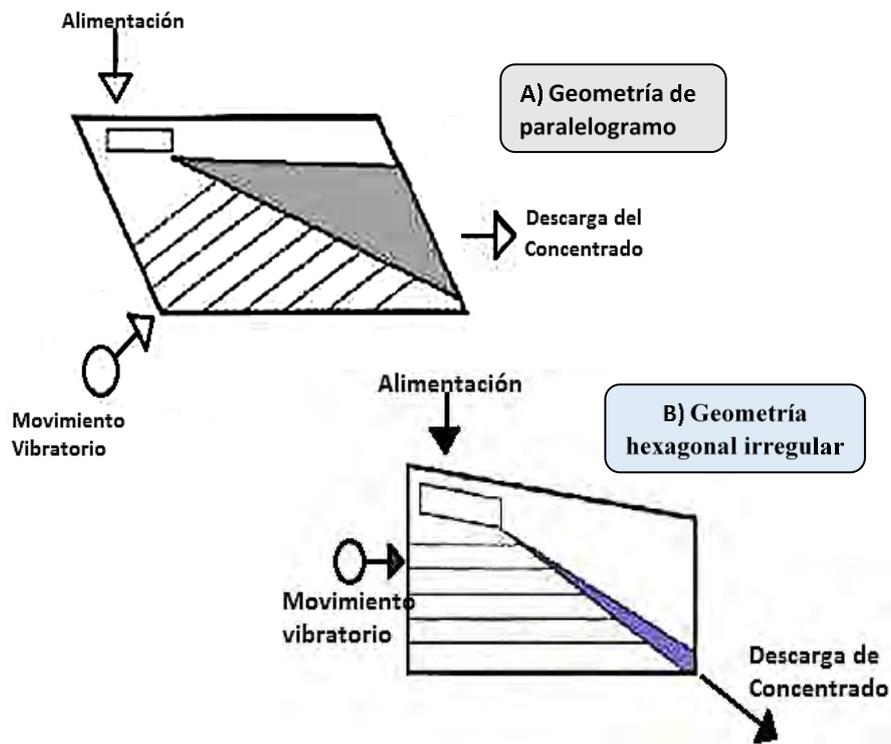


Fuente: (Peralta S., 2010) recuperada <http://slideplayer.com.br/slide/9945749/>

2.2.5.4 Geometría del tablero

En la figura N° 2.15 A), se observa un tablero geométrico que presenta un abanico de descarga de concentrando demasiado amplia debido al ángulo de lavado con respecto a la alimentación. En cambio, en la figura N° 2.15 B), el abanico de descarga del concentrado es aguda, obteniendo un concentrado más selecto.

Figura N° 2.15 Geometría de tableros



Fuente: Recuperado de <https://present5.com/gravitacionnoe-obogashhenie-obshhie-predstavleniya-processy-apparaty-2/>. (2020)

Es importante tener en cuenta el peso del tablero para el diseño de una mesa vibratoria ya que influye en la amplitud de las vibraciones; a mayor peso del tablero, mayor será la amplitud de las vibraciones.

2.2.5.5 Forma y característica de los riffles

Figura N° 2.16 Forma de los riffles



Fuente: (Peralta S., 2010) recuperada: <http://slideplayer.com.br/slide/9945749/>

Los riffles cubren parcialmente la superficie del tablero, paralelas al eje longitudinal de la misma, formando canales que constituyen una secuencia de secciones estrechas donde se produce la estratificación, permitiendo el tratamiento de la alimentación y aumento de la capacidad. (Gobierno del Estado de Ceará, 2013)

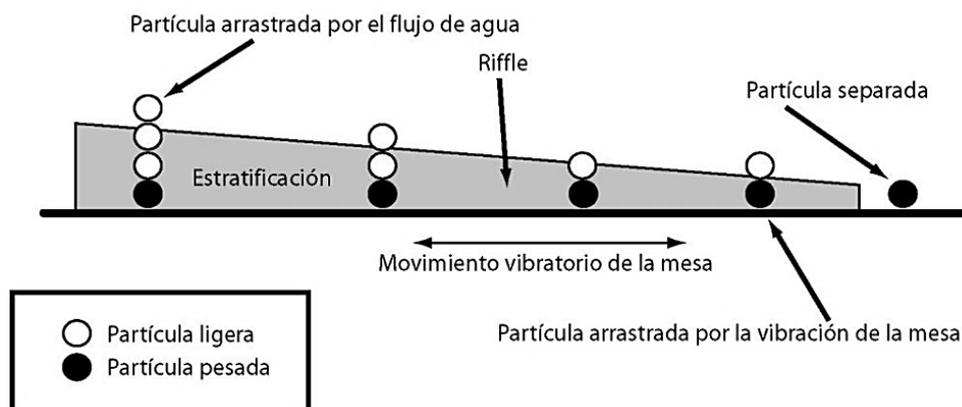
La forma de los riffles se muestra en la figura N° 2.16, donde se observa el diseño ovalado de manera secuencial. Las dimensiones de estas, son dependiendo al tamaño de las partículas tratadas. Se fundamentan de acuerdo a las siguientes características y funciones:

- Formar cavidades donde ocurren la formación del lecho y estratificación.
- Ocultar las partículas pesadas para la transmisión de vibraciones.
- Mueve las partículas mayores y leves al flujo transversal del agua, después de la estratificación.
- Retener las partículas pesadas en el fondo
- Transmitir con efectividad la acción de estratificación de la mesa a la pulpa.
- Retornar el flujo turbulento para producir la separación de las partículas entre ellas.

(Peralta S., 2010) Pág. 32.

Los riffles son paralelos al eje longitudinal lo que posibilita el tratamiento de la alimentación y aumento de la capacidad.

Figura N° 2.17 Principio de funcionamiento de un riffles.

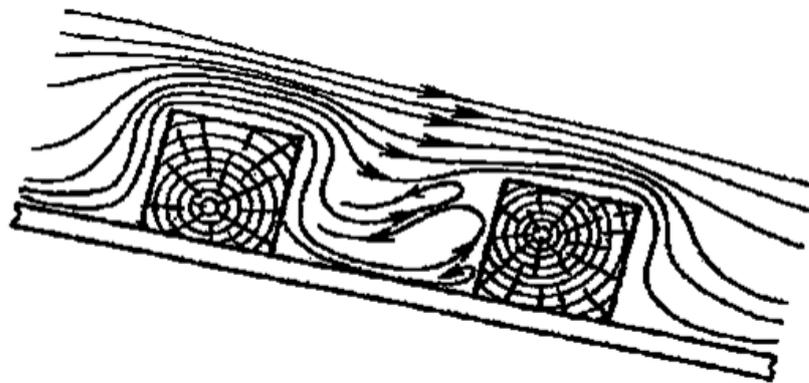


Fuente: (Procesos de Concentracion, 2011)

Además, los riffles inician con una altura de 2 mm que va descendiendo conforme se acerca a la zona del concentrando final, el flujo de agua transversal va eliminando las partículas ligeras de la parte superior de la estratificación mientras las más pesadas, situadas en el fondo, se desplazan hacia el final del concentrado. Como se muestra en la figura N° 2.17.

El mecanismo de los riffles en una mesa vibratoria genera dos flujos: el flujo laminar superior y el flujo turbulento inferior, como se muestra en la figura N° 2.18:

Figura N° 2.18 Mecanismo del flujo en los riffles



Fuente: Recuperado de <https://thepresentation.ru/uncategorized/gravitatsionnoe-obogashchenie> (2020)

La naturaleza turbulenta del movimiento del agua entre los riffles contribuye a una mejor estratificación del mineral en términos de peso específico y la remoción de minerales ligeros de la capa de los pesados.

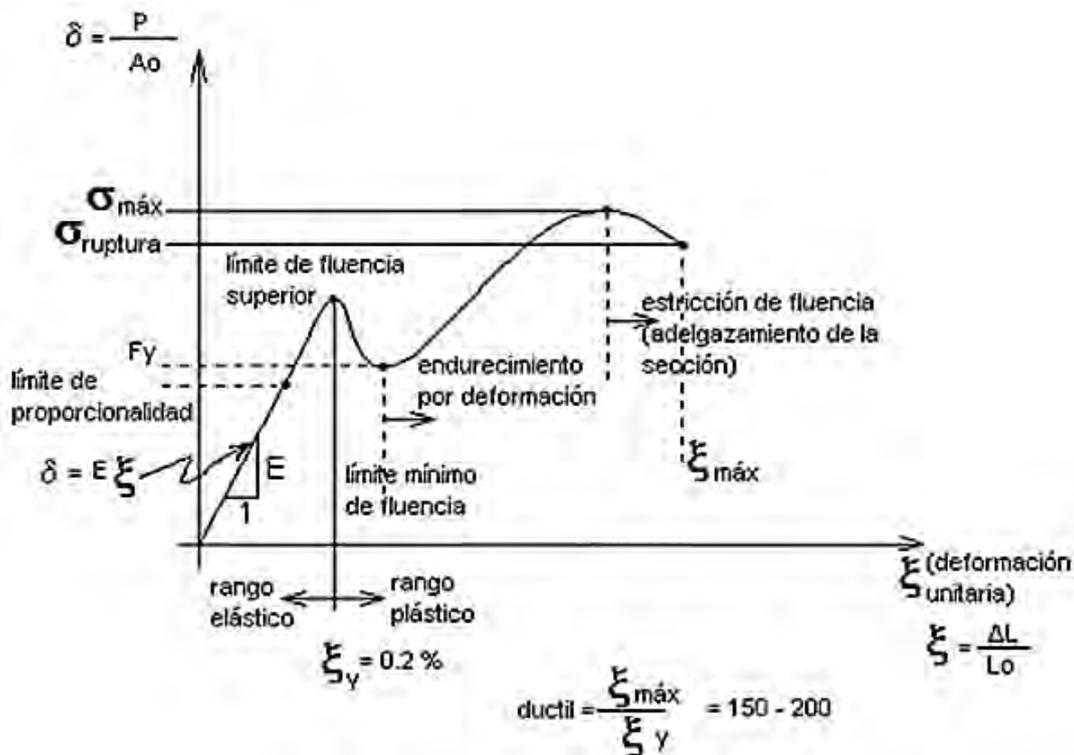
2.2.5.6 Estructura de soporte

Existe infinidad de especificaciones que son desarrolladas en materiales estructurales. Cada una está basada en años de experiencia adquirida por medio del uso. Las diversas fórmulas y reglas de especificación que se dan cuando se realiza estudios sobre las estructuras de acero muchas veces ocasionan confusión al momento de diseñar.

En el comportamiento mecánico de los materiales estructurales, es necesario saber acerca de las características elásticas, inelásticas, fractura y fatiga; fundamental para la construcción de un diseño estructural.

Para que se entienda de mejor forma el comportamiento de las estructuras de acero es necesario que se conozca las propiedades de la misma. El diagrama mostrado en la ilustración N° 2.13, de esfuerzo-deformación nos indica información necesaria para entender de mejor manera el comportamiento, que el acero desempeña cuando es sometido a fuerzas internas y externas. Para diseñar una estructura soportante de acero, que tengan propiedades mecánicas resistentes a las cargas que están sometidas; entonces, es importante analizar e interpretar los siguientes aspectos:

Ilustración N° 2.3 Diagrama esfuerzo-deformación del acero



Fuente: Diseño de estructuras de acero de Jack C. McCormac

- a) **Esfuerzos en un punto de la estructura de soporte:** Es necesario analizar los esfuerzos que se generan en un punto crítico de la estructura y también analizar los

componentes de cada esfuerzo presente en la estructura. Estos son los siguientes esfuerzos:

Esfuerzo axial (de compresión y tracción), definida por la siguiente ecuación N° 2.12:

$$\sigma = \frac{F_{int}}{A} \text{ [MPa]} \quad \text{Ec. [2.12]}$$

Donde:

σ : esfuerzo axial

F_{int} : fuerzas internas que se generan

A: área de la sección transversal a la carga sometida

Esfuerzo cortante, definido por la siguiente ecuación N° 2.13:

$$\tau = \frac{V}{A} \text{ [MPa]} \quad \text{Ec. [2.13]}$$

Donde:

τ : esfuerzo cortante

V: fuerza cortante

Esfuerzo por flexión, denotada por dos diagramas: el diagrama de momento flexionante, está definida por la ecuación N° 2.14:

$$\sigma = \frac{My}{I} \text{ [MPa]} \quad \text{Ec. [2.14]}$$

Donde:

σ : esfuerzo cortante

M: momento flexionante

y: distancia con respecto al eje neutro

Y en el diagrama de la fuerza cortante, se define por la ecuación N° 2.15:

$$\tau = \frac{VQ}{Ib} \text{ [MPa]} \quad \text{Ec. [2.15]}$$

Donde:

τ : esfuerzo cortante

V: fuerza cortante

Q: primer momento del área

I: momento de inercia de una determinada sección

b: ancho de la viga

Esfuerzo por torsión, definida por la ecuación N° 2.16:

$$\tau = \frac{T\rho}{J} \text{ [MPa]} \quad \text{Ec. [2.16]}$$

Donde:

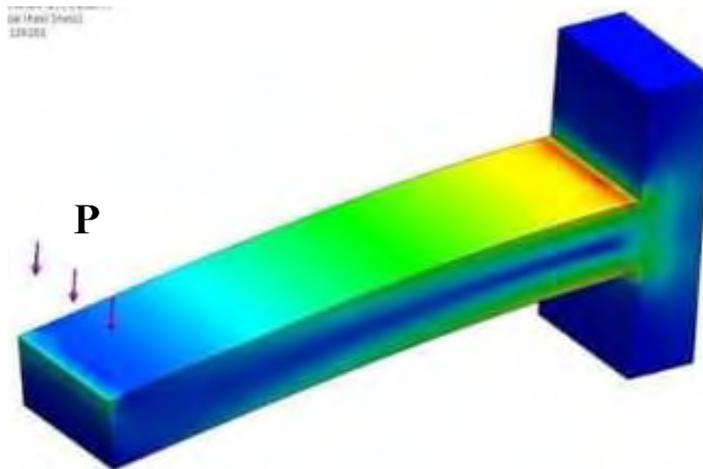
τ : esfuerzo cortante

T: momento

J: momento polar de inercia

- b) Teoría de fallas por cargas estáticas:** Considerada a aquella carga invariable en magnitud y en dirección con respecto al tiempo, mostrada en la figura N° 2.19, donde muestra una simulación de una carga aplicada a un elemento de maquina; para posteriormente poder diseñar elementos de maquina confiables.

Figura N° 2.19 Simulación de un elemento metálico a carga estática

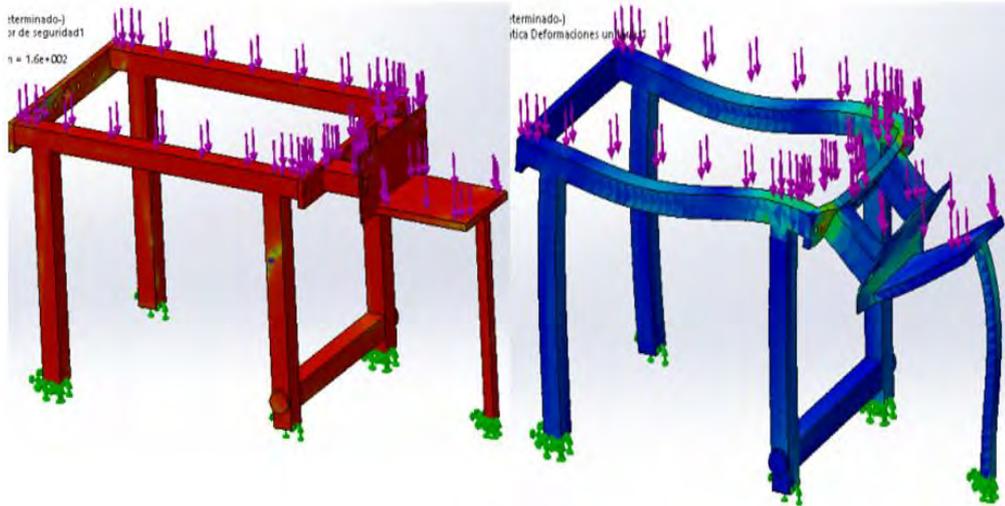


Fuente: Software CAD solidworks

- c) Teoría de fallas por cargas variables:** En su mayoría, las fallas en las maquinas se deben a cargas que varían con el tiempo; y esta falla es debido a esfuerzos pequeños, los cuales se van haciendo cada vez mayores a medida que las grietas alcanzan una longitud critica. La fatiga es una preocupación donde se presentan esfuerzos cíclicos, el

esfuerzo cíclico es una función del tiempo; pero la variación es tal que la secuencia del esfuerzo se repite; mostrada en la figura N° 2.20.

Figura N° 2.20 Simulación de soporte metálico sometido a cargas variadas



Fuente: Software CAD solidworks

2.2.5.7 Sistema de vibraciones de una mesa vibratoria

En un sistema de vibraciones; el accionante mecánico constante es el componente primordial, esta característica se encuentra en un motor eléctrico. Este será el encargado de aplicar oscilaciones al tablero.

- a) Elección del motor:** Para este sistema se requiere una vibración axial, este es igual a la velocidad rotacional; quien ejerce este mecanismo generalmente es motor eléctrico. En la ecuación N° 2.17 se expresa la potencia del motor eléctrico:

$$P_m = \frac{P_t}{\eta * \varepsilon} [KW] \quad \text{Ec. [2.17]}$$

Donde:

P_m : Potencia del motor eléctrico (KW)

P_t : Potencia teórica del motor eléctrico (KW)

η : Eficiencia del motor eléctrico (%)

ε : Rendimiento de la transmisión

Se requiere de la ecuación N° 2.18, que define la potencia teórica requerida para el sistema de vibraciones:

$$P_t = \frac{W * v}{1000} + P_s \text{ [Kw]} \quad \text{Ec. [2.18]}$$

Donde:

W: peso del tablero (N)

v: velocidad de transmisión (m/s)

La potencia del sistema de transmisión P_s , está definida por la siguiente ecuación N° 2.19:

$$P_s = 0.08 * v * L \text{ [Kw]} \quad \text{Ec. [2.19]}$$

Donde, L es la longitud del engranaje conducido expresado en (m)

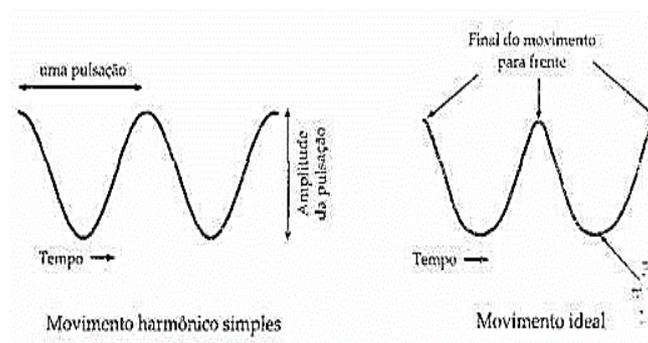
$$v = \omega * r \left[\frac{m}{s} \right] \quad \text{Ec. [2.20]}$$

Donde, r es el radio del engranaje conducido.

b) Periodo del movimiento: Las oscilaciones son aplicadas a lo largo del eje horizontal de la mesa que produce un movimiento, que parte suavemente en la dirección de descarga del producto denso y termina, con el objetivo de promover el escurrimiento de las partículas en la referida dirección.

Este carácter asimétrico de las oscilaciones es responsable por el transporte de las partículas en la dirección paralela de los riffles y por garantizar una movilidad adecuada de las partículas que componen el lecho. (Peralta S., 2010) Pág. 34.

Figura N° 2.21 Tipos de movimiento oscilante



Fuente: (Peralta S., 2010) recuperada: <http://slideplayer.com.br/slide/9945749/>

El movimiento armónico simple se determina mediante la siguiente ecuación N° 2.21:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} [\text{seg}] \quad \text{Ec. [2.21]}$$

Donde:

m: masa del tablero

k: constante

y la frecuencia del sistema se determina mediante la siguiente ecuación N° 2.22:

$$f = \frac{1}{T} [\text{Hz}] \quad \text{Ec. [2.22]}$$

Dispone de un mecanismo que proporciona un movimiento de vibración lateral diferenciado en sentido transversal del flujo de la pulpa, que causa el desplazamiento de las partículas a lo largo de los riffles.

- c) **Motores Síncrónicos:** Mantiene una velocidad de rotación operacional constante, sin considerar el tipo de carga actuante.

Figura N° 2.22 Funcionamiento del motor síncrono



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Esta velocidad natural de rotación se controla mediante la cantidad de pares de polos y la frecuencia de la potencia aplicada; por consiguiente, su deslizamiento es igual a cero.

La velocidad síncrona mostrada en la ecuación N° 2.23, se expresa:

$$N = \frac{120 \times f}{\#p} [\text{rpm}] \quad \text{Ec. [2.23]}$$

Donde:

f: Frecuencia en Hz

#p: Número de polos.

Elección del motor, acorde al número de polos mostrada en la tabla N° 2.2; influye bastante en la velocidad de giro del motor eléctrico, el de dos polos es más rápido que el de 4, 6 y 8 polos.

Siempre tendrá que ser en pares de polos, quiere decir: que los juegos de bobinados electromagnéticos de tres vías que tiene el motor son formados de norte a sur.

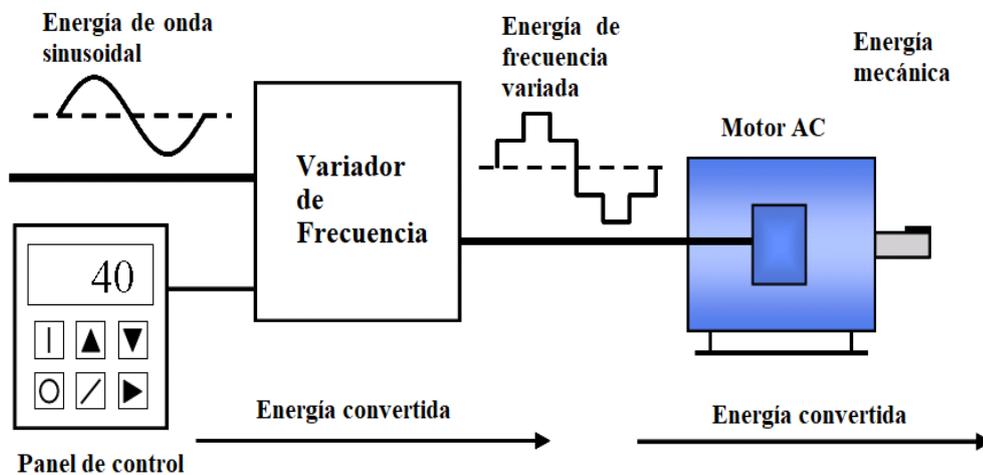
Tabla N° 2.2 Número de polos del motor

# de polos	60 Hz
2	3600
4	1800
6	1200
8	900

Fuente: (desconocido, 2002)

- d) **Diseño del sistema de frecuencia variada para un motor sincrónico:** La figura N° 2.23, muestra un diagrama secuencial de instalación de componentes del sistema de frecuencia variada de un motor eléctrico, donde está incorporado a un variador de frecuencia con corriente alterna de entrada y corriente continua de salida conectada al motor, encargado de convertir la energía eléctrica en energía mecánica.

Figura N° 2.23 Sistema de variación de frecuencia



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

También muestra un panel de control del variador de frecuencia, donde mide en Hz. Con este sistema podemos controlar la frecuencia de trabajo (1 a 60 Hz), en cualquier tipo de equipo que requiera cambio o regulación en las oscilaciones suministradas a cualquier componente determinado.

- e) **Torque y fuerza del motor eléctrico:** Es claro, que; el torque ejercido por el motor cambia acorde a la frecuencia programada en el panel de control del variador.

$$P = \frac{T \times N}{9550} [Kw] \quad \text{Ec. [2.24]}$$

Donde:

P: potencia del motor eléctrico en KW

T: torque ejercido por el motor en Nm

N: velocidad del motor

Ecuación del torque de entrada, despejada de la ecuación N° 2.24:

$$T_{motor} = \frac{9550 \times P}{N_{motor}} [Nm] \quad \text{Ec. [2.25]}$$

Donde: $N = N_{motor}$

Ecuación de torque del accionante

$$T_{accionante} = \frac{9550 \times P}{N_{accionante}} [Nm] \quad \text{Ec. [2.26]}$$

Ecuación de la fuerza tangencial

$$F_t = \frac{T_{motor}}{r} [N] \quad \text{Ec. [2.27]}$$

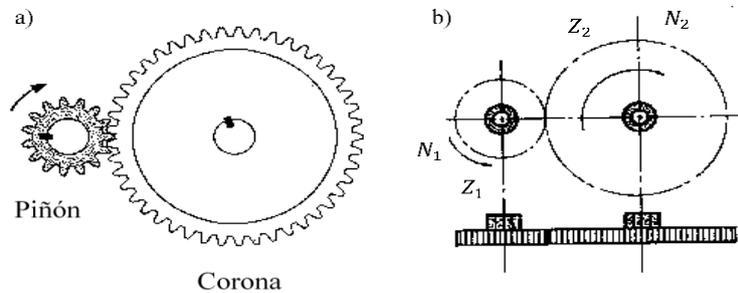
Donde:

r: radio del piñón

- f) **Diseño del sistema de transmisión de velocidad:** Para transmitir el movimiento circular es necesario engranajes rectos, necesarios para ejes paralelos más cercanos como la figura N° 2.24; en las partes a) sistema de reducción de velocidad; donde el

piñón es el eje del motor y la corona está conectada a otro eje paralelo. Y en el lado b) muestra el sentido de giro de los ejes y las dimensiones de cada componente.

Figura N° 2.24 Sistema de transmisión por engranajes rectos



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Relación de transmisión de engranajes, determinada por la ecuación N° 2.28

$$N_1 \times Z_1 = N_2 \times Z_2 \quad \text{Ec. [2.28]}$$

Donde:

N_1 : Velocidad angular de entrada (rpm)

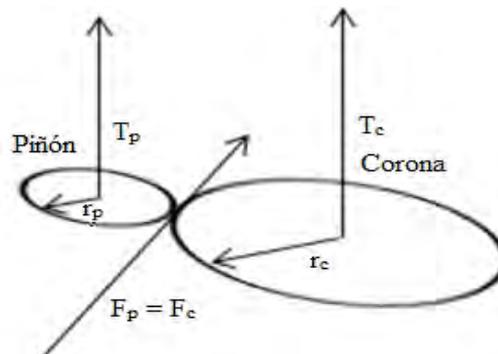
N_2 : Velocidad angular de salida (rpm)

Z_1 : Numero de dientes del engranaje de entrada

Z_2 : Numero de dientes del engranaje de salida

- g) Diseño de engranajes por torsión:** Se denomina ángulo de presión a la fuerza que se transmite de un diente a otro formando un ángulo $\alpha = 20^\circ$ respecto a la recta perpendicular de la línea que une los centros de engranajes; vista en la figura N° 2.25:

Figura N° 2.25 Diagrama de fuerzas de dos engranajes rectos



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Circunferencia primitiva de dos engranajes son las únicas circunferencias que son tangenciales. El movimiento se transmite por rodadura pura; es decir, un diente rueda sobre otro. En la corona, la ecuación N° 2.29 determina el diámetro primitivo:

$$D_p = M \times Z_c \text{ [mm]} \quad \text{Ec. [2.29]}$$

Donde:

El módulo (M) es la distancia entre el diámetro primitivo y el diámetro exterior; el módulo es el único valor normalizado que tienen los engranajes (mm). Según tabla:

Módulos Normalizados: 0,25 – 2,5 – 2,75 – 3 – 3,25 – 3,5 hasta 10.

Z_c : Numero de dientes de la corona

Ecuación N° 2.30 determina el diámetro externo:

$$D_e = D_p + 2 \times M \text{ [mm]} \quad \text{Ec. [2.30]}$$

Ecuación N° 2.31 determina el diámetro interno:

$$D_i = D_p - 2 \times (1.167 M) \text{ [mm]} \quad \text{Ec. [2.31]}$$

En el Piñón, la ecuación N° 2.32 determina el diámetro primitivo:

$$D_p = M \times Z_p \text{ [mm]} \quad \text{Ec. [2.32]}$$

Ecuación N° 2.33 determina el diámetro externo:

$$D_e = M \times Z_p + 2 \times M \text{ [mm]} \quad \text{Ec. [2.33]}$$

Donde:

Z_p : Número de dientes del piñón

Para que el sistema de transmisión de ejes funcione debe cumplir las siguientes condiciones:

- Mismo modulo y paso
- Mismo perfil de diente
- Mismo ángulo de presión

Donde Paso (P): Es la distancia que existe entre un punto de un diente al mismo punto de un diente adyacente (o contiguo) medido sobre la circunferencia primitiva.

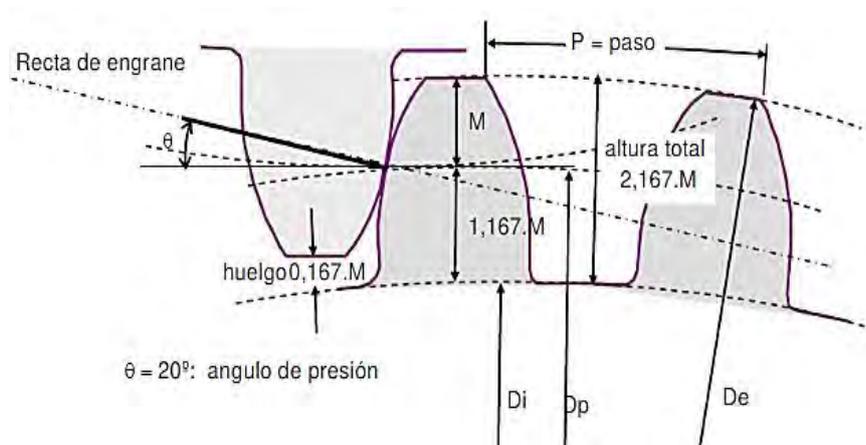
Relación entre modulo y paso, determinada por la ecuación N° 2.34:

$$p = M \times \pi \text{ [mm]} \quad \text{Ec. [2.34]}$$

Ecuación N° 2.35 determina el ancho del engranaje:

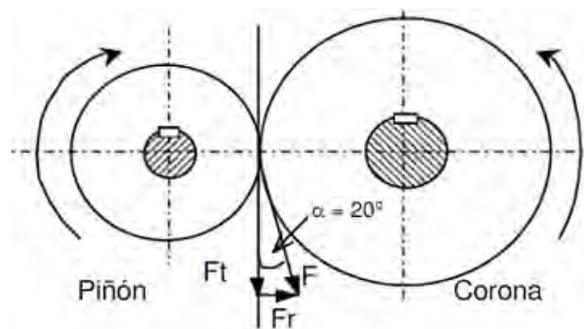
$$B = 12 \times M \text{ [mm]} \quad \text{Ec. [2.35]}$$

Ilustración N° 2.4 Dimensiones de un engranaje



Fuente: (Guaycochea, Greco, & Rodrigo, 2017)

Figura N° 2.26 Diagrama de fuerzas de un par de engranajes



Fuente: (Guaycochea, Greco, & Rodrigo, 2017)

La ilustración N° 2.4, muestra todos los componentes de dos engranajes rectos en contacto capaces de transmitir la energía mecánica de un eje a otro eje paralelo.

El sistema de fuerzas de un par de engranajes, mostrada en la figura N° 2.26; detalla la fuerza tangencial F_t y la fuerza radial F_r que se genera al contacto de engranajes rectos dando una resultante F .

Ecuación N° 2.36 determina la fuerza radial es la siguiente:

$$F_r = F_t \times \tan \alpha \quad [N] \quad \text{Ec. [2.36]}$$

Donde:

F_t : fuerza tangencial

F : fuerza resultante

α = Angulo de presión 20°

Ecuación N° 2.37 determina la potencia efectiva: P_e

$$P_e = N_{sf} \times P \quad [CV] \quad \text{Ec. [2.37]}$$

Donde:

N_{sf} : Coeficiente de servicio de los engranajes, para cargas de choque medio es de 1.25.

P : potencia que transmite (CV)

Ecuación N° 2.38 determina la tensión admisible del material expuesto a esfuerzos:

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_R}{3} \left[\frac{kg}{cm^2} \right] \quad \text{Ec. [2.38]}$$

Donde:

σ_R : Tensión de ruptura del material kg/cm^2

Ecuación N° 2.39 determina la potencia transmitida en un par de engranes:

$$P = F_t \times V_L \quad [Kw] \quad \text{Ec. [2.39]}$$

Donde:

F_t : Fuerza tangencial

V_L : Velocidad lineal (m/s)

Ecuación N° 2.40 determina la velocidad lineal:

$$V_L = \frac{\pi \times N \times D_P}{60\,000} \left[\frac{m}{s} \right] \quad \text{Ec. [2.40]}$$

Donde:

N: Velocidad angular

D_p : Diámetro primitivo

Ecuación N° 2.41 determina la fuerza radial:

$$F_r = F_t * \tan \theta [N] \quad \text{Ec. [2.41]}$$

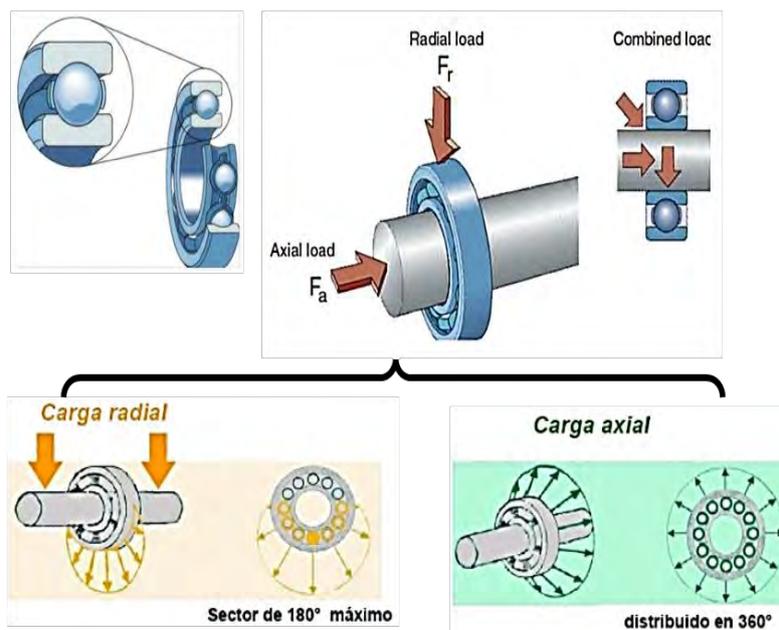
Ecuación N° 2.42 determina la fuerza total:

$$F = \sqrt{(F_r)^2 + (F_t)^2} [N] \quad \text{Ec. [2.42]}$$

h) Elección de Rodamiento rígidos de bolas: Este tipo de rodamiento opera a altas e incluso a muy altas velocidades y requiere poco mantenimiento: además, son capaces de soportar grandes cargas radiales (sector de 180° máximo) y carga axial (distribuido en 360°). Como muestra la figura N° 2.27, a detalle cada una de las cargas.

Tiene dos funciones en el sistema de vibraciones. a) Para mejorar la sensibilidad del movimiento axial y b) ayuda a contrarrestar el peso del mecanismo mostrado en la figura N° 2.28, el cual está apoyada en un riel.

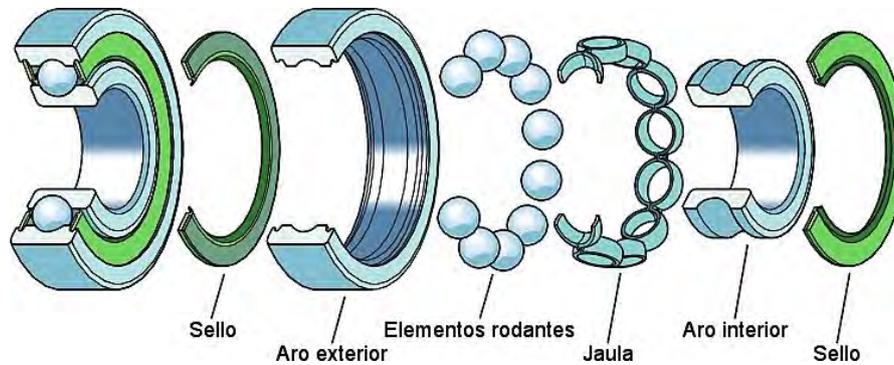
Figura N° 2.27 Distribución de carga radial/axial



Fuente: (Stuardo Perez, 2016)

A continuación, se muestra a detalle en la figura N° 2.29; los componentes del rodamiento rígido de bolas.

Figura N° 2.28 Partes de un rodamiento rígidos de bolas

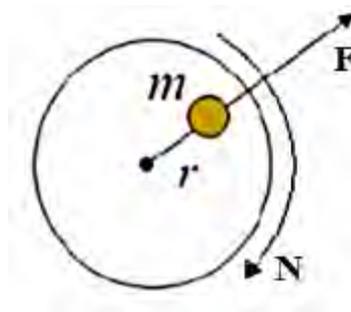


Fuente: (Stuardo Perez, 2016)

i) Diseño de contrapesos: El movimiento es transmitido a la mesa a través de una serie de contrapesos excéntricos que rotan a una velocidad rotacional constante unidos por engranajes. El fin de los engranajes es reducir la velocidad.

El desbalanceo depende esencialmente de la velocidad de giro, de las proporciones geométricas y de la distribución de masa en rigidez dinámica al eje y de las chumaceras mostrada en la figura N° 2.29:

Figura N° 2.29 Diagrama de desbalance generada por una masa



Fuente: (Turmero, 2019)

Fuerza del desbalanceo generada por la masa, expresada en la ecuación N° 2.40:

$$F = m \times r \times N^2 [N] \quad \text{Ec. [2.43]}$$

Donde:

F: Fuerza del desbalance

r: Radio de la masa

m: Masa

N: Velocidad angular

- j) **Diseño de Resortes helicoidales de compresión:** En la geometría de resortes es necesario desarrollar las ecuaciones que determina el diámetro exterior de longitud comprimido:

$$DE = \sqrt{D^2 + \frac{p^2 - d^2}{\pi^2}} + d \text{ [mm]} \quad \text{Ec. [2.44]}$$

$$D = D_e - d \text{ [mm]} \quad \text{Ec. [2.45]}$$

$$p = \frac{L_o - 2 \times d}{N_a} \text{ [mm]} \quad \text{Ec. [2.46]}$$

$$\lambda = \tan^{-1} \left(\frac{p}{\pi \times D} \right) \text{ [}^\circ \text{ sexagesimales]} \quad \text{Ec. [2.47]}$$

Donde:

d: diámetro del alambre

D: diámetro medio del resorte

p: paso

λ : Ángulo de paso en grados sexagesimales

DE: diámetro exterior de longitud comprimida

Ecuaciones que determina la deformación que provoca al cargar el resorte

$$\delta_{sol} = L_o - L_s \text{ [mm]} \quad \text{Ec. [2.48]}$$

$$N_t = N_a + 2 \quad \text{Ec. [2.49]}$$

Donde:

L_s : Longitud solida

L_o : Longitud libre

N_t : número de espiral totales

N_a : número de espiral activas

Relación para determinar el índice del resorte:

$$C = \frac{D}{d} \quad \text{Ec. [2.50]}$$

Determinando la constante de elasticidad del resorte mediante las siguientes ecuaciones:

$$K = \frac{\Delta F}{\Delta \delta} \quad \text{Ec. [2.51]}$$

$$L_o = 2d + pN_a \text{ [mm]} \quad \text{Ec. [2.52]}$$

Para la longitud solida las ecuaciones que la gobiernan son las siguientes:

$$L_s = pN_t \text{ [mm]} \quad \text{Ec. [2.53]}$$

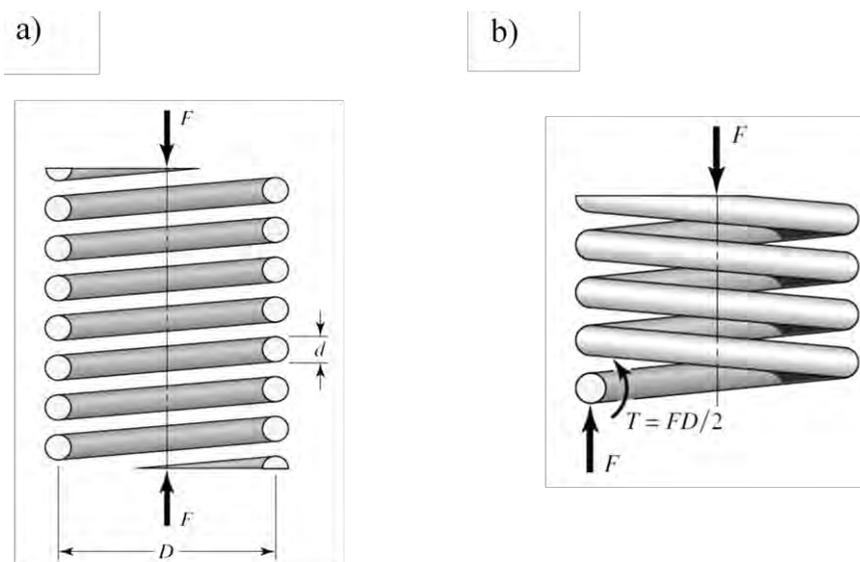
$$L_s = (N_t - a)d \text{ [mm]} \quad \text{Ec. [2.54]}$$

Dónde: $a=0.75$

$$p = \frac{L_o - 2d}{N_a} \text{ [mm]} \quad \text{Ec. [2.55]}$$

Para observar más a detalle el comportamiento de los resortes helicoidales, la figura N° 2.30; muestra en la parte a) diagrama de cuerpo libre del resorte con una carga axial en el momento cero. Y en la parte b) Diagrama de cuerpo libre donde se muestra que el alambre está sometido a esfuerzo cortante directo y a esfuerzo cortante por torsión.

Figura N° 2.30 Diagrama de cuerpo libre de un resorte sometido a una carga



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Fuerza cortante directa F y una torsión $T = FD/2$. Donde el esfuerzo máximo en el alambre se puede calcular mediante la superposición del esfuerzo cortante directo, y el esfuerzo cortante torsional como denota la ecuación N° 2.56:

$$\tau_{max} = \frac{Tr}{J} + \frac{F}{A} \text{ [MPa]} \quad \text{Ec. [2.56]}$$

El resultado está en la fibra interna del resorte. Al reemplazar tenemos las siguientes

ecuaciones: $\tau_{max} = \tau$; $T = \frac{FD}{2}$; $r = \frac{d}{2}$; $J = \frac{\pi d^4}{32}$ y $A = \frac{\pi d^2}{4}$; Se tiene la ecuación

N° 2.57:

$$\tau = \frac{8FD}{\pi d^3} + \frac{4F}{\pi d^2} \text{ [MPa]} \quad \text{Ec. [2.57]}$$

Donde:

T: torsión generada en el alambre de forma helicoidal Nm

r: radio del alambre en mm

F: fuerza cortante directa en N

J: momento inercial de la sección circular en mm^4

A: área de la sección circular del alambre en mm^2

Esfuerzo cortante máximo, aplicada para cargas estáticas y dinámicas se define por la siguiente ecuación N° 2.58:

$$\tau = K_S \frac{8FD}{\pi d^3} \quad \text{Ec. [2.58]}$$

Factor de corrección del esfuerzo cortante definida por la siguiente ecuación N° 2.59:

$$K_S = \frac{2C + 1}{2C} \quad \text{Ec. [2.59]}$$

Factor de curvatura está dado por cualquiera de las siguientes ecuaciones:

➤ Factor de Wahl se define por la ecuación N° 2.60:

$$K_W = \frac{4C - 1}{4C - 4} + \frac{0.615}{C} \quad \text{Ec. [2.60]}$$

➤ Factor de Bergsträsser definida por la ecuación N° 2.61:

$$K_B = \frac{4C + 2}{4C - 3} \quad \text{Ec. [2.61]}$$

➤ Factor de corrección por curvatura dada por la ecuación N° 2.62:

$$K_C = \frac{K_B}{K_W} = \frac{2C * (4C + 2)}{(4C - 3) * (2C + 1)} \quad \text{Ec. [2.62]}$$

Para resortes de compresión a continuación, se detalla como el tipo de extremo del resorte afecta el número de espiras y la longitud del mismo.

Tabla N° 2.3 Fórmulas para calcular las dimensiones de resortes de compresión.

Tipo de extremos de resortes	
Termino	A escuadra y Rectificado
Espiras de extremo, Ne	2
Espiras totales, Nt	Na + 2
Longitud libre, Lf	2d + pNa
Longitud sólida, Ls	dNt
Paso, p	(Lf - 2d) / Na

Fuente: (Budynas & Keith Nisbett, 2008)

Dónde: Na = Número de espiras activas

Por otro lado λ_{ef} : la esbeltez efectiva se define por la ecuación N° 2.63:

$$\lambda_{ef} = \frac{\alpha L_o}{D} \quad \text{Ec. [2.63]}$$

Donde:

α : Constante de condición de los extremos

Donde la estabilidad absoluta se determina de la ecuación N° 2.64:

$$L_o < \frac{\pi D}{\alpha} * \left[\frac{2\pi^2 (E - G)}{2G + E} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ec. [2.64]}$$

Dónde: E y G: módulos de elasticidad del acero en GPa.

La constante de la condición de extremos α de resortes helicoidales de compresión apoyado entre superficies planas paralelas (extremos fijos) toma el valor de 0.5, (Budynas & Keith Nisbett, 2008).

Resistencia mínima a la tensión definida por la ecuación N° 2.65:

$$S_{ut} = \frac{A}{d^m} \quad \text{Ec. [2.65]}$$

Donde:

A y m: constantes de los aceros acorde a tipo de fabricación

Esfuerzo de fluencia a la torsión se define de la ecuación N° 2.66:

$$S_{ys} = 0.577 S_y \quad \text{Ec. [2.66]}$$

Este enfoque proporciona un intervalo:

$$0.35 S_{ut} \leq S_{ys} \leq 0.52 S_{ut} \quad \text{Ec. [2.67]}$$

Por tabla, para el resorte estirado duro su límite inferior del intervalo es: $S_{ys} = 0.45 S_{ut}$

El esfuerzo permisible se da en el caso, de aceros de resorte de alta resistencia a la tensión, se define mediante la ecuación N° 2.68:

$$S_{sy} = \tau_{perm} = 0.56 S_{ut} \quad \text{Ec. [2.68]}$$

Aspecto importante para desarrollar es la frecuencia crítica, que se conoce como oscilación del resorte, a la perturbación que se produce en un extremo del resorte y viaja al otro extremo que se encuentra fija a una superficie plana, creando una onda de compresión.

La ecuación de un resorte colocado entre dos placas planas paralelas es la ecuación N° 2.69 de onda:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{W * \partial^2 u}{kgl^2 * \partial t^2} \quad \text{Ec. [2.69]}$$

Donde

k: razón del resorte

g: aceleración debida a la gravedad

l: longitud del resorte

W: peso del resorte

x: coordenada medida a lo largo de la longitud del resorte

u: movimiento de cualquier partícula a una distancia x

La frecuencia armónica simple del resorte está definida por la ecuación N° 2.70:

$$\omega = m\pi \sqrt{\frac{Kg}{W}} \left[\frac{rad}{s} \right] \quad \text{Ec. [2.70]}$$

Definiendo la frecuencia en ciclos por segundo

$$\omega = 2\pi f \left[\frac{rad}{s} \right] \quad \text{Ec. [2.71]}$$

Y por otro lado la frecuencia fundamental de Hertz, dada por la ecuación N° 2.72:

$$f = \frac{1}{2} * \sqrt{\frac{Kg}{W}} [Hz] \quad \text{Ec. [2.72]}$$

El módulo de ruptura por torsión S_{su} está definida por la ecuación N° 2.73:

$$S_{su} = 0.67 S_{ut} \quad \text{Ec. [2.73]}$$

Es necesario definir la amplitud del esfuerzo cortante dada por la ecuación N° 2.74:

$$\tau_a = K_B \frac{8F_a D}{\pi d^3} \quad \text{Ec. [2.74]}$$

Dónde: la fuerza cortante F_a se denota por la ecuación N° 2.75:

$$F_a = \frac{F_{max} - F_{min}}{2} \quad \text{Ec. [2.75]}$$

Y también el Esfuerzo cortante medio que se define por la ecuación N° 2.76:

$$\tau_m = K_B \frac{8F_m D}{\pi d^3} \quad \text{Ec. [2.76]}$$

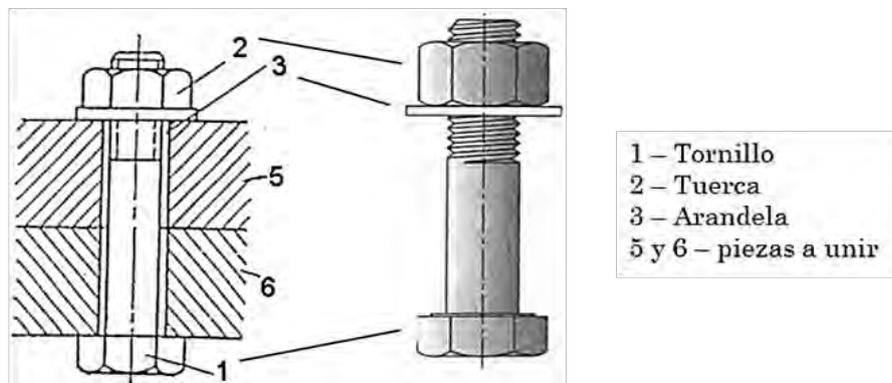
Dónde: la fuerza cortante F_m se denota por la ecuación N° 2.77:

$$F_m = \frac{F_{max} + F_{min}}{2} \quad \text{Ec. [2.77]}$$

Con capacidad de almacenar energía y desprenderse cíclicamente de ella sin sufrir deformación permanente cuando cesan las fuerzas o la tensión a las que es sometido.

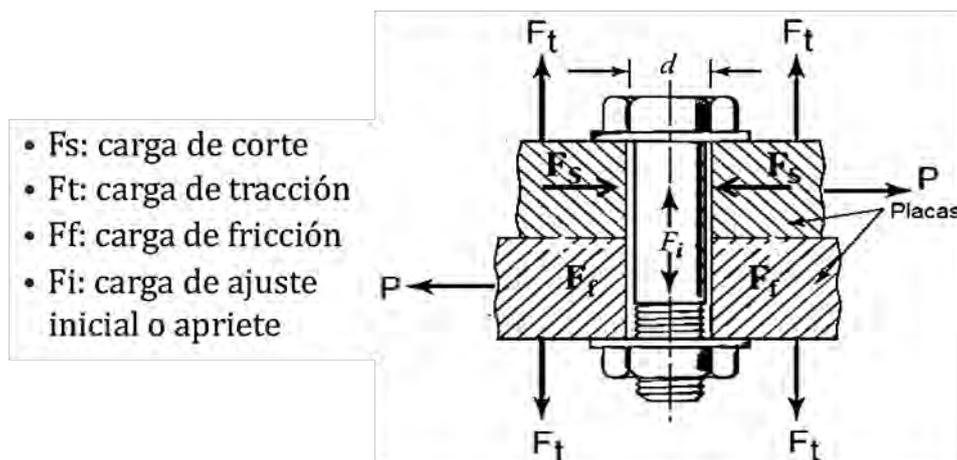
k) Elección del tipo de unión perno – tuerca: Son denominados uniones desmontables y se utilizan como uniones de montaje o de fijación, ayudando a aplicar grandes momentos de fuerza. la figura N° 2.31, muestra todos los elementos posibles en ese tipo de unión.

Figura N° 2.31 Elementos de la unión atornillada



Fuente: (De la Cruz Martin, 2016)

Figura N° 2.32 Diagrama de cuerpo libre de un sistema pernado

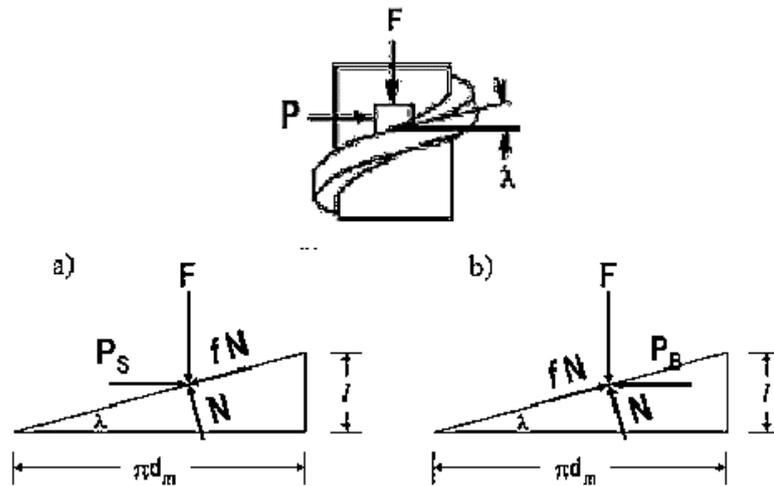


Fuente: (Marín, 2018)

Para detallar el comportamiento de las cargas y esfuerzos que se genera en una unión empernada, la figura N° 2.32; muestra el un diagrama de cuerpo libre, donde: la carga de apriete F_i por condiciones de equilibrio tiene que ser igual a la carga de tracción F_t ;

por otro lado, las placas unidas ejercen una carga de corte F_s y una carga de fricción F_f ; por tanto, estas últimas cargas también tienen que ser iguales para que el empernado este en equilibrio

Figura N° 2.33 Diagrama de transmisión de potencia en un giro



Fuente: (Vergara Aimone, 2010)

En los hilos del perno también ocurre el fenómeno de transmisión de potencia al momento de hacer el giro tanto para ajustar o para desajustar; la figura N° 2.33; detalla a) Diagrama de fuerzas levantando una carga y por otro lado b) Diagrama de fuerzas bajando una carga.

1) Elección de chumaceras: Una chumacera es un rodamiento montado que se utiliza para dar apoyo a un eje de rotación. Este tipo de cojinete se coloca generalmente en una línea paralela en el eje del árbol.

Se conoce también como chumacera el dispositivo que permite el soporte para la rotación de un eje, está compuesto de una parte rotativa y una fija.

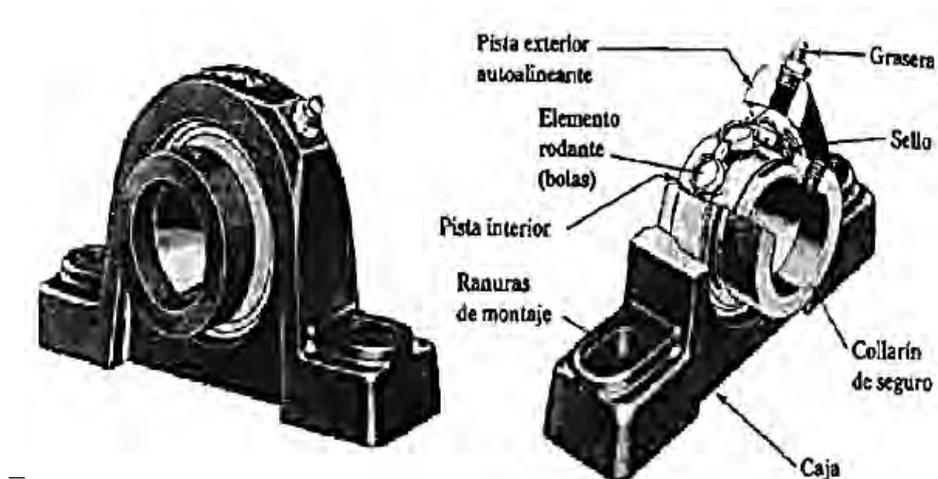
Casi toda máquina industrial pesada utiliza algún tipo de chumaceras de película fluida para soportar el peso del eje y controlar el movimiento causado por las fuerzas desbalanceadas, fuerzas aerodinámicas y excitaciones externas de los sellos y acoples.

Las chumaceras están diseñadas básicamente para proporcionar apoyo a la rotación del eje y se menciona alguna de sus ventajas:

- La capacidad para absorber energía, para amortiguar vibraciones.
- La longevidad debido a la ausencia de esfuerzos de contacto rodante.

La amortiguación es muy importante en muchos tipos de máquinas rotativas donde las chumaceras de película fluida son a menudo la principal fuente de absorción de energía necesaria para controlar las vibraciones. Estas chumaceras también juegan un papel importante para determinar la estabilidad roto dinámica, convirtiendo su selección y aplicación en un paso crucial en el desarrollo de sistemas de rotor.

Figura N° 2.34 Partes principales de la chumacera



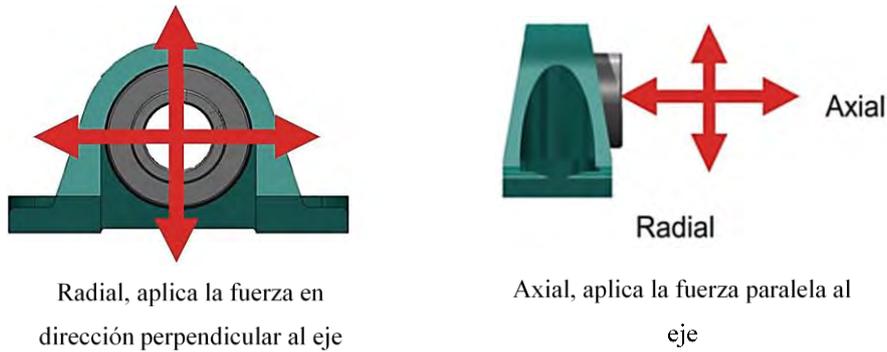
Fuente: (Santos, 2015)

En la figura N° 2.34; se detalla las partes importantes que componen la chumacera, con la finalidad de conocer sus principales funciones y mecanismos en el momento de trabajo.

En la figura N° 2.35; se muestra un soporte típico de chumacera lisa. Cuando la flecha gira, el punto de contacto se mueve hacia arriba sobre la pared de la chumacera hasta algún punto A donde ocurre el deslizamiento. Si la carga vertical que actúa en el extremo

de la flecha es P, entonces la fuerza reactiva de apoyo R que actúa en A será igual y opuesta a P.

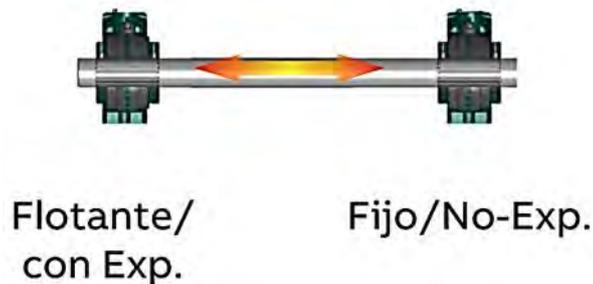
Figura N° 2.35 Carga radial/axial



Fuente: (Lertora, 2018)

La expansión del eje de una chumacera se mueve junto con el eje y previene carga axial excesiva mostrada en la figura N° 2.38.

Figura N° 2.36 Expansión del eje de una chumacera



Fuente: (Lertora, 2018)

El momento necesario para mantener la rotación constante de la flecha se puede encontrar sumando momentos con respecto al eje z de la flecha; es decir:

$$\sum M_z = 0$$

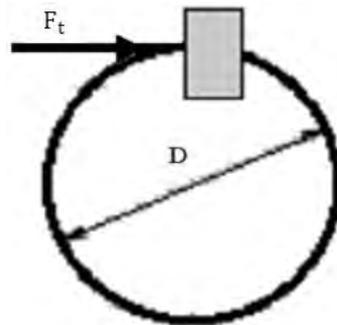
$$M - (R * \sin \phi) r = 0$$

$$M = Rr * \sin \phi$$

Ec. [2.78]

m) Diseño de la chaveta: Permite la transmisión de potencia entre los elementos unidos el eje y el engranaje. Ello implica posibles fallas; por ejemplo, en la figura N° 2.37. La fuerza tangencial cortante F_t que genera el eje del motor debe ser igual o menor a la fuerza de resistencia de la chaveta. la figura representa la acción de la fuerza sometida hacia la chaveta.

Figura N° 2.37 diagrama de fuerza actuante sobre la chaveta



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

El material de la chaveta; según su dureza, debe ser ligeramente menor al material del eje y a su vez también del piñón o corona la que esta sujeta. Este material una vez culminado su ciclo de vida debe ser sustituida por otra.

2.2.5.8 Sistema hidráulico de una mesa vibratoria

Para hacer estudio del sistema hidráulico de una mesa vibratoria; es necesario en primer lugar, analizar el comportamiento del fluido en descenso. Para ello se toma en cuenta los siguientes aspectos importantes.

a) Cálculo de la fuerza del fluido en un plano inclinado

Para ello consideramos la ecuación N° 2.79:

$$F_{H_2O} = W \times L \times \delta \times \rho \times g \times \text{sen}\theta \text{ [N]} \quad \text{Ec. [2.79]}$$

b) Cálculo de la velocidad del fluido en un plano inclinado

Para ello consideramos la ecuación N° 2.80:

$$V_{H_2O} = \frac{\rho \times g \times \text{sen}(\theta) \times \delta^2}{2 \times \mu} \left[\frac{m}{s} \right] \quad \text{Ec. [2.80]}$$

c) Cálculo del caudal requerido para el sistema

Para ello consideramos la ecuación N° 2.81:

$$Q = \frac{2 \times W \times \rho \times g \times \text{sen}(\theta) \times \delta^3}{6 \times \mu} \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad \text{Ec. [2.81]}$$

Donde:

F_{H_2O} : Fuerza del fluido en un plano inclinado (N).

V_{H_2O} : Velocidad máxima del fluido en un plano inclinado (m/s).

Q : Caudal del sistema de dos planos inclinados (m³/s).

$W*L$: área de recorrido del fluido en una mesa vibratoria (m²).

δ : espesor de la película en una mesa vibratoria (mm).

g : fuerza de gravedad (m/s²).

ρ : densidad del fluido (kg/m³).

θ : ángulo de inclinación en grados sexagesimales

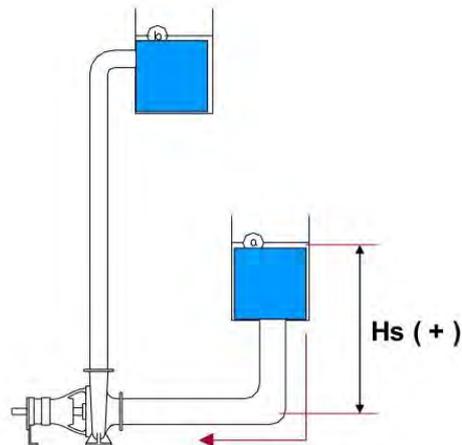
μ : coeficiente de viscosidad dinámica (kg/m.s)

2.2.5.9 Diseño del sistema de bombeo.

El fluido que se aplica a las partículas de corriente longitudinal debe ser constante, produciendo la sedimentación y transporte longitudinal acorde con el tiempo y la trayectoria de las partículas; para ello, se requiere el diseño de un sistema bombeo.

El sistema de succión positiva resulta favorable usar por varias ventajas; tales son: excelente capacidad de aspiración, caudal ajustable con gran exactitud, posibilidad de transporte cíclico e ideales para bajo número de revoluciones en funcionamiento. Ello muestra en la figura N° 2.38.

Figura N° 2.38 Sistema de bombeo de succión positiva



SUCCION POSITIVA

Fuente: <https://es.slideshare.net/mecanicadefluidos/bombas-centrifugas-7934169>

- a) Elección de la electrobomba:** Cuando queremos elegir una electrobomba es importante revisar el rendimiento que tiene, si va a cumplir con nuestras expectativas, por este motivo hemos de enumerar una serie de factores que se debe de tener en cuenta antes de seleccionar una electrobomba; tales son:

El caudal: es el volumen del fluido o líquido requerido en un tiempo determinado, mayormente se calcula en litros/minuto (l/m), litros/hora (l/h), metros cúbicos/hora (m³/h). El caudal que requiere el sistema (área del tablero), considera la velocidad y fuerza de fluido en descenso definida por la ecuación N° 2.81.

Ya conocido el caudal, se opta en elegir una electrobomba para el sistema, con capacidad de suministro adecuado para el caudal requerido. Para determinar la potencia de la bomba, definida por la ecuación N° 2.82:

$$P_B = \frac{Q * \rho * g * h_B}{746 * e} \quad [HP] \quad \text{Ec. [2.82]}$$

Donde:

Q: caudal (m³/s)

h_B: altura dinámica de carga (m)

ρ: densidad (kg/m³)

g : aceleración de la gravedad (m/s²)

e : eficiencia

Donde la altura dinámica está desarrollada a partir del principio de Bernoulli definida por la ecuación N° 2.83:

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + h_B = h_3 + \frac{v_3^2}{2g} + \frac{P_3}{\gamma} + h_{f\ 1-3} \quad \text{Ec. [2.83]}$$

La ecuación N° 2.84 está determinado acorde al tipo de succión de la bomba, mostrada en la figura N° 2.39:

$$h_B = h_3 + \frac{v_3^2}{2g} + h_{f\ 1-3} \quad \text{Ec. [2.84]}$$

Donde:

v_1 : Velocidad del fluido en el punto 1.

v_3 : Velocidad del fluido en el punto 3.

P_1 : Presión del líquido en el punto 1

P_1 : Presión del líquido en el punto 1

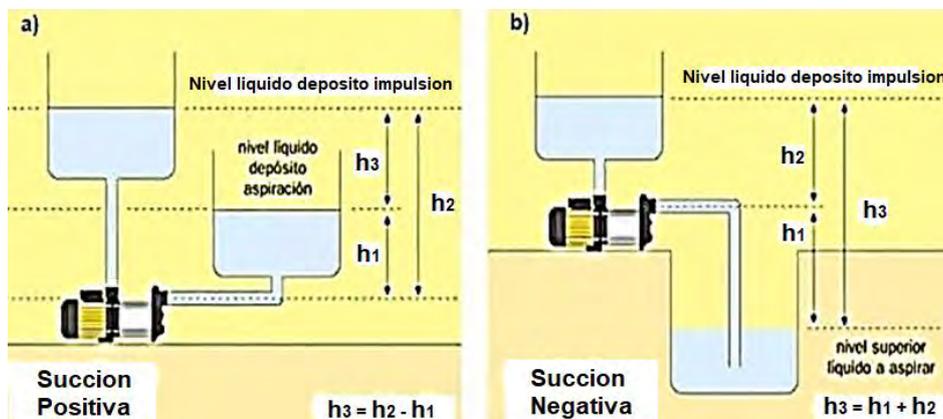
h_1 : altura de nivel del líquido.

h_B : Energía entregada al fluido mediante un dispositivo mecánico externo.

h_3 : Energía retirada desde el fluido mediante un dispositivo mecánico externo (ej: turbina, motor de fluido).

$h_{f\ 1-3}$ = Energía perdida por el sistema debido a la fricción en la tubería y en las válvulas y conectores (suma de las pérdidas mayores y menores).

Figura N° 2.39 Alturas en los tipos de succión



Fuente: <http://www.ventageneradores.net/blog/guia-bombas-agua-como-elegir-motobomba>

Perdidas de Carga, esto sucede cuando el fluido viaja por un tubo de PVC o Polietileno y tiene que girar, por ejemplo, en un tubo que está con un codo de 90° se convierte en un obstáculo de 5 metros lineales. Para estos cálculos hay que recordar que la h_3 puede ser positiva o negativa:

Entonces tenemos que h_3 está dado por:

$$h_3 = h_2 - h_1 \text{ [m]} \quad \text{Ec. [2.85]}$$

$$v_3 = \frac{4 * Q}{\pi D^2} \left[\frac{m}{s} \right] \quad \text{Ec. [2.86]}$$

El término $h_{f_{1-3}}$, que corresponde a la energía perdida por el sistema debido a la fricción en el fluido en movimiento, la ecuación N° 2.87 se expresa a través de la Ecuación de Darcy:

$$h_{f_{1-3}} = \frac{FL}{D} * \frac{v^2}{2g} \text{ [m]} \quad \text{Ec. [2.87]}$$

Donde:

F: factor de fricción de Darcy

L: longitud de la tubería (m)

D: diámetro interno de la tubería (m)

v: velocidad media del líquido (m/s)

g: fuerza de gravedad (m/s²).

Las pérdidas totales de energía se determinan mediante la ecuación N° 2.88, está dada por: Las pérdidas de energía de accesorios que se dan por cambios de dirección y velocidad del fluido en válvulas, codos, aberturas graduales y súbitas entre otros.

$$h_{f_{1-3}} = \frac{FL}{D} * \frac{v_3^2}{2g} + \sum k_c * \frac{v_3^2}{2g} + k_v * \frac{v_3^2}{2g} \text{ [m]} \quad \text{Ec. [2.88]}$$

Donde:

k_c y k_v : Coeficiente de pérdida para componentes de tubería

Es importante determinar el número de Reynolds, este determina el comportamiento de fluido que tiene el sistema, es decir, representa el cociente entre las fuerzas de inercia

del flujo y las fuerzas debido a la viscosidad, y mide la influencia relativa de esta última.

Donde el número de Reynolds se determinada a partir de la ecuación N° 2.89:

$$Re = \frac{VD\rho}{\mu} \quad \text{Ec. [2.89]}$$

Donde:

V: velocidad media (m/s)

ρ : densidad del líquido (kg/m³)

D: diámetro interno de la tubería (m)

μ : viscosidad dinámica (kg/m.s)

Criterios del número de Reynolds: Si el flujo es laminar (comprende la ecuación de

Stokes): $N_R < 2000$ y si el flujo es Turbulento (comprende a la ecuación de Newton):

$N_R > 4000$.

En un flujo laminar, el factor de fricción se determina mediante la ecuación N° 2.90;

solo depende del número de Reynolds. Así tenemos:

$$F = \begin{cases} Re = \frac{VD\rho}{\mu} \\ \frac{\varepsilon}{D} \end{cases} \quad \text{Ec. [2.90]}$$

2.2.6 Construcción y montaje del proyecto de diseño.

- Clasificación de procedimientos para la construcción y montaje.
- Construcción de componentes clasificado en sub ensambles
- Acoplamiento de los componentes en cada sub ensamble
- Montaje de los sub ensambles
- Control de calidad del proyecto de diseño
- Elaboración del manual de operación

2.2.7 Operación del proyecto de diseño

- Encendido y puesta en marcha del proyecto de diseño

- Manipulación de variables del proyecto de diseño
- Ajustes de parámetros establecidos del proyecto de diseño

2.2.7.1 Control operacional de una mesa vibratoria

a) **Ángulo de inclinación de una mesa vibratoria:** El ángulo de la mesa juega un papel importante, entre mayor sea el tamaño de las partículas y/o sus densidades, mayor debe ser el ángulo para obtener una mejor selectividad y con ello un mejor enriquecimiento (diferencia notoria entre las zonas de corte de concentrados medios y colas).

No obstante, entre más bajo sea el ángulo de inclinación de la mesa, mayor será la selectividad del proceso.

b) **Densidad de la pulpa de alimentación:** La pulpa debe ser diluida: 25% en sólidos para gruesos y 30% de sólidos para materiales finos.

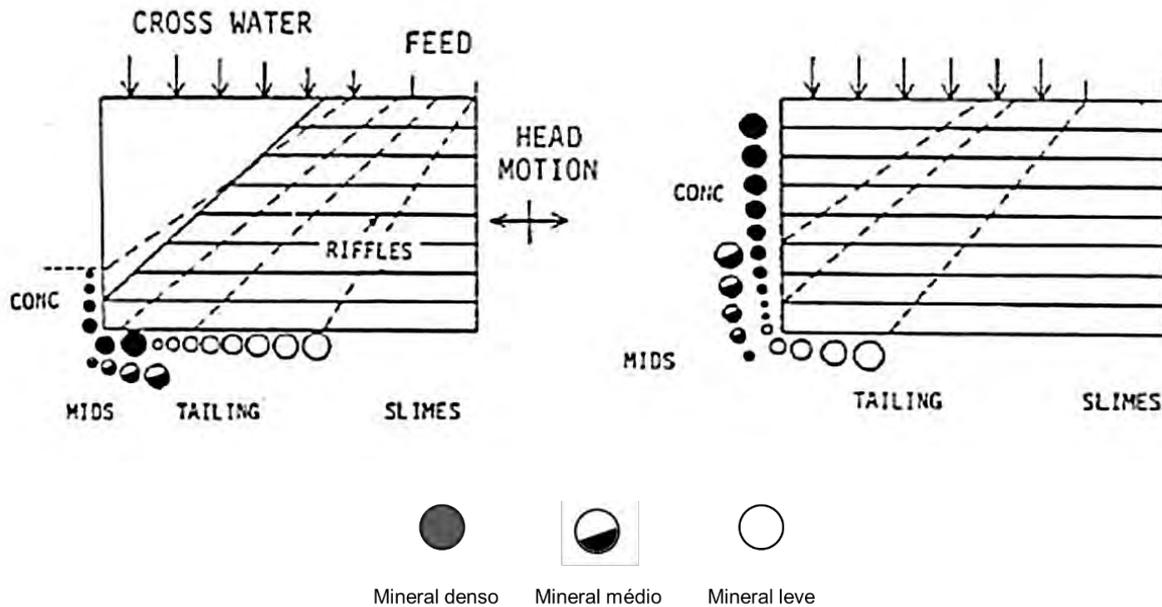
c) **Control del caudal del líquido de lavado:** El consumo de agua para la alimentación varía de 38 a 83 l/min y para el lavado varía de 11 a 45 l/min.

d) **Control de las vibraciones de una mesa vibratoria:** La longitud del recorrido y la velocidad de las sacudidas influyen en la recuperación de las partículas, las partículas finas requieren de mayor velocidad y de un recorrido más corto para obtener una mejor separación.

Las partículas se estratifican debido a la dilatación causada por el movimiento asimétrico de la mesa y por la turbulencia de la pulpa a través de los riffles, comportándose ente lecho entre los riffles como si fuera un Jig en miniatura – con sedimentación retardada y consolidación intersticial – haciendo que los minerales pesados y pequeños queden más próximos a la superficie que los grandes y livianos.

e) **Localización de los separadores de los productos:** Como se muestra en la figura N° 2.41, existen tres tipos de minerales separados; mineral denso, medio y leve. Por ende, se colocarán tres separadores con sus respectivos contenedores.

Figura N° 2.40 Distribución del mineral según sus pesos específicos



Fuente: (Peralta S., 2010) recuperada <http://slideplayer.com.br/slide/9945749/>

2.2.8 Uso de software para el proyecto de diseño

2.2.8.1 AutoCAD

Herramienta básica asistida por computadora, sirve para realizar representaciones bidimensionales y/o tridimensionales de un determinado objeto; donde cada dibujo debe especificar todas las dimensiones y especificaciones de material necesario para elaborar esa pieza o parte.

A partir de estos dibujos o archivos de CAD debe fabricar un modelo prototipo de prueba o varios modelos para someterlo a pruebas físicas. Es muy probable que las pruebas revelen más defectos y se requieran, por lo tanto, de más iteración. (Norton, Diseño de Maquinaria, 2000) Pág. 13

2.2.8.2 SolidWorks

SolidWorks es un software CAD (diseño asistido por computadora) para modelado mecánico en 2D y 3D. El programa permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto

planos técnicos como otro tipo de información necesaria para la producción. Es un programa que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD, donde se pueden realizar simulaciones mecánicas de diferentes piezas.

2.2.8.3 Microsoft Excel

Microsoft Excel es un programa eficaz de hojas de cálculo que satisface las necesidades. Tiene las siguientes funciones: registrar, organizar y almacenar datos numéricos. Además, se personaliza según sus preferencias.

2.3 Hipótesis

2.3.1 Hipótesis General

El diseño, construcción y operación de una mesa vibratoria IDRAKO NGU es eficiente para recuperar oro de pre concentrado y evita el uso del mercurio en el yacimiento Tres Estrellas del Sur de la zona Boca Colorado – Madre de Dios.

2.3.2 Hipótesis Específicos

- El pre concentrado de oro proveniente del yacimiento aluvial Tres Estrellas del Sur tiene una forma y tamaño adecuado con contenido metálico de 70 g/TM de oro óptimo para el diseño, construcción y operación de una mesa vibratoria IDRAKO NGU.
- Las variables como: grado de inclinación, flujo de agua, intensidad de vibraciones son óptimos para el tratamiento de pre concentrado de oro del yacimiento Tres Estrellas del Sur de la zona Boca Colorado – Madre de Dios.
- La recuperación de oro es óptima utilizando una mesa vibratoria IDRAKO NGU del yacimiento Tres Estrellas del Sur de la zona Boca Colorado – Madre de Dios.
- Los costos de diseño, construcción y operación de una mesa vibratoria IDRAKO NGU son bajos con respecto a otras mesas vibratorias producidas en fábrica.

2.4 Variables

2.4.1 Identificación de variables

2.4.1.1 Variable Independiente

- Diseño
- Construcción
- Operación
 - Grado de inclinación
 - Flujo de agua
 - Intensidad de las vibraciones

Indicadores

- Dimensión
- Costos
- Grados sexagesimales
- Litros/minuto
- Hertz

2.4.1.2 Variable Dependiente

- Recuperación de oro

Indicador

- En porcentaje

2.5 Definición de términos básicos

COLAS (MINERÍA): Concentrados de procesos mineros que usualmente contienen tierra, minerales, agua y rocas.

DISEÑO: Dibujar, proyectar o planificar una acción o trabajo.

DISEÑO DE INGENIERÍA: Conjunto de principios científicos y de ingeniería que define un dispositivo, proceso o sistema con suficiente detalle para permitir su implementación.

DUREZA: Se denomina dureza Brinell a una escala de dureza del material mediante el método indentación, siendo el método de dureza más antiguo.

ESTÉRIL: Mineral o roca que cubre un yacimiento, no presenta beneficio económico para la empresa.

EXPLOTACIÓN AURÍFERA: Es una actividad económica que a lo largo del tiempo ha ido cambiando de lugar e intensidad. La extracción artesanal del oro emplea procedimientos rudimentarios para su extracción. Usualmente, los depósitos de oro con partículas muy delgadas, necesitan del metal hg para un buen recobro del mismo. (Caro, A. R. 2004).

FLUJO LAMINAR: Movimiento de un fluido cuando éste es ordenado, estratificado, suave. En un flujo laminar el fluido se mueve en láminas paralelas sin entre mezclarse y cada partícula de fluido sigue una trayectoria suave, llamada línea de corriente. (Perilla Castillo, E., & Pinilla Sepúlveda A. E. 2004).

FUERZA: Es todo agente capaz de modificar la cantidad de movimiento o la forma de los materiales (Streeter, V L Wylie. E. B. Bedlord, K W & Saldarriaga, J. G 1988)

FUERZA DE GRAVEDAD: Fuerza de atracción ejercida por la tierra para todos los cuerpos hacia su centro.

GRAVIMETRÍA: Un método analítico cuantitativo para determinar la cantidad de una sustancia midiendo su peso. (Cano F PP.YJ & Payon, G. Y 1977).

GRANULOMETRÍA: Se denomina clasificación granulométrica o granulometría, a medición y graduación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria, de los materiales sedimentarios. Así como de los suelos, con fines de análisis, tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas, y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica. Salager, J. (2007).

MERCURIO: El mercurio (Hg), es un elemento metálico, de color plateado que permanece en estado líquido a temperatura ambiente. Su número atómico es de 80 y es uno de los elementos de transición del sistema periódico. El mercurio, en otra época llamado plata líquida o azogue, fue objeto de estudio de la alquimia. (Yarto, M., Gavilán, A, & Castro, J. 2004).

MESA VIBRATORIA: Equipo encargado de concentrar minerales por vibración.

MOVIMIENTO LONGITUDINAL: Movimiento que realiza la mesa Wilfley cuando está en funcionamiento.

ORO: El oro es un elemento químico de número atómico 79, que está ubicado en el grupo 11 de la tabla periódica Es un metal precioso blando de color amarillo. Su símbolo es Au (Martin, J. M. (2000).

PARTÍCULAS: Porción de dimensiones muy reducidas de materia Marion. I B (1975) Dinámica clásica de las partículas v sistemas. Reverté.

PESO ESPECÍFICO: Es la relación que existe entre el peso y el volumen que ocupa una sustancia ya sea en estado sólido, líquido o gaseoso. Puede expresarse en newton sobre metro cúbico (en el Sistema Internacional). García Cárcel, R. (1988)

RECUPERACIÓN: Es la relación que existe entre el peso del material útil que hay en el concentrado con respecto al peso de ese mismo material que hay en la alimentación.

RIFLES: Estrías ubicadas en la parte superior, cubierta de la mesa Wilfley que permite la correcta separación de las partículas procesadas al momento de agitar la máquina.

SUPERFICIE: Aspecto exterior de una situación, que se percibe a primera vista sin profundizar en su conocimiento. Casanova R & Debroise, O. (1989).

TAMIZADO: Selección de tamaño de partículas del material a procesar.

VIBRACIÓN: Se puede considerar como la oscilación o el movimiento repetitivo de un objeto alrededor de una posición de equilibrio. La posición de equilibrio es la que llegará cuando la fuerza que actúa sobre él sea cero. (Saavedra, P. 1998).

CAPITULO III METODOLOGÍA

3.1 **Ámbito del Estudio: Localización Política, Geográfica**

Políticamente el yacimiento aurífero Tres Estrellas del Sur pertenece al departamento de Madre de Dios de la provincia de Manu, distrito de Madre de Dios y su capital de Boca Colorado cuya extensión aproximada es 7 234.81 km².

El ámbito de estudio se encuentra ubicado en el sur-oeste del territorio peruano, de coordenadas latitud: 12°, 37', 22.84". Sur y Longitud: 70°, 24', 50.91". Oeste, mostrado en la figura N° 3.1, de acuerdo al sistema de coordenadas geográficas WGS.

Figura N° 3.1 Ubicación geográfica del yacimiento aurífero aluvial



Fuente: Google Earth Pro, 2021

3.2 **Diseño de investigación**

3.2.1 **Método de la investigación**

Investigación aplicada – tecnológica

La investigación es aplicada, porque busca generar un conocimiento de aplicación directa al problema del yacimiento aurífero Tres Estrellas del Sur. Esta se basa fundamentalmente en los hallazgos tecnológicos de la investigación básica, ocupándose del proceso de enlace entre la teoría y el equipo fabricado.

La investigación es tecnológica, porque busca soluciones al problema en el ámbito tecnológico deficiente que emplea el yacimiento Tres Estrellas del Sur. Esto implica modernizar con nuevas tecnologías, empleando un nuevo método para recuperar oro, reorganizando de otra forma las operaciones y procesos ya existentes. Por eso se diseña un equipo con la finalidad de beneficiar no solo económicamente y socialmente, si no que reduce los impactos ambientales que implica la actividad minera del oro.

3.2.2 Tipo de investigación

Es de tipo cuantitativo, ya que utilizamos la recolección y el análisis de datos para contestar preguntas de la investigación y así probar las hipótesis establecidas previamente. Para establecer con exactitud las variables de una mesa vibratoria IDRAKO NGU.

Es de tipo experimental, ya que se basa en la manipulación de las variables independientes y la observación de los resultados para el diseño, construcción y operación de una mesa vibratoria IDRAKO NGU.

Es de tipo deductivo, ya que extrae conclusiones en base a conceptos, leyes y normas pre establecidas en el diseño, construcción y operación de una meza vibratoria IDRAKO NGU, para obtener una recuperación alta al tratar pre concentrados de oro.

Es de tipo analítico, por medio del cual se realiza un estudio detallado de la investigación para conocer sus características, parámetros, diseño y limitaciones, y extraer conclusiones, que se realiza separando y sintetizando las partes que la constituyen.

3.2.3 Nivel de la investigación

Un estudio descriptivo: Se basa en describir las características del mineral que se va a tratar en el equipo, establecer los parámetros para el equipo y su funcionamiento; midiendo de forma independiente las variables de la investigación.

Un estudio explicativo: Se centra en buscar las causas y a exponer la realidad de la deficiente tecnología para la obtención del oro, dando a conocer una solución implementando una mesa vibratoria IDRAKO NGU como nueva tecnología en la recuperación de oro.

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población de Estudio

Diseño de concentradores gravimétricos tipo mesas vibratorias para tratar pre concentrado de oro.

3.3.2 Muestra de estudio

Diseño, construcción y operación de una mesa vibratoria para tratar pre concentrado de oro.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En el siguiente trabajo se utilizan técnicas de investigación experimental – observacional, además de revisión bibliográfica y recolección teórica a partir de sitios web. También se hará uso de los avances desarrollados de los diferentes cursos llevados en la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la UNSAAC. Tales como:

- Apunte de datos.
- Experimentación y observación del trabajo.
- Revisión bibliográfica.
Buscar información de carácter medio ambiental, social y tecnológico.
- Recopilación de Información.
- Ordenar y verificar minuciosamente las fuentes bibliográficas.
- Propuesta de una tecnología para producción sostenible.
- Pruebas metalúrgicas en laboratorios.

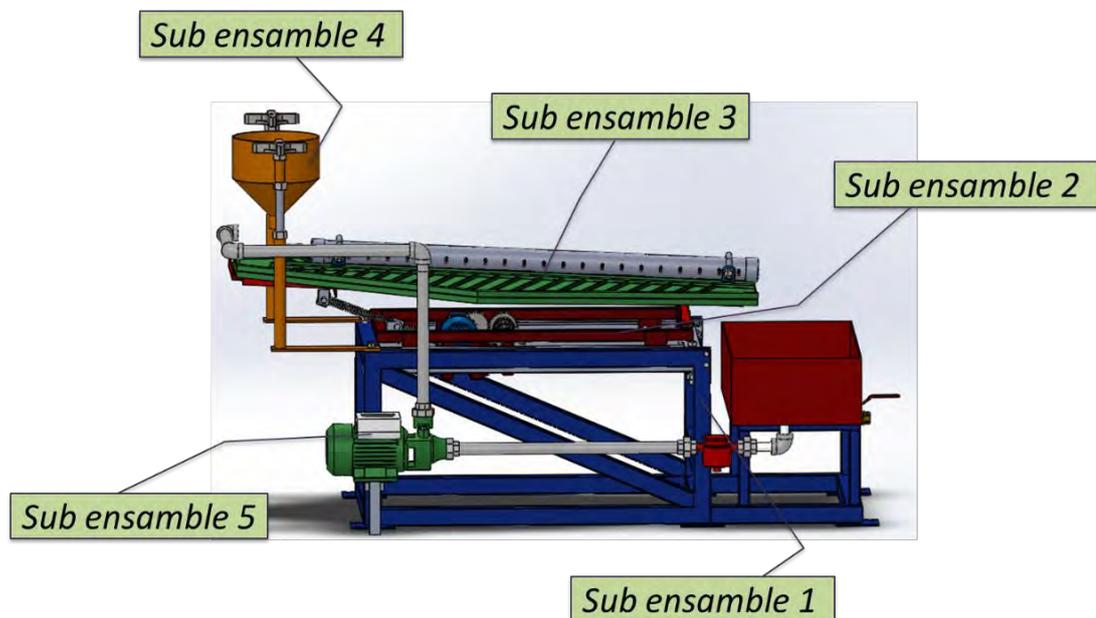
CAPITULO IV

DISEÑO E INGENIERÍA DE UNA MESA VIBRATORIA IDRAKO NGU

4.1 Diseño de una mesa vibratoria IDRAKO NGU

La mesa vibratoria IDRAKO NGU, es un equipo diseñado en cinco sub ensambles; característica particular para amar y desmontar fácilmente. En la figura N° 4.1, muestra la división en sub ensambles donde:

Figura N° 4.1 Partes de una mesa vibratoria IDRAKO NGU



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

El sub ensamble 1, constituida por una estructura de soporte principal; donde están montados los demás sub ensambles.

El sub ensamble 2, constituida por una estructura de soporte con características y funciones dinámicas. Además, están incluidas; el accionante mecánico, transmisor de velocidad por medio de engranajes, un eje de soporte para los contrapesos anclados a dos chumaceras.

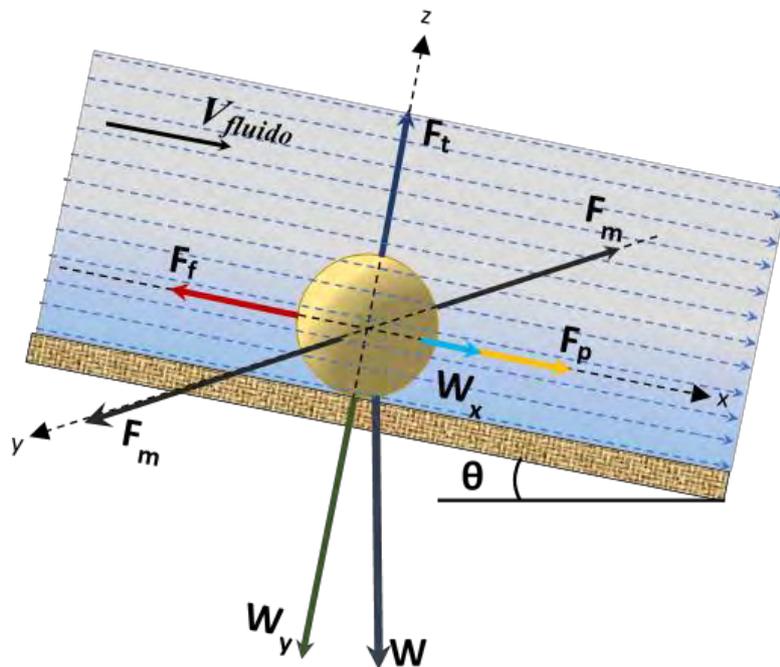
El sub ensamble 3, constituida principalmente por el tablero; este, esta sostenida en un marco de acero. También está incluida los pivotes de elevación para la variación del ángulo de inclinación del tablero.

El sub ensamble 4, constituida por una tolva y sus fijaciones laterales. Y finalmente el sub ensamble 5, se constituye por un sistema de succión y expulsión generada por una electrobomba.

4.1.1 Principio de concentración de una mesa vibratoria IDRAKO NGU

Es el comportamiento dinámico de las partículas en el lecho inclinado de una mesa vibratoria IDRAKO NGU, se da por las partículas del pre concentrado que son transportadas por la corriente de agua a lo largo del tablero inclinado, estas tienen una trayectoria de movimiento compleja. Para mayor comprensión se muestra en la ilustración 4.2; un diagrama de cuerpo libre, detallando todas las fuerzas actuantes sobre una partícula de pre concentrado el cual genera desplazamientos a lo largo del tablero.

Ilustración N° 4.1 Diagrama de cuerpo libre de una partícula del pre concentrado



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

4.1.1.1 Aceleración gravimétrica de las partículas del pre concentrado

La partícula de Au, ZrSiO₄, SiO₂ y otros de diferentes masas y densidades, ubicadas en la corriente de agua, moviéndose a lo largo del plano inclinado en un ángulo θ° , experimentan la acción de un complejo de fuerzas; existen fuerzas dominantes tales son:

- Fuerza ejercida por la presión dinámica del fluido F_p :

$$F_p = C_x (V_f - v)^2 \times d^2 \times \rho_f \quad [N] \quad \text{Ec. [4.1]}$$

- Fuerza ejercida por la acción de los regímenes turbulentos F_t :

$$F_t = C_x - u^2 \times d^2 \times \rho_f \quad [N] \quad \text{Ec. [4.2]}$$

- Fuerza ejercida por la fricción de la superficie del tablero F_f :

$$F_f = (m \times g \times \cos \theta - F_t) \times f \quad [N] \quad \text{Ec. [4.3]}$$

- Fuerza ejercida por la acción de la gravedad W_x :

$$W_x = m \times g \times \sin \theta^\circ \quad [N] \quad \text{Ec. [4.4]}$$

- Fuerza ejercida por el movimiento asimétrico del tablero F_m :

$$F_m = m \times a \quad [N] \quad \text{Ec. [4.5]}$$

Donde:

V_f : Velocidad del fluido

v : Velocidad de viaje de la partícula del pre concentrado

u : Velocidad promedio vertical de la partícula del pre concentrado

f : Coeficiente de fricción

C_x : Coeficiente de arrastre

m : Masa de la partícula del pre concentrado

a : Aceleración de la gravedad

d : Diámetro de la partícula del pre concentrado

ρ_f : Densidad del fluido

La ecuación diferencial que tiene en cuenta todas las fuerzas de movimiento de una partícula del pre concentrado, esta denotada por la ecuación N° 4.6:

$$m \frac{dv}{dt} = W_x + F_p + F_t - F_f + F_m - F_m \quad \text{Ec. [4.6]}$$

Donde se tiene la ecuación de movimiento de una partícula:

$$m \frac{dv}{dt} = W_x + F_p + F_t - F_f$$

$$m \frac{dv}{dt} = m \times g \times \sin \theta^\circ + C_x (V_f - v)^2 \times d^2 \times \rho_f + C_x - u^2 \times d^2 \times \rho_f - (m \times g \times \cos \theta - F_t) \times f$$

Resolviendo la ecuación diferencial, se tiene la velocidad con que viajan las partículas del pre concentrado:

$$v = V_f - \sqrt{v_0^2 \times (f \times \cos \theta - \sin \theta) - u_f^2} \left[\frac{m}{s} \right] \quad \text{Ec. [4.7]}$$

Donde:

v_0 : Velocidad de caída libre de la partícula del pre concentrado

u_f : Velocidad del fluido ejercida por los regímenes turbulentos en forma vertical

Se considera que u_f es demasiado pequeña para considerar en el movimiento dinámico de la partícula de pre concentrado, entonces se tiene la ecuación N° 4.8:

$$v = V_f - v_0 \times \sqrt{f \times \cos \theta - \sin \theta} \left[\frac{m}{s} \right] \quad \text{Ec. [4.8]}$$

Para determinar la velocidad promedio del fluido V_f se tiene la ecuación N° 4.9:

$$V_f = \frac{\rho_f \times g \times \sin \theta^\circ \times \delta^2}{3 \times \mu} \left[\frac{m}{s} \right] \quad \text{Ec. [4.9]}$$

Donde:

δ : Espesor de la película de agua que cubre la superficie del tablero

μ : Coeficiente dinámico del agua a 20° centígrados

$$V_f = \frac{998.29 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times \sin 3^\circ \times (0.003 \text{ m})^2}{3 \times (1.002 \times 10^{-3} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m} \times \text{s}} \right))}$$

$$V_f = 1.533 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Calculando la velocidad de una partícula de Au de $d = 37 \mu\text{m}$ que se desliza a lo largo de la superficie del tablero que ejerce un coeficiente de fricción $f = 0.3$, de la ecuación N° 4.8, si su velocidad de sedimentación es $v_0 = 0.01359 \text{ m/s}$:

$$V_{R1} = V_f - v_0 \times \sqrt{f \times \cos \theta^\circ - \sin \theta^\circ}$$

$$V_{R1} = 1.533 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0.01359 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times \sqrt{0.3 \times \cos 3^\circ - \sin 3^\circ}$$

$$V_{R1} = 1.526 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Calculando la velocidad de una partícula de $Zr Si O_4$ de $d = 74 \mu\text{m}$ que se desliza a lo largo de la superficie del tablero que ejerce un coeficiente de fricción $f = 0.3$, de la ecuación N° 4.8, si su velocidad de sedimentación es $v_0 = 0.01093 \text{ m/s}$:

$$V_{R2} = V_f - v_0 \times \sqrt{f \times \cos \theta^\circ - \sin \theta^\circ}$$

$$V_{R2} = 1.533 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0.01093 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times \sqrt{0.3 \times \cos 3^\circ - \sin 3^\circ}$$

$$V_{R2} = 1.527 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

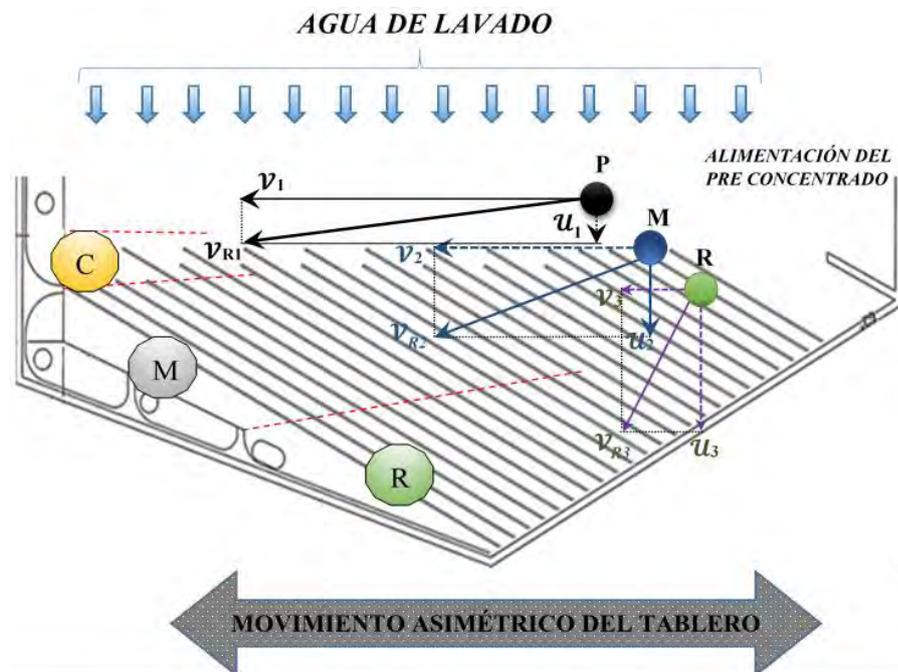
Calculando la velocidad V_{R3} de una partícula de SiO_2 de $d = 74 \mu m$ que se desliza a lo largo de la superficie del tablero que ejerce un coeficiente de fricción $f = 0.3$, de la ecuación N° 4.8, si su velocidad de sedimentación es $v_0 = 0.00439 m/s$:

$$V_{R3} = V_f - v_0 \times \sqrt{f \times \cos \theta^\circ - \sin \theta^\circ}$$

$$V_{R3} = 1.533 \frac{m}{s} - 0.00439 \frac{m}{s} \times \sqrt{0.3 \times \cos 3^\circ - \sin 3^\circ}$$

$$V_{R3} = 1.531 \frac{m}{s}$$

Ilustración N° 4.2 Aceleración gravimétrica de diferentes partículas del pre concentrado



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Vectorialmente se muestra en la ilustración N° 4.2, la aceleración gravimétrica de partículas del pre concentrado; las fuerzas actuantes toman una dirección gracias a la diferencia de pesos específico que existe. Las velocidades son las siguientes:

v_1, v_2 y v_3 : Vectores actuantes de la partícula (x)

u_1, u_2 y u_3 : Vectores actuantes de la partícula (y)

v_{R1}, v_{R2} y v_{R3} : Resultantes de los vectores actuantes

4.2 Diseño del sud ensamble 1

Según las normas estándares de construcción en estructuras metálicas, es fundamental el uso de los aceros fabricados según norma ASTM A 500 de secciones redondas, cuadradas y rectangulares; para la estructura de soporte de una mesa vibratoria el tubo de sección cuadrada es la más adecuada, porque tiene propiedades mecánicas de resistencia a la tracción y límite de fluencia mayores a las secciones redondas como se muestra en la tabla N° 4.1:

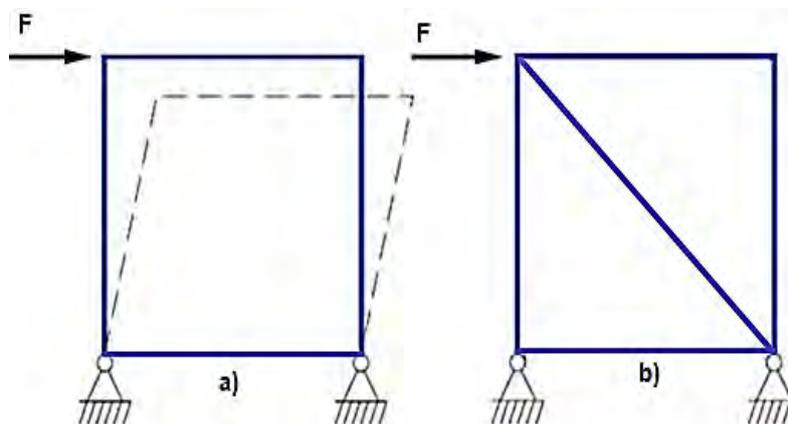
Tabla N° 4.1 Propiedades mecánicas del tubo LAC ASTM A 500

Sección	Resistencia a la tracción (Mpa)		Límite de fluencia (Mpa)	
	Grado A	Grado B	Grado A	Grado B
Redonda	310	400	230	290
Cuadrada y rectangular	310	400	270	315

Fuente: (Aceros Arequipa, 2018)

Por otro lado, el esfuerzo lateral inducido por el accionar del motor tiende a deformar el marco simple mostrado en la figura N° 4.2 dónde: a) Conexión de momento, que demanda rigidez y resistencia y b) Alternativa de conexión arriostrada que contrarresta el efecto de la deformación, dicho elemento asume los esfuerzos de tracción y de compresión dejando a la estructura de soporte apta para que trabaje mecánicamente homogénea.

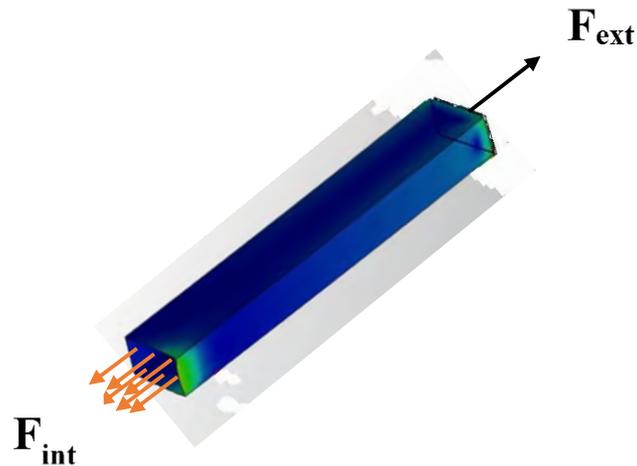
Figura N° 4.2 Conexión estructural con arriostramiento



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Se toma en consideración la alternativa b) ya que el diseño no solo ayuda en estabilizar el equipo en el funcionamiento de las vibraciones, sino que evita la deformación del soporte. Esfuerzo axial del perfil de acero A 500 cuadrado mostrado en la figura N° 4.3; sometida a carga externa y para contrarrestar se genera una carga interna:

Figura N° 4.3 Perfil de acero A 500 de 40x40x1.8 mm sometido a tracción



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Datos:

$$F = 196 \text{ N}$$

$$A = 275.04 \text{ mm}^2$$

Sustituyendo en la ecuación N° 2.12:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

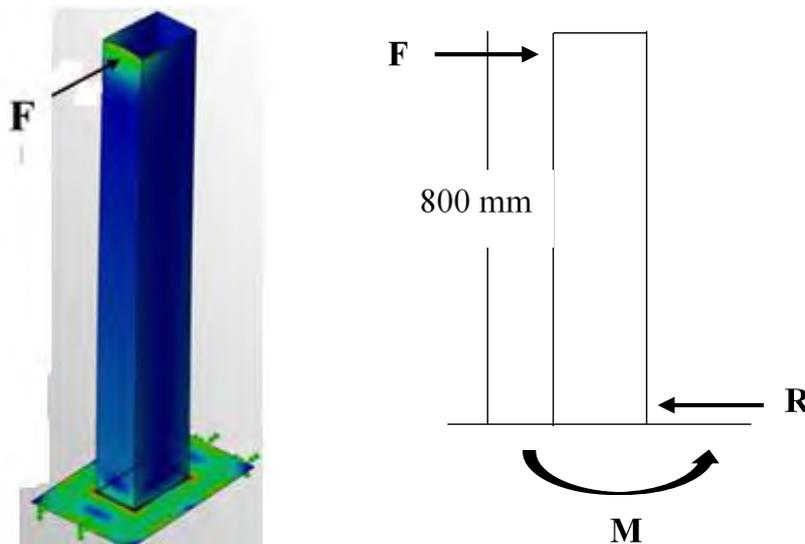
$$\sigma = \frac{196 \text{ N}}{275.04 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma = 0.71 \text{ MPa}$$

Esfuerzo flexionante del perfil de acero A500 cuadrado, así muestra la figura N° 4.4; donde está sometida a una fuerza externa en el extremo del perfil.

Con respecto al eje X, en el sentido opuesto será la misma cantidad de esfuerzo. Los estudios estáticos suponen que las cargas son constantes o se aplican muy lentamente hasta que alcanzan sus valores completos. Debido a esta suposición, la velocidad y aceleración de cada partícula del modelo se supone nula. Como resultado, los estudios estáticos desprecian las fuerzas de inercia y amortiguación.

Figura N° 4.4 Perfil de acero A 500 de 40x40x1.8 mm sometido a flexión



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Donde:

$$R = F = 196 \text{ N}$$

$$M = F \cdot L = 196 \text{ N} \cdot 800 \text{ mm}$$

$$M = 156800 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Sustituyendo en la ecuación N° 2.14:

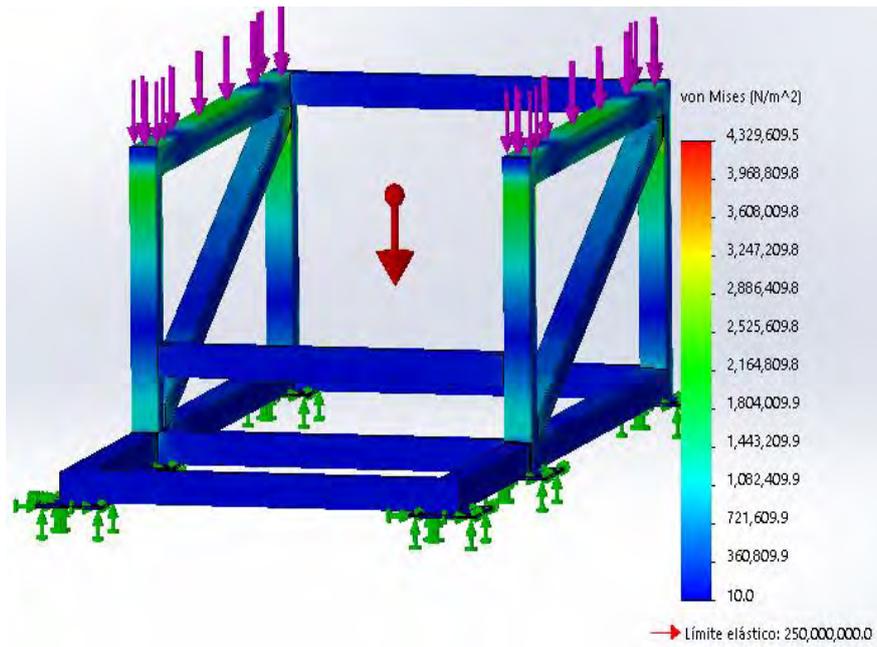
$$\sigma = \frac{Mx}{I}$$

$$\sigma = \frac{156800 \text{ N} \cdot \text{mm} \times 40 \text{ mm}}{\frac{(40^4 - 36.4^4) \text{ mm}^4}{12}}$$

$$\sigma = 93.55 \text{ MPa}$$

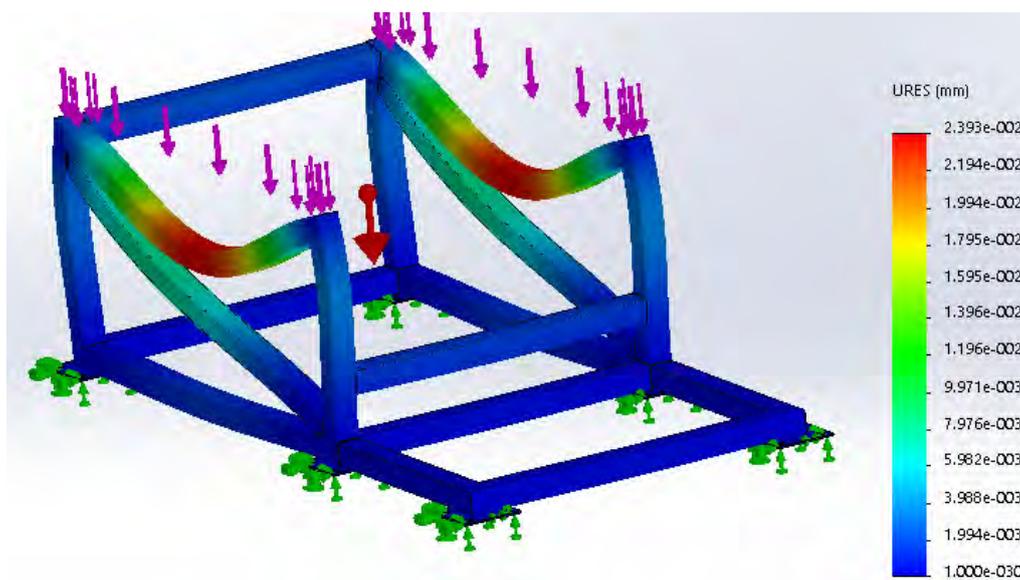
En la ilustración N° 4.3, donde la simulación muestra un tipo de resultado del análisis estático de tensión a una escala de deformación 1 N/mm². Y en la ilustración N° 4.4, la simulación obtiene un tipo de resultado del desplazamiento estático a una escala de 5268.05 N/mm².

Ilustración N° 4.3 Simulación del análisis estático del sub ensamble 1



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020) Escala 1:10

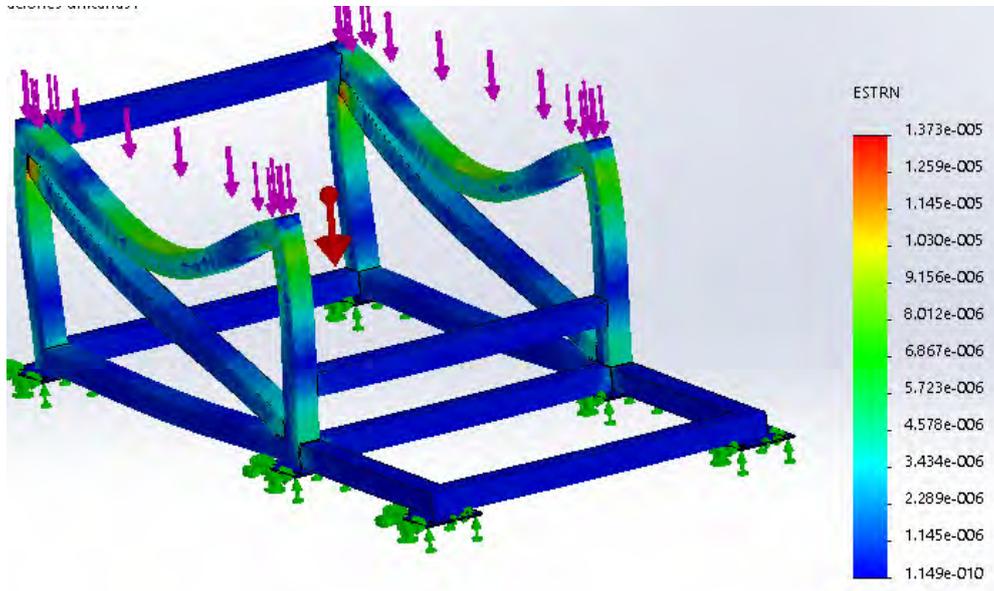
Ilustración N° 4.4 Simulación del desplazamiento estático del sub ensamble 1



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020) Escala 1:10

Y el tipo de resultado de la deformación estática unitaria mostrada en la ilustración N° 4.5, a una escala de 5268.05 N/mm².

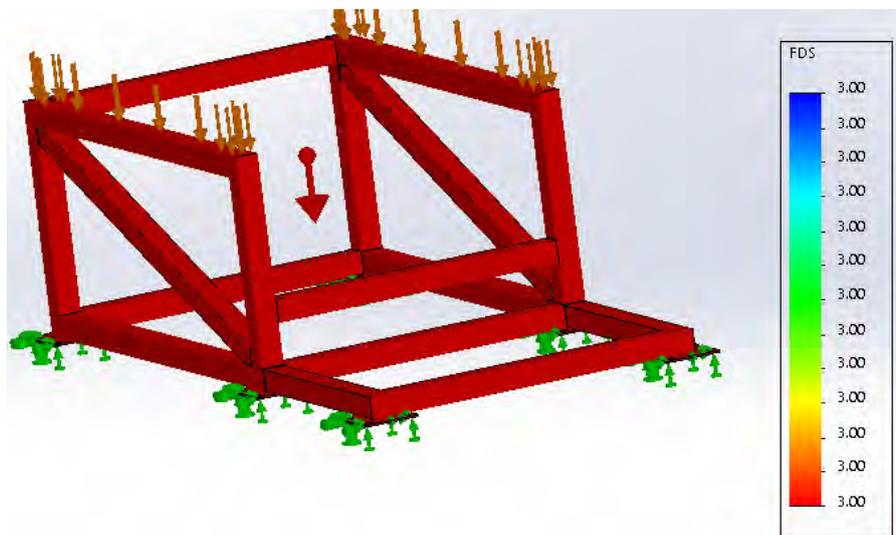
Ilustración N° 4.5 Simulación de la deformación estática unitaria



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020) Escala 1:10

Estáticamente la simulación adopta al diseño como fiable, la ilustración N° 4.6, demuestra una distribución de factor de seguridad como mínimo 3 como mínimo para su posterior construcción.

Ilustración N° 4.6 Distribución de factor de seguridad



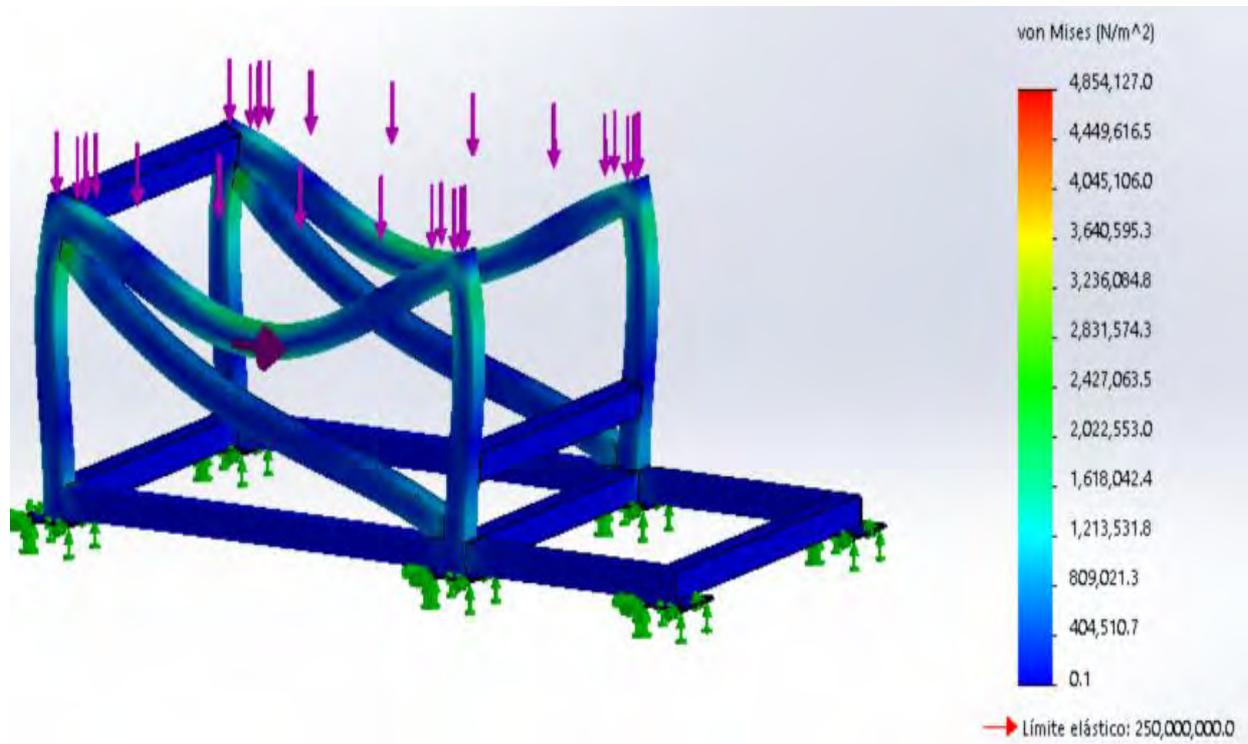
Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020) Escala 1:10

Los estudios dinámicos lineales se basan en los estudios de frecuencia en el sub ensamble 1. El software calcula la respuesta del modelo mediante la acumulación de la contribución de cada modo al entorno de carga. La contribución de un modo depende de la frecuencia de la carga.

El objetivo de realizar el análisis dinámico lineal incluye: Diseñar el sistema estructural y mecánico del sub ensamble 1 para que funcione sin errores en entornos dinámicos y modificar las características del sistema (geometría, mecanismos de amortiguamiento, propiedades de material, etc.) para reducir los efectos de la vibración.

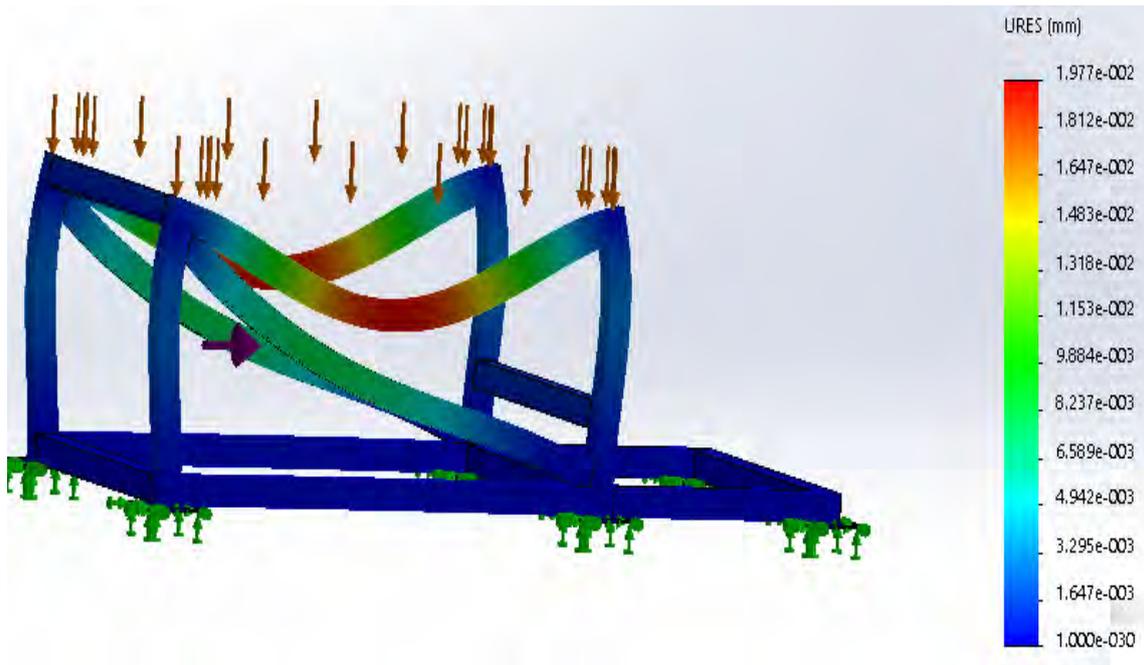
La ilustración N° 4.7, muestra el tipo de resultado obtenido por la simulación dinámica lineal de tensión, o sea perturbada el sub ensamble mediante una excitación en el primer segundo a una escala de deformación de 6377.42 N/mm^2 .

Ilustración N° 4.7 Simulación dinámica lineal de tensión



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020) Escala 1:10

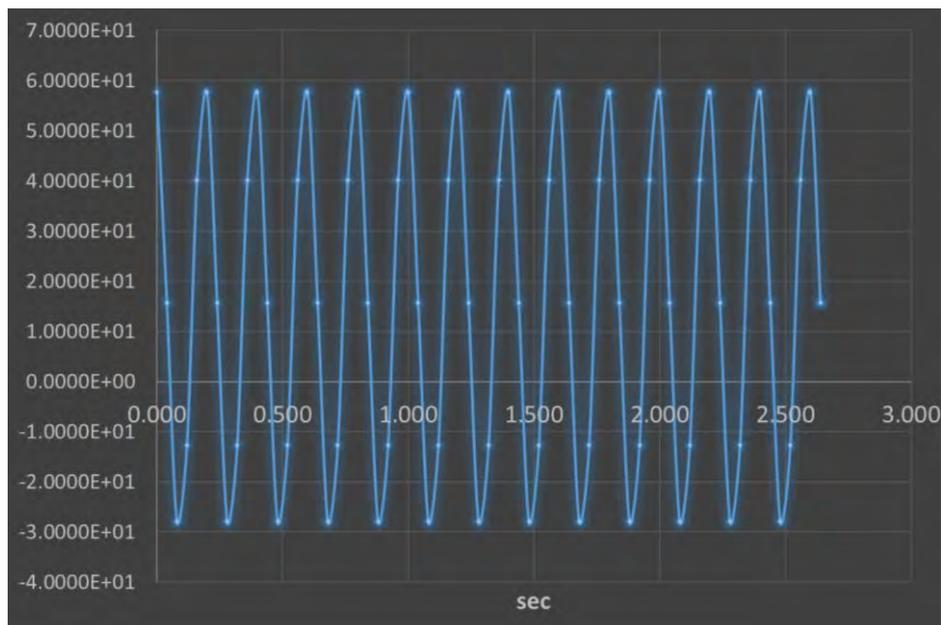
Ilustración N° 4.8 Simulación dinámica lineal de desplazamiento



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020) Escala 1:10

La ilustración N° 4.8, muestra el tipo de resultado obtenido por la simulación dinámica lineal de desplazamiento, o sea sometida a fatiga en el primer segundo a una escala de deformación de 6377.42 N/mm^2 , para más detalle citar la tabla del anexo 33.

Ilustración N° 4.9 Deslizamiento dinámico lineal (mm)



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020) - Data del software CAD Solidworks

Es necesario realizar una prueba de resonancia así detalla la ilustración N° 4.9, también denomina frecuencia de resonancia a aquella frecuencia característica del sistema que alcanza el grado máximo de oscilación.

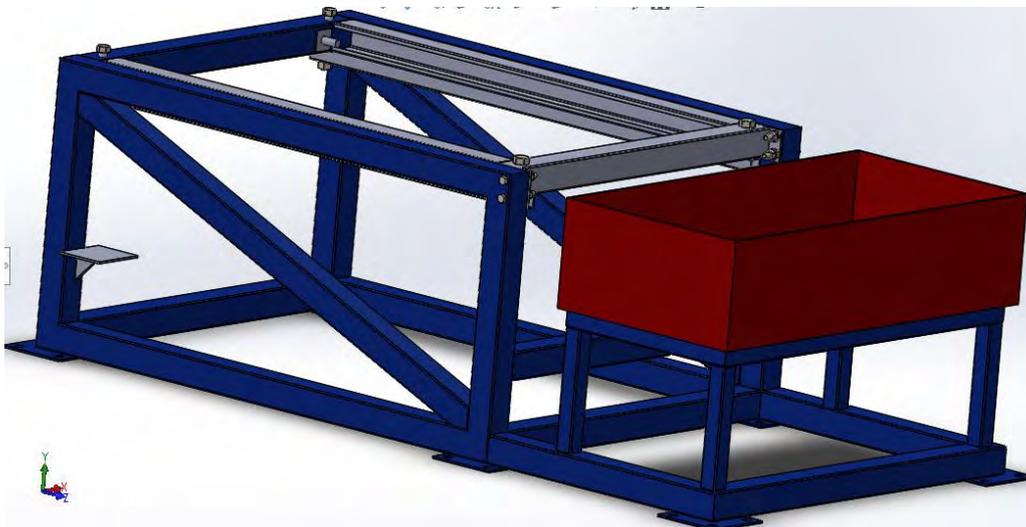
Tabla N° 4.2 Resonancia del sub ensamble 1

Armónicos	Hz	rpm
1°	88.74	5324.34
2°	172.79	10367.40
3°	209.54	12572.40
4°	279.22	16753.20
5°	286.66	17199.60

Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020) - Data del software CAD solidworks

El sub ensamble 1 mostrada en la figura N° 4.5 es un sistema que tiene una, o varias, frecuencias características. Cuando un sistema es excitado a una de sus frecuencias características, su vibración es la máxima posible. El aumento de vibración se produce porque a estas frecuencias el sistema entra en resonancia, así como muestra la tabla N° 4.2.

Figura N° 4.5 Diseño del sub ensamble 1



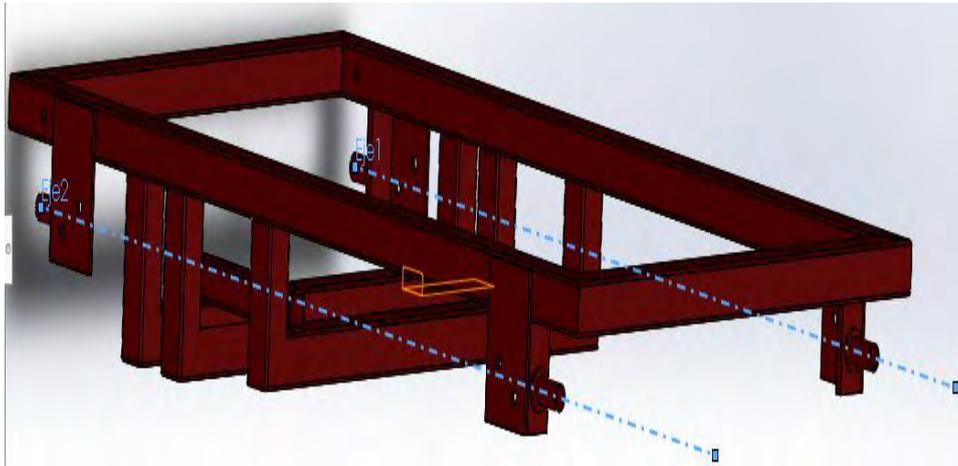
Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020) Escala 1:10

Cuando el sistema físico se somete a un estímulo, parte de la energía pasa al mismo. Si el aporte de energía se hace a una frecuencia determinada, la tasa de absorción es la máxima posible. Esto puede dar lugar a la inestabilidad en el sistema, o simplemente a la ruptura en

algún punto del mismo. Realizada todas las evaluaciones y simulaciones necesarias a la estructura de soporte se culmina con el diseño del sub ensamble 1.

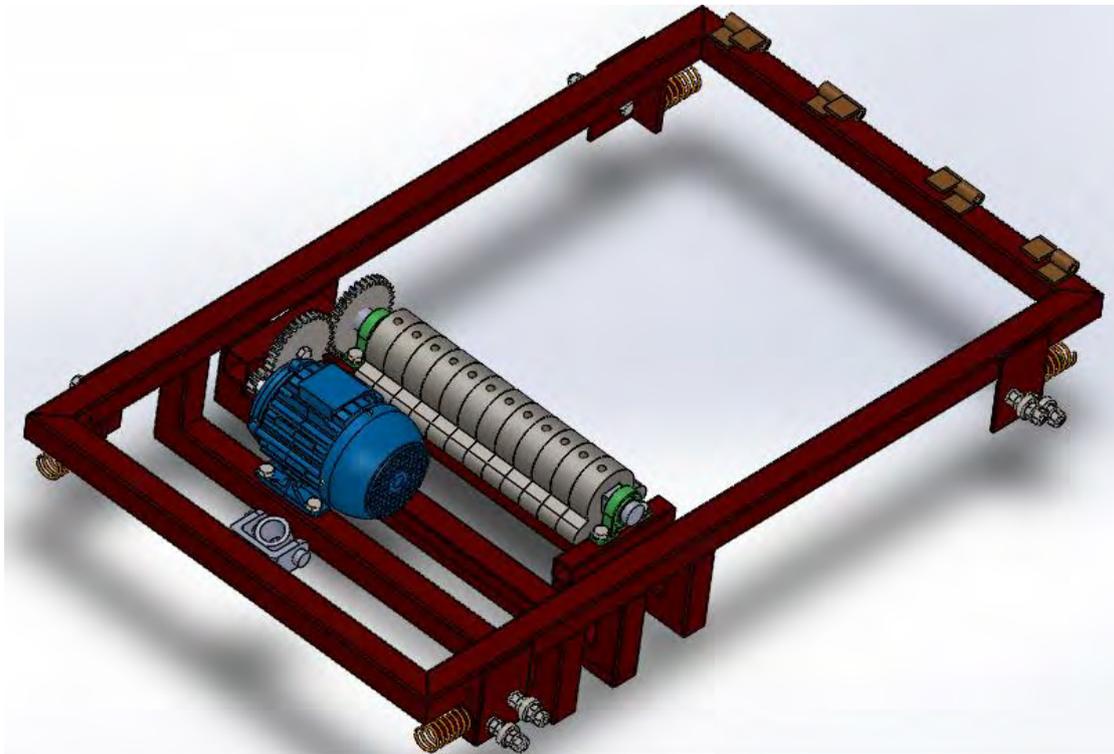
4.3 Diseño del sub ensamble 2

Figura N° 4.6 Diseño de la estructura rígida del sub ensamble 2



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020) Escala 1:5

Figura N° 4.7 Diseño del mecanismo de vibración



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020) Escala 1:5

Esta estructura rígida mostrada en la figura N° 4.6, tiene la facultad de sujetar al sistema mecánico de vibración como se ve en la figura N° 4.7: motor eléctrico, reductor, contrapesos excéntricos, resortes, pivote de elevación y anclaje, rodamientos con respectivos ejes y bisagras para montar el sub ensamble 3 sobre el sud ensamble 2.

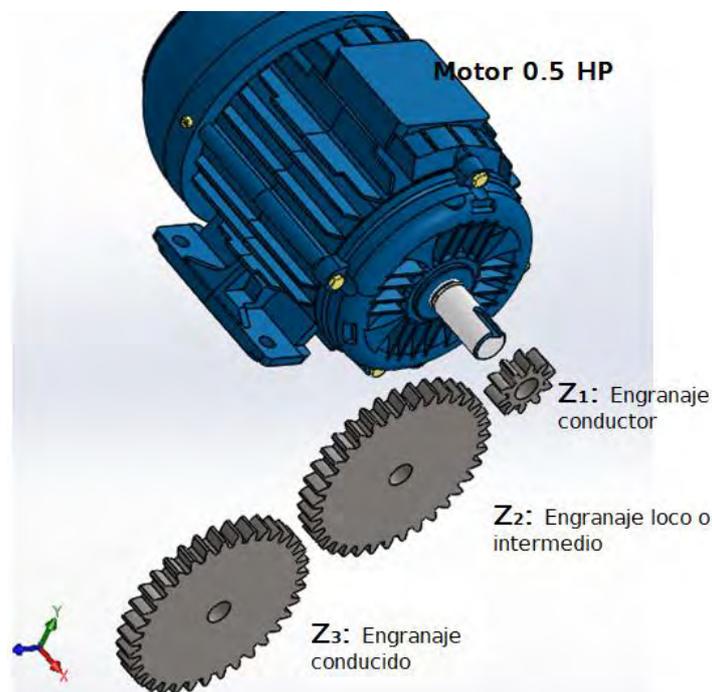
4.3.1 Diseño del mecanismo de vibraciones

Es la parte primordial de todo el equipo, por eso es necesario detallar de manera precisa; a continuación, realizamos las siguientes operaciones

4.3.1.1 Diseño del sistema de transmisión de velocidad

Como la velocidad requerida en una mesa vibratoria oscila entre 200 a 350 rpm, en la figura N° 4.8: se detalla un esquema con tres engranajes para reducir los r.p.m. del motor.

Figura N° 4.8 Esquema de reducción de velocidad



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Donde:

$$Z_2 = Z_3 = 35 \text{ diente}$$

$$Z_1 = 10 \text{ dientes}$$

$$N_2 = N_3 = X \text{ rpm}$$

$$N_1 = 1800 \text{ rpm}$$

Entonces reemplazamos valores en la ecuación N° 2.28; se tiene:

$$N_1 \times Z_1 = N_2 \times Z_2$$

$$1800 \text{ rpm} \times 10 \text{ dientes} = N_2 \times 35 \text{ dientes}$$

$$N_2 = 514.28 \text{ rpm}$$

N_2 Representa la reducción del motor con suministro de frecuencia de 60 Hz, entonces el variador de frecuencia nos da los siguientes datos en la tabla N° 4.3; Donde el motor trifásico síncrono es de $P = 4$, que representa el número de polos.

Tabla N° 4.3 Variación de frecuencia y velocidad del sistema

Frecuencia suministrada (Hz)	$N_1 = \frac{120 \times f}{P}$ (rpm)	$N_2 = N_3 = \frac{N_1 \times Z_1}{Z_2}$ (rpm)
60	1800	514.28
50	1500	428.57
41	1230	351.43
40	1200	342.86
39	1170	334.28
38	1140	325.71
30	900	257.14
20	600	171.42

Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Cálculo dimensional de la Corona

Datos: D_e : 110 mm, Z_C : 35 dientes

Reemplazando valores en la ecuación N° 2.33:

$$D_e = M \times Z_C + 2M$$

$$110 \text{ mm} = M * (35 \text{ dientes}) + 2M$$

$$M = 2.97 \text{ mm}$$

Según tabla $M \cong 3 \text{ mm} = 0.3 \text{ cm}$, en la ecuación N° 2.32 se tiene:

$$D_p = M \times Z_C$$

$$D_p = 0.3 \text{ cm} * 35 \text{ dientes}$$

$$D_p = 10.5 \text{ cm}$$

Para determinar el diámetro interno de la corona se reemplaza en la ecuación N° 2.31:

$$D_i = D_p - 2(1.167 M)$$

$$D_i = 10.5 \text{ cm} - 2(1.167 \times 0.3 \text{ cm})$$

$$D_i = 9.79 \text{ cm}$$

Cálculo dimensional del piñón

Datos: D_e : 37 mm, Z_p : 10 dientes

Reemplazando en la ecuación N° 2.33:

$$D_e = MZ_p + 2M$$

$$37 \text{ mm} = M \times (10 \text{ dientes}) + 2M$$

$$M = 3.08 \text{ mm}$$

Según tabla $M \cong 3 \text{ mm} = 0.3 \text{ cm}$, de la ecuación N° 2.32

$$D_p = M \times Z_p$$

$$D_p = 0.3 \text{ cm} \times 10 \text{ dientes}$$

$$D_p = 3 \text{ cm}$$

Para determinar el diámetro interno del piñón se reemplaza en la ecuación N° 2.31:

$$D_i = D_p - 2(1.167 M)$$

$$D_i = 3 \text{ cm} - 2(1.167 \times 0.3 \text{ cm})$$

$$D_i = 2.29 \text{ cm}$$

Tanto la corona como el piñón tienen el mismo módulo su paso y ancho de engranaje son los mismos.

Paso (p); para ello se reemplaza valores en la ecuación N° 2.34:

$$p = M \times \pi$$

$$p = 3 \text{ mm} \times \pi$$

$$p = 9.42 \text{ mm}$$

Ancho de engranaje; reemplazando valores en la ecuación N° 2.35:

$$B = 12 \times M$$

$$B = 12 \times 3 \text{ mm}$$

$$B = 36 \text{ mm}$$

a) Cálculo dimensional para elegir el motor eléctrico: Si el diámetro primitivo es $D_p = 10.5 \text{ cm}$ y la velocidad del engranaje conducido $\omega = 351.43 \text{ rpm}$.

$$\omega = 351.43 \text{ rpm} \times \frac{2\pi}{60}$$

$$\omega = 36.80 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

La velocidad lineal de transmisión hallamos de la ecuación N° 2.20:

$$v = 36.80 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \times 0.0525 \text{ m}$$

$$v = 1.93 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Y la longitud del engranaje conducido se denota por la ecuación N° 4.10:

$$L_e = \pi \times D_p \quad \text{Ec. [4.10]}$$

Reemplazando valores:

$$L_e = \pi \times 0.105 \text{ m}$$

$$L_e = 0.33 \text{ m}$$

Potencia del sistema de transmisión, dada por la ecuación N° 2.19:

$$P_s = 0.08 \times 1.93 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0.33 \text{ m}$$

$$P_s = 0.051 \text{ kW}$$

Ahora determinamos la potencia teórica, reemplazando de la ecuación N° 2.18:

$$P_t = \frac{196 \text{ N} \times 1.93 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1000} + 0.051$$

$$P_t = 0.43 \text{ KW}$$

Con el uso de un variador de frecuencia se ahorra el consumo de energía en un 50%, para η se considera el rendimiento de un motor eléctrico 95% y para ε se toma valores de la tabla N° 4.4, donde muestra el rendimiento mecánico en sistemas que reducen la velocidad.

Para ello finalmente hallamos la potencia verdadera del motor, dada por la ecuación N° 2.17:

$$P_m = \frac{0.43}{0.95 \times 0.90} \text{ KW}$$

$$P_m = 0.50 \text{ KW}$$

$$P_m = \frac{0.50 \text{ KW} \times 1000}{746 \text{ KW}} \text{ Hp}$$

$$P_m = 0.67 \text{ Hp}$$

Por condiciones de experimentación, se elige un motor trifásico de 0.5 Hp

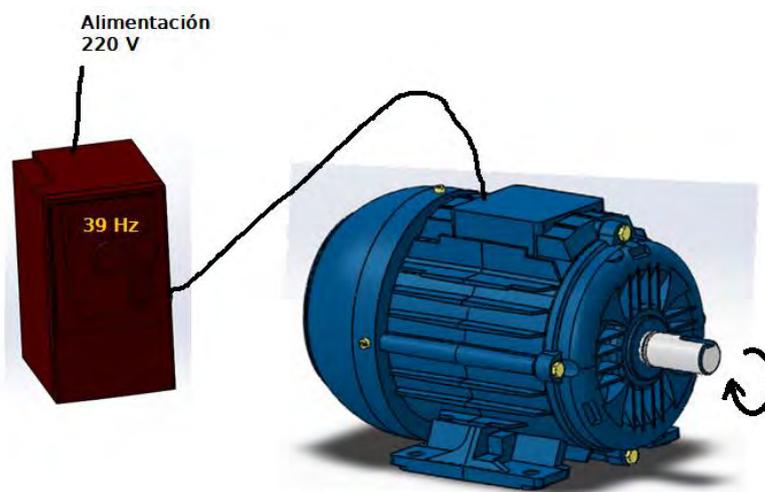
Tabla N° 4.4 Eficiencias de sistemas reductores de velocidad

Tipo de reducción	Eficiencia (%)
Polea y bandas en V	94
Catalina y cadena de rodillos	93
Catalina y cadena de rodillos, lubricados en aceite	95
Reductor de engranajes helicoidales, una reducción	95
Reductor de engranajes helicoidales, doble reducción	94
Reductor de engranajes helicoidales, triple reducción	93
Reductor de tornillo sin-fín (ratio 20:1)	90
Reductor de tornillo sin-fín (ratio 20:1 a 60:1)	70
Reductor de tornillo sin-fín (ratio 60:1 a 100:1)	50
Reductor de engranes rectos (maquinados)	90
Reductor de engranes rectos (fundidos)	85

Fuente: (Morrys Henry, 1992)

b) Cálculo del torque ejercida por el motor eléctrico: Este cálculo se debe realizar tomando en cuenta que el variador de frecuencia (ver figura N° 4.9) está el sistema eléctrico; para ello ver tabla N° 4.6 para tomar datos correctos:

Figura N° 4.9 Esquema de Variación de frecuencia



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

$$P = 0.5 \text{ HP} = 372.85 \text{ Watts}$$

$$N_1 = N_{\text{motor}} = 1170 \text{ rpm}$$

$$N_2 = N_3 = N_{\text{accionante}} = 334.28 \text{ rpm}$$

$$D_{\text{eje del motor}} = \frac{3}{4} \text{ pulg} = 0.01905 \text{ m}$$

Para hallar el torque de entrada, reemplazar valores en la ecuación N° 2.25:

$$T_{\text{motor}} = \frac{9550 \times P}{N_{\text{motor}}}$$
$$T_{\text{motor}} = \frac{9550 \times 0.37285 \text{ KW}}{1170 \text{ rpm}}$$
$$T_{\text{motor}} = 3.04 \text{ Nm}$$

El torque accionante se determina mediante la ecuación N° 2.26:

$$T_{\text{accionante}} = \frac{9550 \times P}{N_{\text{accionante}}}$$
$$T_{\text{accionante}} = \frac{9550 \times 0.37285 \text{ KW}}{334.28 \text{ rpm}}$$
$$T_{\text{accionante}} = 10.65 \text{ Nm}$$

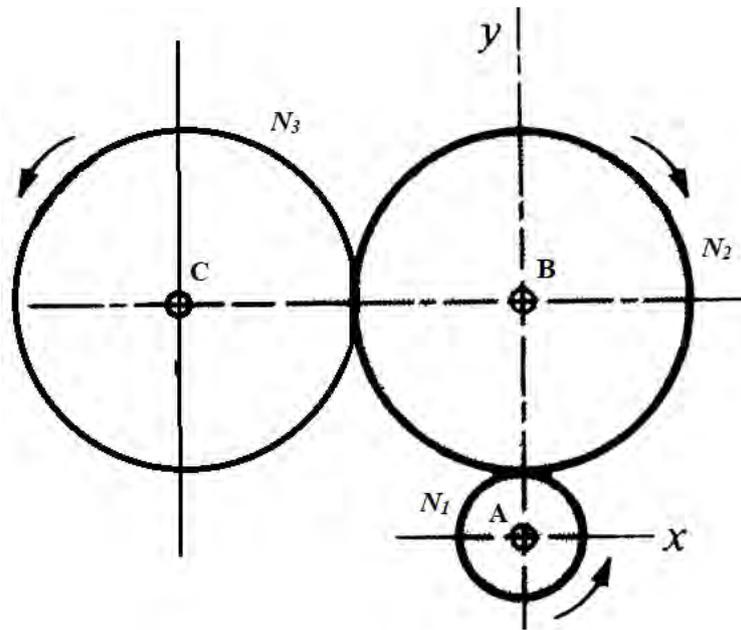
Se determina la fuerza tangencial, usando la ecuación N° 2.27:

$$F_t = \frac{T_{\text{motor}}}{\frac{D}{2}}$$
$$F_t = \frac{3.04 \text{ Nm}}{0.009525 \text{ m}}$$
$$F_t = 319.16 \text{ N}$$

c) Sistema de fuerzas de un par de engranajes

Para dichas fuerzas es necesario tener en cuenta el diagrama de cuerpo libre del par de engranes, mostrada en la figura N° 4.10:

Figura N° 4.10 Diagrama del tren de engranajes rectos



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Datos:

$$P = 0.5 \text{ HP} = 372.85 \text{ Watts}$$

$$DP = 3 \text{ cm}$$

$$DC = 10.5 \text{ cm}$$

$$N_1 = 10 \text{ dientes}$$

$$N_2 = N_3 = 35 \text{ dientes}$$

Para hallar la velocidad lineal es necesario reemplazar valores en la ecuación N° 2.40:

$$N = 1170 \text{ rpm}$$

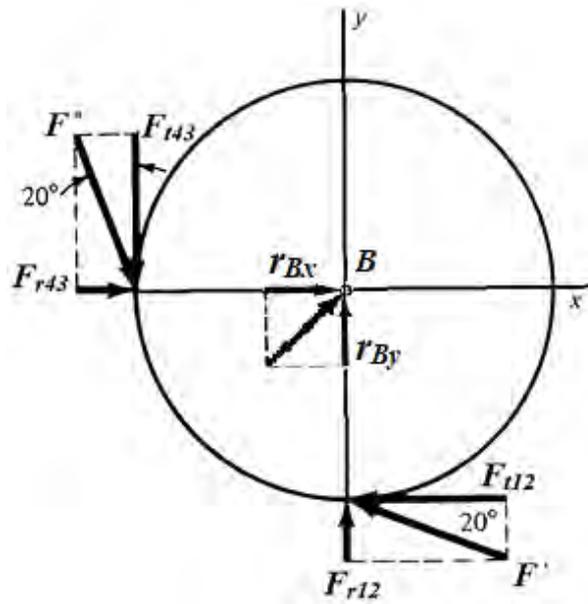
$$V_L = \frac{\pi \times N \times D_P}{60\,000}$$

$$V_L = \frac{\pi \times 1170 \times 30 \text{ mm}}{60\,000}$$

$$V_L = 1.837 \text{ m/s}$$

La velocidad lineal se ajusta a la potencia del motor eléctrico en watts.

Figura N° 4.11 Distribución de fuerzas actuantes en el mecanismo



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

La fuerza tangencial se puede determinar de la ecuación N° 2.39:

$$F_{t12} = \frac{P}{V_L}$$

$$F_{t12} = \frac{372.85}{1.837}$$

$$F_{t12} = 202.967 \text{ N}$$

$$F_{t43} = 202.967 \text{ N}$$

Se puede determinar la fuerza radial mediante la ecuación N° 2.41, donde:

$$F_{r12} = F_t \times \tan \theta$$

$$F_{r12} = 202.967 \text{ N} \times \tan 20^\circ$$

$$F_{r12} = 73.874 \text{ N}$$

$$F_{r43} = 73.874 \text{ N}$$

Por principio de equilibrio en estática, tenemos:

$$\sum F_x = 0$$

$$F_{r43} + r_{Bx} - F_{t12} = 0$$

$$r_{Bx} = F_{t12} - F_{r43}$$

$$r_{Bx} = 202.967 \text{ N} - 73.874 \text{ N}$$

$$r_{Bx} = 129.093 \text{ N} \quad (\rightarrow)$$

$$r_{By} = 129.093 \text{ N} \quad (\uparrow)$$

Finalmente se tiene la fuerza total, definida por la ecuación N° 2.42:

$$F = \sqrt{(F_r)^2 + (F_t)^2}$$

$$F = \sqrt{(73.874 \text{ N})^2 + (202.967 \text{ N})^2}$$

$$F = 215.99 \text{ N}$$

4.3.2 Diseño de una chaveta

Para este cálculo tomar como referencia el diagrama de fuerza actuante sobre la chaveta, ver figura N° 2.38:

Datos:

P: 0.5 HP

N= 1170 rpm

$F_t = 319.16 \text{ N}$

$D = \frac{3}{4}$

$M = 3 \text{ mm}$

Fuerza tangencial del eje del motor F_t

Esfuerzo cortante el cual la chaveta está sometida

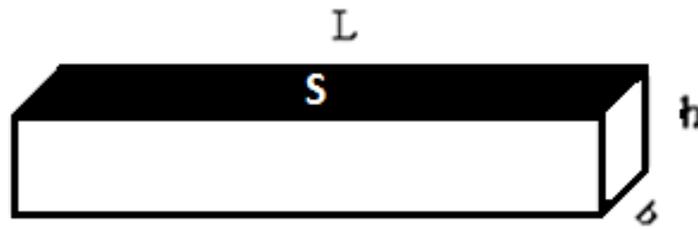
Donde:

L= longitud = 10 mm

S = área lateral de la chaveta

E = espesor del diente de 10 mm

Figura N° 4.12 Dimensiones de una chaveta



Fuente: Troncoso, J. F. y Trujillo, D. (2020)

$$S = b \times L$$

$$S = 6 \text{ m} \times 10 \text{ m}$$

$$S = 60 \text{ m}^2$$

$$S = 6 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

τ = esfuerzo cortante ejercida por la chaveta.

$$\tau = \frac{F}{S}$$

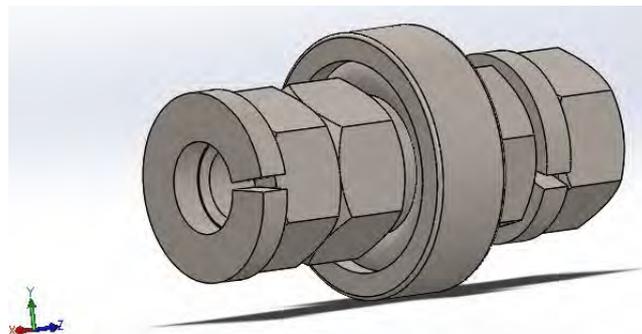
$$\tau = \frac{319.16 \text{ N}}{6 \times 10^{-5} \text{ m}^2}$$

$$\tau = 5.32 \text{ MPa}$$

4.3.3 Selección de rodamientos

En la figura N° 4.13, muestra el rodamiento rígido de bolas empernado entre tuercas y arandelas de presión; esta será sometida a cargas y fatiga. Las especificaciones que se toman en cuenta, se muestran en la tabla N° 4.5; así muestra:

Figura N° 4.13 Rodamiento rígido de bolas



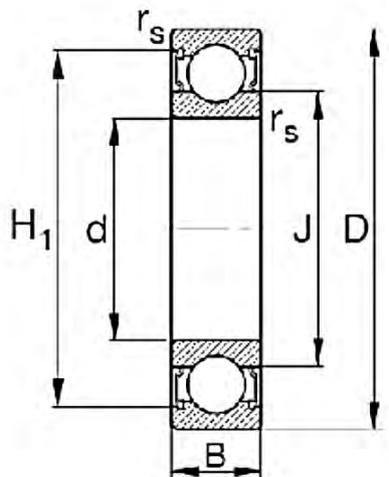
Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Tabla N° 4.5 Dimensiones del rodamiento rígidos de bola

Datos del rodamiento	
Diámetro interno (d)	17 mm
Diámetro externo (D)	40 mm
Espesor (B)	12 mm
Radio (r_s)	0.6 mm
Altura (H_1)	34.4 mm
Diámetro interno de la Jaula (J)	24 mm
Peso	0.065 kg
Carga dinámica	9.5 KN
Límite de fatiga	0.2 KN
Límite de velocidad	22,000 rpm
Referencia de velocidad	20,000 rpm

Fuente: (Docsity, 2019)

Figura N° 4.14 Especificaciones de un rodamiento rígido de bolas



Fuente: (Docsity, 2019)

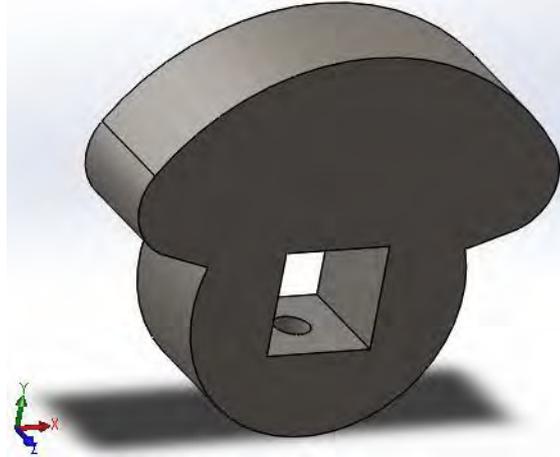
Tabla N° 4.6 Parámetros de trabajo del rodamiento rígido de bolas

Condición	Parámetro
Temperatura	65°C
Velocidad	500 rpm
Frecuencia	800 N

Fuente: (Docsity, 2019)

4.3.4 Diseño de contrapesos

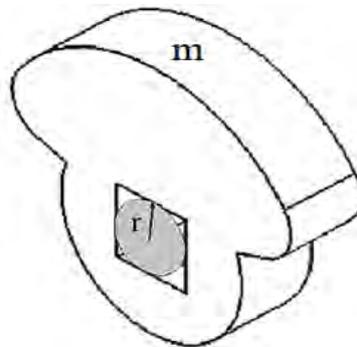
Figura N° 4.15 Diseño del contrapeso excéntrico de eje cuadrado



Fuente: Software CAD solidworks

La velocidad de giro de este contrapeso es efectiva el fenómeno de desbalance, se diseñó como muestra la figura N° 4.15.

Figura N° 4.16 Diagrama del contrapeso



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Fuerza centrífuga generada por los contrapesos son, además tomar como referencia el diagrama del contrapeso detallado en la figura N° 4.16:

De la tabla N° 4.3:

$$N= 334.28 \text{ rpm} = 35.0057\text{rad/s}$$

Contrapeso n°1

$$m= 0.425 \text{ Kg}$$

Reemplazando valores en la ecuación N° 2.43:

$$F_{cf} = m \times r \times N^2$$

$$F_{cf} = 0.425 \text{ Kg} \times 0.009525 \text{ m} \times \left(\frac{35.0057 \text{ rad}}{s} \right)^2$$

$$F_{cf} = 4.96 \text{ N}$$

Contrapeso n°2

$$m = 1.280 \text{ Kg}$$

$$F_{cf} = 1.280 \text{ Kg} \times 0.009525 \text{ m} \times \left(\frac{35.0057 \text{ rad}}{s} \right)^2$$

$$F_{cf} = 14.94 \text{ N}$$

Contrapeso n°3

$$m = 1.950 \text{ Kg}$$

$$F_{cf} = 1.950 \text{ Kg} \times 0.009525 \text{ m} \times \left(\frac{35.0057 \text{ rad}}{s} \right)^2$$

$$F_{cf} = 22.76 \text{ N}$$

Contrapeso n°4

$$m = 3.355 \text{ Kg}$$

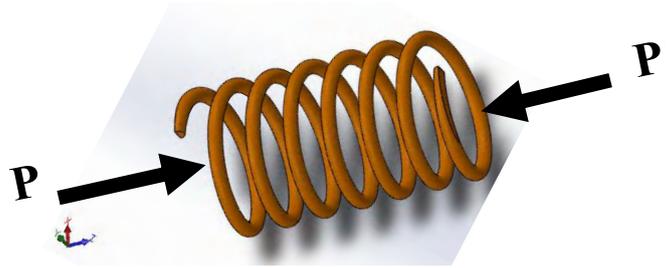
$$F_{cf} = 3.355 \text{ Kg} \times 0.009525 \text{ m} \times \left(\frac{35.0057 \text{ rad}}{s} \right)^2$$

$$F_{cf} = 39.16 \text{ N}$$

4.3.5 Diseño de resortes helicoidales de compresión

Para determinar la geometría del resorte; se hace previas simulación en el CAD SolidWorks con resortes de diferentes dimensiones. Para este estudio se toma algunos datos óptimos desarrollados por simulador Motion, reemplazar valores acordes al diseño del resorte vista en la ilustración N° 4.17:

Figura N° 4.17 Diseño de resorte helicoidal de compresión



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Para determinar el diámetro exterior de longitud comprimida es necesario hallar el diámetro medio del resorte, para ello reemplazar datos en la ecuación N° 2.45:

Donde $D_e = 24 \text{ mm}$ y $d = 3 \text{ mm}$, reemplazando:

$$D = D_e - d$$

$$D = 24 \text{ mm} - 3 \text{ mm}$$

$$D = 21 \text{ mm}$$

También es necesario hallar el paso entre espirales del resorte, donde $L_o = 44.5 \text{ mm}$ y $N_a = 8$; reemplazar valores en la ecuación N° 2.46:

$$p = \frac{L_o - 2d}{N_a}$$

$$p = \frac{44.5 \text{ mm} - 2 * (3 \text{ mm})}{8}$$

$$p = 6.42 \text{ mm}$$

Hallando el diámetro exterior de longitud comprimida mediante la ecuación N° 2.44:

$$DE = \sqrt{D^2 + \frac{p^2 - d^2}{\pi^2}} + d$$

$$DE = \sqrt{(21 \text{ mm})^2 + \frac{(6.42 \text{ mm})^2 - (3 \text{ mm})^2}{\pi^2}} + 3 \text{ mm}$$

$$DE = 24.077 \text{ mm}$$

Índice de resorte se halla mediante la ecuación N° 2.50:

$$C = \frac{D}{d}$$

$$C = \frac{21 \text{ mm}}{3 \text{ mm}}$$

$$C = 7 \text{ mm}$$

Por condición, el resorte es a escuadra y rectificado o esmerilado, Si:

$$D_e = 24 \text{ mm}$$

$$d = 3 \text{ mm}$$

$$N_a = 6$$

$$L_o = 44.5 \text{ mm}$$

Para hallar el número total de espiral se usa la ecuación N° 2.49:

$$N_t = N_a + 2$$

$$N_t = 6 + 2$$

$$N_t = 8$$

Ver tabla N° 2.4, para hallar la longitud solida L_s

$$L_s = N_t \times d$$

$$L_s = 8 \times 3 \text{ mm}$$

$$L_s = 24 \text{ mm}$$

Para el ángulo de paso, desarrollar la ecuación N° 2.47:

$$\lambda = \tan^{-1} \left(\frac{p}{\pi \times D} \right)$$

$$\lambda = \tan^{-1} \left(\frac{6.42}{\pi \times 21} \right)$$

$$\lambda = 5.56^\circ$$

Límite elástico cortante (G); siendo E el límite elástico (ver anexo 3 A) y ν el coeficiente de Poisson. En el caso de aceros $\nu = 0.3$.

$$G = \frac{E}{(2 \times (1 + \nu))}$$

$$G = \frac{197.2}{(2 \times (1 + 0.3))}$$

$$G = 75.85 \text{ GPa}$$

Resistencia mínima a la tracción, consultar anexo 3 B; tomar datos para “A” y “m”:

$$S_{ut} = \frac{A}{d^m}$$

$$S_{ut} = \frac{1783 \text{ MPa}}{3\text{mm}^{0.190}}$$

$$S_{ut} = 1447.099 \text{ MPa}$$

Tabla N° 4.7 Parámetros de resistencia a la tracción del alambre

S_{ut} (MPa)	S_{su} (MPa)	S_{se} (MPa)	τ_{max} (MPa)
$\frac{A}{d^m}$	$\frac{A}{d^m} \times 0.67$	$\frac{A}{d^m} \times 0.38$	$K_w \left(\frac{8FC}{\pi d^2} \right)$

Fuente: (Norton, Diseño de Maquinaria, 2000)

Reemplazando de la tabla N° 4.7, tenemos:

Tabla N° 4.8 parámetros de resistencia mínima a la tracción

Unidades	S_{ut}	S_{su}	S_{se}	τ_{max}
MPa	1447.099	969.556	549.90	196.432

Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Para determinar el esfuerzo maximo en el alambre, es necesario desarrollar el esfuerzo cortante directo y el esfuerzo cortante torsional, donde es necesario determinar K_S : correccion del esfuerzo cortante.

Donde: C según shigley

$$4 < C < 12$$

$$C = 7 \text{ mm}$$

Reemplazando la ecuacion N° 2.59:

$$K_S = \frac{2C + 1}{2C}$$

$$K_S = \frac{2(7) + 1}{2(7)}$$

$$K_S = 1.07$$

Efecto de la curvatura

$$\tau = K_B \left(\frac{8FD}{\pi d^3} \right)$$

donde:

K_B : factor de correccion del esfuerzo cortante de Bergstrasser

Reemplazando en la ecuacion N° 2.61:

$$K_B = \frac{4C + 2}{4C - 3}$$

$$K_B = \frac{4(7) + 2}{4(7) - 3}$$

$$K_B = 1.2$$

$$\tau = K_W \left(\frac{8FD}{\pi d^3} \right)$$

K_W : factor de correccion del esfuerzo cortante de wahl

Reemplazando en la ecuacion N° 2.62:

$$K_W = \frac{4C - 1}{4C - 4} + \frac{0.615}{C}$$

$$K_W = \frac{4C - 1}{4C - 4} + \frac{0.615}{C}$$

$$K_W = 1.213$$

Resortes helicoidales a fatiga o carga dinamica; es necesario el uso de la ecuacion N°

2.43

$$F = m \times r \times N^2$$

$$F_{max} = 3.355 \text{ Kg} * 0.009525 \text{ m} * \left(53.8552 \frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)^2$$

$$F_{max} = 92.69 \text{ N}$$

$$F_{min} = 0.425 \text{ Kg} \times 0.009525 \text{ m} \times \left(26.9276 \frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)^2$$

$$F_{min} = 2.93 \text{ N}$$

$$F_i = 0.425 \text{ Kg} \times 0.009525 \text{ m} \times \left(17.951 \frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)^2$$

$$F_i = 1.3 \text{ N}$$

Donde la fuerza cortante F_a y F_m se desarrollan con las ecuaciones 2.75 y 2.77:

$$F_a = \frac{F_{max} - F_{min}}{2}$$

$$F_a = \frac{92.69 \text{ N} - 2.93 \text{ N}}{2}$$

$$F_a = 44.88 \text{ N}$$

$$F_m = \frac{F_{max} + F_{min}}{2}$$

$$F_m = \frac{92.69 \text{ N} + 2.93 \text{ N}}{2}$$

$$F_m = 47.81 \text{ N}$$

Hallando la amplitud del esfuerzo cortante alternante, donde generalmente el factor de corrección K se toma K_W o K_B . Definida por la ecuación N° 2.74:

$$\tau_a = K_W \frac{8F_a \times D}{\pi d^3}$$

$$\tau_a = 1.213 * \frac{8 \times (44.88 \text{ N}) \times 21 \text{ mm}}{\pi \times (3 \text{ mm})^3}$$

$$\tau_a = 107.82 \text{ MPa}$$

Esfuerzo cortante medio se desarrolla de la ecuación N° 2.76:

$$\tau_m = K_W \frac{8F_m \times D}{\pi d^3}$$

$$\tau_m = 1.213 * \frac{8 \times (47.81 \text{ N}) \times 21 \text{ mm}}{\pi \times (3 \text{ mm})^3}$$

$$\tau_m = 115.03 \text{ MPa}$$

Esfuerzo inicial

$$\tau_i = K_S \frac{8F_i \times D}{\pi d^3}$$

$$\tau_i = 1.07 * \frac{8 \times (1.3 \text{ N}) \times 21 \text{ mm}}{\pi \times (3 \text{ mm})^3}$$

$$\tau_i = 2.76 \text{ MPa}$$

Razon de esfuerzos

$$R = \frac{\tau_a}{\tau_m}$$

$$R = \frac{107.82 \text{ MPa}}{115.03 \text{ MPa}}$$

$$R = 0.94$$

Criterio según Hamrock: Para determinar la vida infinita, se toma en cuenta los criterios de seguridad contra el límite de fatiga por torsión.

$$\eta_\infty = \frac{S_{se}}{\tau_a} \quad \text{Ec. [4.11]}$$

Donde:

S_{se} : limite fatiga por torsion

De esta manera se obtiene:

Tabla N° 4.9 Resistencias a la fatiga sin modificar para vida infinita

	S'_{se} (Mpa)
Sin granallado	310
Granallado	465

Fuente: (Hamrock)

$$S_{se} = S'_{se} \times K_r$$

Donde:

K_r : factor de fiabilidad según Hamrock, toma valor de 0.9

Reemplazando:

$$S_{se} = S'_{se} \times K_r$$

$$S_{se} = 310 \text{ MPa} * 0.9$$

$$S_{se} = 279 \text{ MPa}$$

$$\eta_{\infty} = \frac{S_{se}}{\tau_a}$$

$$\eta_{\infty} = \frac{279 \text{ MPa}}{107.82 \text{ MPa}}$$

$$\eta_{\infty} = 2.588$$

Factor de seguridad según Shigley & Mischke

Tabla N° 4.10 Resistencias a la fatiga para vida infinita (Zimmerli)

	S_{sa} (Mpa)	S_{sm} (Mpa)
Granallado	241	379
Sin granallar	398	534

Fuente: (Hamrock)

$$\eta = \frac{S_{sa}}{\tau_a}$$

Donde:

S_{sa} : Componente de la amplitud de la resistencia

$$\eta = \frac{S_{sa}}{\tau_a}$$

$$\eta = \frac{398 \text{ MPa}}{107.82 \text{ MPa}}$$

$$\eta = 3.69$$

En funcion del diametro:

$$d = \left[\frac{8 CK_W}{\pi A} \times \left(\frac{\eta F_a}{0.38} + \frac{\eta (F_m - F_i) + F_i}{0.67} \right) \right]^{\frac{1}{1.855}}$$

Reemplazando:

$$d = \left[\frac{8 CK_W}{\pi A} \times \left(\frac{\eta F_a}{0.38} + \frac{\eta (F_m - F_i) + F_i}{0.67} \right) \right]^{\frac{1}{1.855}}$$

$$d = \left[\frac{8 \times 7 \times 1.213}{\pi \times 1783} \times \left(\frac{3.69 \times 44.88}{0.38} + \frac{3.69 (47.81 - 1.3) + 1.3}{0.67} \right) \right]^{\frac{1}{1.855}}$$

$$d = 3.152 \text{ mm}$$

Comprobacion del factor de seguridad

Según Mott:

$$\tau_{adm} \cong 485 \text{ MPa}$$

$$\eta = \frac{\tau_{adm}}{\tau_o}$$

donde: $\tau_o = \tau_{max}$

Reemplazando:

$$\eta = \frac{\tau_{adm}}{\tau_o}$$

$$\eta = \frac{485 \text{ MPa}}{196.422 \text{ MPa}}$$

$$\eta = 2.47$$

Se comprueba que el resorte diseñado cumple el criterio propuesto porque todos los factores de seguridad están por encima de la unidad.

Ya con los parámetros realizados se obtienen los siguientes términos:

Energía elástica del resorte determinada por la siguiente ecuación:

$$U = \frac{T^2 \times L}{2G \times J} + \frac{F^2 \times L}{2A \times G}$$

Donde:

$$T: \text{momento de torsión } T = \frac{FD}{2}$$

$$L: \text{longitud del resorte } L = \pi D N_a$$

$$J: \text{momento de inercia } J = \frac{\pi d^4}{32}$$

$$A: \text{área de la sección del alambre } A = \frac{\pi d^2}{4}$$

Deflexión del resorte

$$\delta = \frac{8F \times D^3 \times N_a}{G \times d^4}$$

Constante elástica del resorte

$$K = \frac{F}{\delta} = \frac{G \times d^4}{8D^3 \times N_a}; \quad \left[\frac{N}{m} \right]$$

Donde:

$$K = \frac{79.3 \text{ GPa} \times (3 \text{ mm})^4}{8 \times (21 \text{ mm})^3 \times 6}$$

$$K = 14\,449.71 \frac{N}{m}$$

Fuerza necesaria aplicada al resorte para llegar a la longitud sólida.

$$F_s = K \times x$$

Donde:

K: constante elastica

X: desplazamiento con respecto al eje x.

Si:

$$x = L_o - L_s$$

Donde:

L_o : longitud del resorte

L_s : longitud solida del resorte

Reemplazando:

$$x = L_o - L_s$$

$$x = 4.45 \text{ cm} - 2.40 \text{ cm}$$

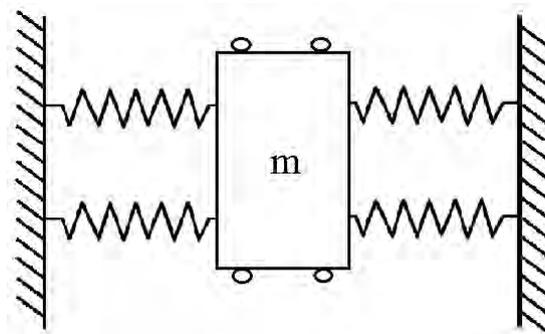
$$x = 2.05 \text{ cm} = 0.0205 \text{ m}$$

Reemplazando:

$$F_s = 14\,449.71 \frac{N}{m} \times 0.0205 \text{ m}$$

$$F_s = 296.22 \text{ N}$$

Figura N° 4.18 Sistema resortes – masa – resortes

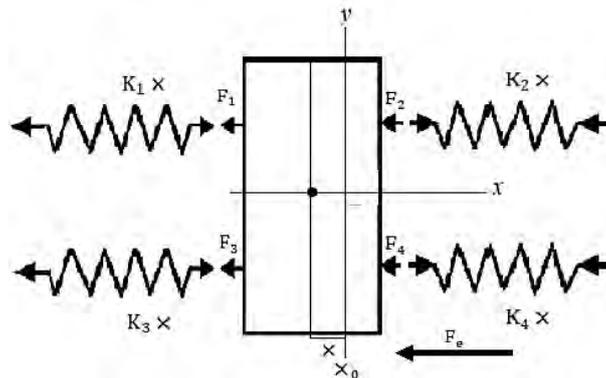


Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

$m = 39.07 \text{ Kg}$

Se realiza un esquema donde interactuan las fuerzas.

Figura N° 4.19 Representación del sistema en un diagrama de cuerpo libre



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Entonces:

$$\sum F_x = m a_x ; F_1 = x K_1, F_2 = x K_2, F_3 = x K_3, F_4 = x K_4$$

Determinando:

$$F_e = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$$

$$x K_e = x K_1 + x K_2 + x K_3 + x K_4$$

Constantes equivalentes del sistema

$$K_e = K_1 + K_2 + K_3 + K_4$$

Velocidad angular

$$\omega^2 = \frac{K}{m} ; \quad \left[\frac{rad}{s} \right]$$

Se tiene para el sistema

$$\omega = \sqrt{\frac{K_1 + K_2 + K_3 + K_4}{m}} \left[\frac{rad}{s} \right] \quad \text{Ec. [4.12]}$$

Frecuencia (Hz) para este sistema: $\omega = 2\pi f$

$$f = \frac{\omega}{2\pi}$$

Si: $K_1 = K_2 = K_3 = K_4$

$$w = \sqrt{\frac{4 K_e}{m}}$$

$$w = \sqrt{\frac{4 * (14\,449.71 \frac{N}{m})}{39.07 Kg}}$$

$$w = 38.46 \frac{rad}{s}$$

Determinando la frecuencia:

$$f = \frac{w}{2\pi}$$

$$f = \frac{38.46 \frac{rad}{s}}{2\pi}$$

$$f = 6.12 Hz$$

Determinando el periodo de la ecuacion N° 2.22:

$$T = \frac{1}{f}$$

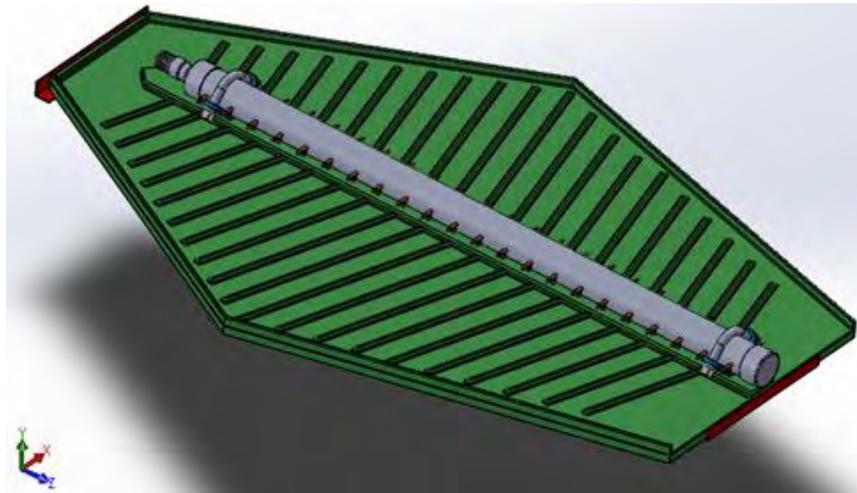
$$T = \frac{1}{6.12 Hz}$$

$$T = 0.163 seg.$$

4.4 Diseño del sub ensamble 3

El tablero es un elemento principal de una mesa vibratoria IDRAKO NGU, encargada de acondicionar el movimiento de las partículas del pre concentrado para ser clasificadas según a su peso específico; se muestra el diseño del mismo en la figura N° 4.20:

Figura N° 4.20 Diseño del Sub ensamble 3



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

4.4.1 Componentes del tablero

El pino, es un tipo de madera abundante, fácil de trabajar y de bajo coste; con propiedades físicas de resistencia, flexibilidad y, además, tiene la capacidad de absorción de líquidos.

Para mejorar la superficie de la madera ya trabajada, es necesario recubrir a la madera con poliéster parafínico, producto altamente resistente y de acabado vitreo; en la tabla N° 4.11 se muestran las siguientes propiedades mecánicas de este producto:

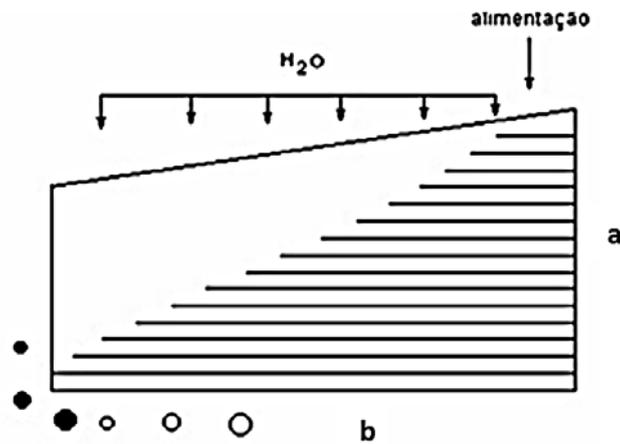
Tabla N° 4.11 Propiedades mecánicas del poliéster parafínico

Parámetro	Valor	Unidades	Tolerancia
Índice de desgaste	8.0	Pulg ³ /hp.h x (10 ⁻³)	-----
Dureza Rockwell	70	M	+/- 10
Gravedad específica	2.6	g/cm ³	+/- 0.1
Coefficiente de fricción promedio	0.3	-----	+/- 0.15

Fuente: Straplas.com.pe

4.4.2 Geometría del tablero

Figura N° 4.21 Forma de una mesa vibratoria convencional

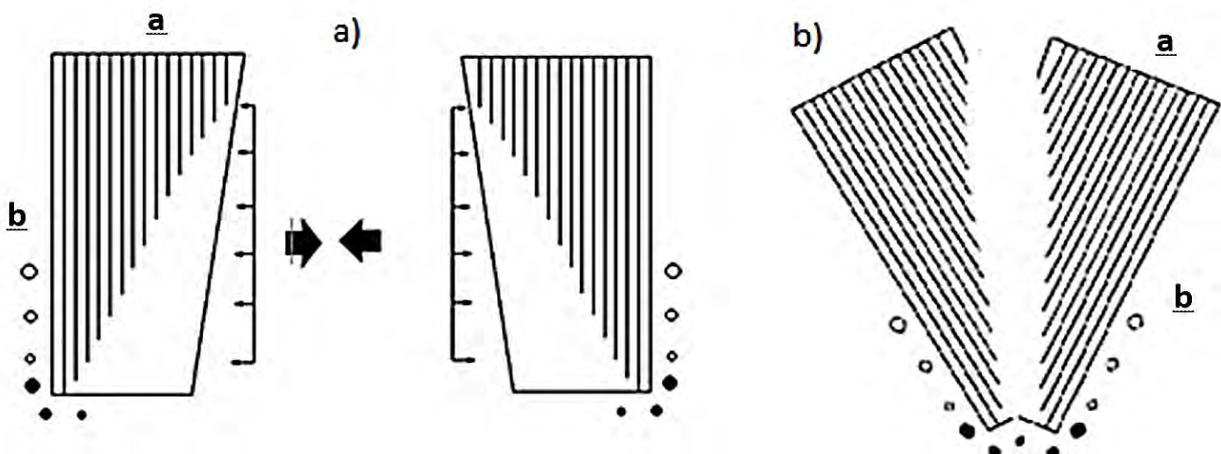


Fuente: (Peralta S., 2010) recuperada de <http://slideplayer.com.br/slide/9945749/>

La geometría del tablero, se toma en consideración las dimensiones, mostrada en la figura N° 4.21, porque la dirección de partícula es diagonal y así toma la forma rectangular.

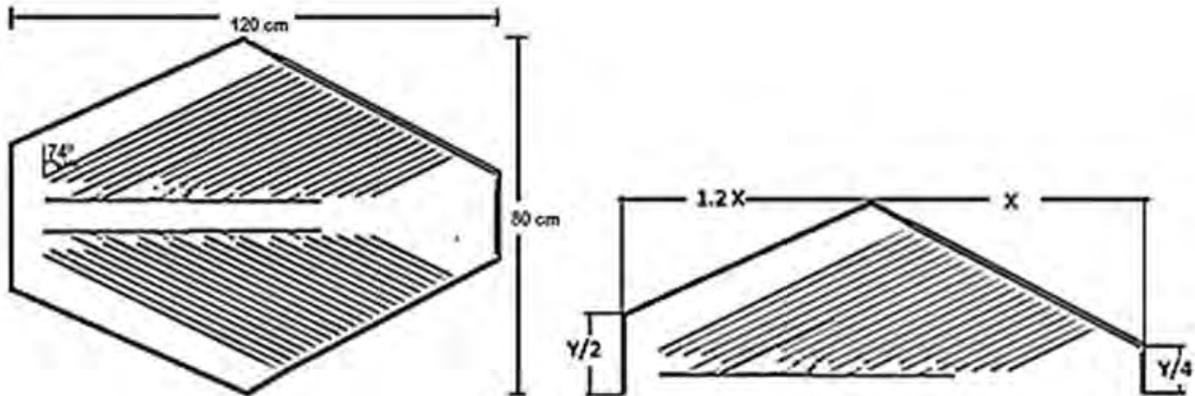
La mesa vibratoria IDRAKO NGU; propone una geometría que aprovecha el uso, de tal forma que incluya dos áreas de tratamiento, con la finalidad de incrementar la capacidad de tratamiento como muestra en la figura N° 4.22, donde: a) Unión de dos áreas de trabajo estándares, para obtener b) Forma de una mesa vibratoria IDRAKO NGU.

Figura N° 4.22 Unión de dos áreas de trabajo de mesas convencionales



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Figura N° 4.23 Geometría de una mesa vibratoria



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020) 1:20

Tomando como referencia las especificaciones (24*50) de mesas convencionales que muestra la tabla N° 4.3, se utilizó las dimensiones del mismo para crear una geometría que aproveche el doble del área a trabajar, como se muestra en la figura N° 4.3.

Tabla N° 4.12 Especificaciones de mesas vibratorias convencionales

Especificaciones (pulgada) a*b	Capacidad (TM/(2-4h))	Potencia (HP)		Amplitud Pulgadas	Velocidad RPM	Tipo de estructura soportante
		Operación	Instalada			
42*84	5 – 20	0.5 – 0.75	1.5	5/8 – 1	260 – 300	Metálico
24*50	0.75 – 3	0.2 – 0.25	0.25	1/4 – 1/2	300 – 375	Metálico
18*40	0.5 – 2	0.2 – 0.25	0.25	1/4 – 1/2	300 – 375	Metálico

Fuente: (Peralta S., 2010) recuperada de <http://slideplayer.com.br/slide/9945749/>

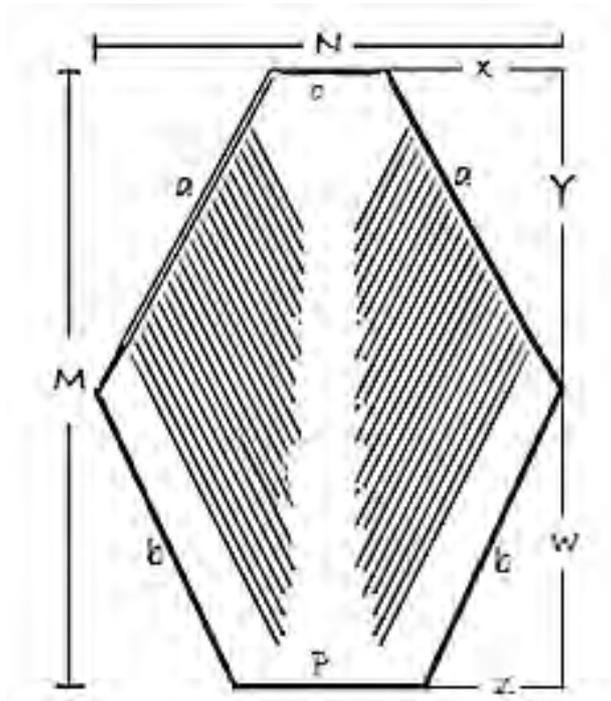
a) Calculando valores

Si la razón $\frac{M}{N} = 1.5$, referencia dimensional de una mesa vibratoria tipo Gemini; donde

N=80 cm, entonces:

$$M = 1.5 * N [cm] \qquad \text{Ec. [4.13]}$$

Figura N° 4.24 Geometría ideal de una mesa vibratoria



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Reemplazando en la ecuación N° 4.13:

$$M = 1.5 * 80 * \text{cm}$$

$$M = 120\text{cm}$$

Entonces $M*N=120*80$ (cm), dimensiones del tablero.

Hallando “w” e “y”, se tiene:

Donde $\frac{w}{y} = 1.2$, entonces se tiene:

$$\text{Si } \begin{cases} w + y = 120 \dots\dots\dots (1) \\ \frac{w}{y} = 1.2 \dots\dots\dots (2) \end{cases} ; \text{ de donde } w = 1.2 * y \dots\dots\dots (3)$$

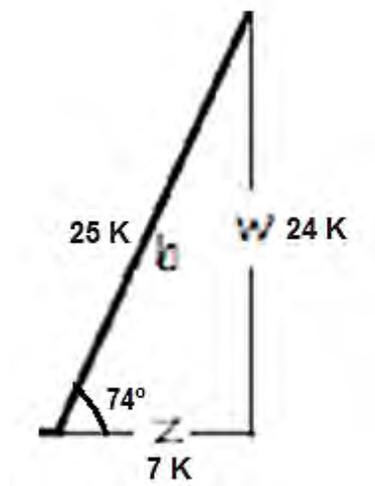
Remplazando (3) en (1):

$$1.2 * y + y = 120$$

$$y = 54.55 \text{ cm}$$

$$w = 65.45 \text{ cm}$$

Figura N° 4.25 Triangulo rectángulo de 74°



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

$$k = 2.73 \text{ cm}$$

$$b = 25 * K = 68.25 \text{ cm}$$

$$z = 7 * k = 19.11 \text{ cm}$$

$$p = 2 * o = 80 - (2 * z) = 41.78 \text{ cm}$$

4.4.3 Peso de los sub ensamblés 2 y 3

Se determina de la ecuación N° 4.14:

$$W_T = W_{SE3} + W_{SE2} [N] \quad \text{Ec. [4.14]}$$

Donde:

W_{SE3} = Peso del sub ensamblé 3

W_{SE2} = Peso del sub ensamblé 2

W_T = Peso total de los Sub ensamblés 2 y 3.

$$W_{SE3} = (m_{\text{armazon metalico}} + m_{\text{madera}} + m_{\text{tuberia de abastecimiento}} + m_{\text{valvulas}}) * g$$

$$W_{SE3} = (12 \text{ kg}) * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W_{SE3} = 117.6 \text{ N}$$

$$W_{SE2} = (m_{\text{estructura móvil}} + 4m_{\text{resortes}} + m_{\text{motor}} + m_{\text{rodaje}} + 4m_{\text{contrapesos}} + 2m_{\text{catalina}} + m_{\text{piñon}} + 2m_{\text{chumacera}} + m_{\text{eje}} + m_{\text{pernos}}) * g$$

$$W_{SE2} = (8 \text{ kg}) * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W_{SE2} = 78.4 \text{ N}$$

Hallamos el peso total reemplazando en la ecuación N° 4.14:

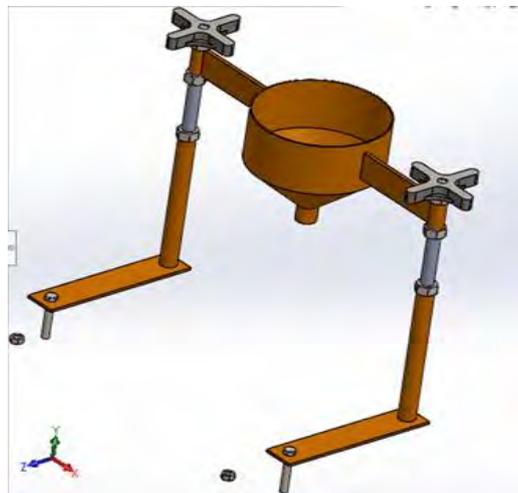
$$W_T = 117.6 \text{ N} + 78.4 \text{ N}$$

$$W_T = 196 \text{ N}$$

4.5 Diseño del sub ensamble 4

Este componente diseñado para almacenar el pre concentrado acondicionado, se muestra en la figura N° 4.26:

Figura N° 4.26 Sub ensamble 4



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020) Escala 1:10

4.5.1 Capacidad de tratamiento del equipo IDRAKO NGU

La tabla N° 4.13; muestra datos generales de la producción de pre concentrado del yacimiento Tres Estrellas del Sur, que se toma como referencia para diseñar, construir y operar

una mesa vibratoria. Consta de cuatro líneas de operación, a continuación, se detalla el balance metalúrgico por línea:

Tabla N° 4.13 Balance metalúrgico del yacimiento aurífero (por línea)

Componentes	Peso (TMD)	Ley (g Au/ TM)	Contenido Metálico (g)	% de Recuperación
Cabeza	12.500	1.796	22.45	100
Pre Concentrado	0.175	62.05	10.859	48.37
Relave	12.325	0.94	11.586	

Fuente: Tres Estrellas del Sur, 2018

En el yacimiento de estudio obtiene 700 kg por día de pre concentrado aproximadamente, proveniente de cuatro líneas. Para determinar la capacidad de tratamiento de una mesa vibratoria, expresada en Kg/h; se procede a calcular según la ecuación N° 2.11:

$$CO = \frac{700}{12} \times \frac{Kg}{h}$$

$$CO = 58.33 \times \frac{Kg}{h}$$

La capacidad de tratamiento para un pre concentrado (CO) es de 58.33 Kg/h, punto de partida para diseñar la capacidad de tratamiento de una mesa vibratoria IDRAKO NGU; capaz de operar en rangos mayores y/o iguales al establecido.

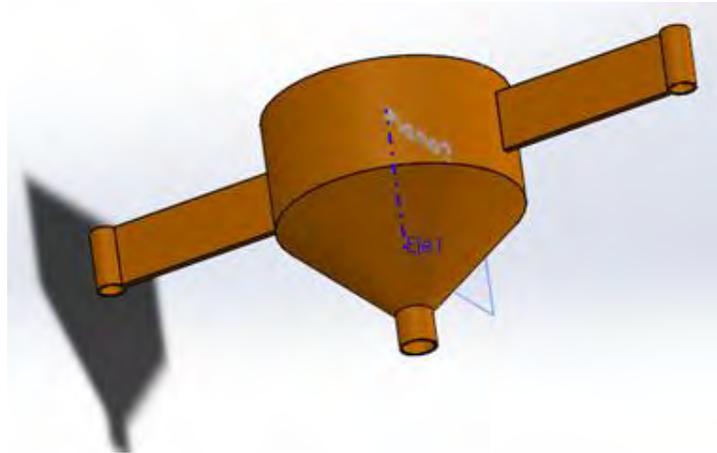
4.5.2 Diseño de tolva de pre concentrados

Para tener una alimentación homogénea durante la operación de una mesa vibratoria IDRAKO NGU, se necesita un equipo de almacenamiento que distribuya el pre concentrado acorde a la necesidad de la operación gravimétrica, en la figura N° 4.27 muestra el diseño de una tolva.

Para diseñar una tolva de pre concentrados, considerando que es una tolva de finos; compuesta por dos partes: una sección convergente situada en la parte inferior la cual es de una

forma cónica truncada y la sección vertical superior que es la tolva propiamente dicha la cual proporciona el mayor volumen de almacenamiento del pre concentrado.

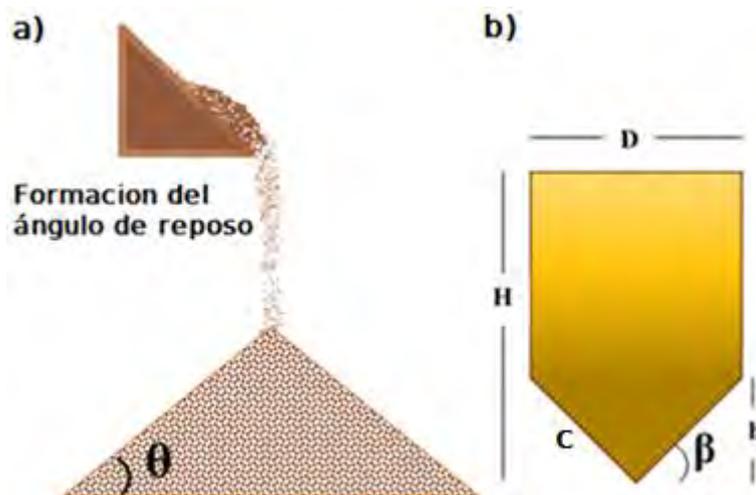
Figura N° 4.27 Dimensiones de la tolva



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020) 1:5

La ilustración N° 4.10 – b, detalla las dimensiones de la tolva con 12% de volumen inútil. Para calcular dichas dimensiones, es necesario conocer: la densidad del pre concentrado, el ángulo de reposo y la capacidad de almacenamiento.

Ilustración N° 4.10 Dimensiones de la tolva



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020) 1:5

El ángulo de reposo se determina al verter pre concentrado a una superficie plana formando un cono, la inclinación $\theta = 29.5^\circ$ que forma con el piso, se representa en la ilustración

N° 4.10 - a. Si, β es el ángulo que permite el deslizamiento del pre concentrado hacia el tablero, entonces, este se determina por la ecuación N° 4.15 del ángulo de deslizamiento:

$$\beta = \theta + 15^\circ \quad \text{Ec. [4.15]}$$

$$\beta = 29.5^\circ + 15^\circ$$

$$\beta = 44.5^\circ$$

Para determinar el volumen del pre concentrado, si $GE = 2.5 \text{ g/cm}^3$ y 60 kg de peso, se tiene la ecuación N° 4.16:

$$V_{pc} = \frac{W_{pc}}{GE} [\text{cm}^3] \quad \text{Ec. [4.16]}$$

Donde:

V_{pc} : Volumen de pre concentrado en cm^3

W_{pc} : Masa del pre concentrado en gramos

GE: gravedad especifica del pre concentrado en $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

$$V_{pc} = \frac{60000 \text{ g}}{2.5 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}}$$

$$V_{pc} = 24000 \text{ cm}^3$$

Si el volumen inútil es de 12 %, entonces la relación $\frac{V_i}{V_t} = 0.12$ con respecto al volumen total; se tiene:

$$\text{Si: } \frac{V_i}{V_t} = 0.12 \quad \text{entonces } V_{pc} = 0.82V_t$$

$$V_t = \frac{V_{pc}}{0.88} [\text{cm}^3]$$

$$V_t = \frac{24000 \times cm^3}{0.88}$$

$$V_t = 27272.73 \text{ cm}^3$$

Por otro lado, donde $\beta = 45^\circ$; de la ecuación N° 4.17:

$$\frac{V_i}{V_t} = \frac{1}{3} \times \tan \beta \times \left(\frac{D}{H}\right) \quad \text{Ec. [4.17]}$$

$$0.12 = \frac{1}{3} \times \tan 45^\circ \times \left(\frac{D}{H}\right)$$

$$0.12 \times 3 = 1 \times \left(\frac{D}{H}\right)$$

$$D = 0.36 \times H \dots\dots\dots 1$$

$$V_t = \frac{\pi \times D^2 \times H}{4} \text{ [cm}^3\text{]} \dots\dots\dots 2$$

Reemplazando 1 en 2

$$V_t = \frac{\pi \times D^2 \times H}{4}$$

$$\frac{27272.73 \times 4}{\pi} = D^2 \times H$$

$$34470.07 = (0.36 \times H)^2 \times H$$

$$34470.07 = (0.36 \times H)^2 \times H$$

$$H = \sqrt[3]{\frac{34470.07}{0.1296}}$$

$$H = 64.31 \text{ cm}$$

$$D = 23.15 \text{ cm}$$

Calculando el lado inclinado de la base, considerando que el diámetro menor es de ½ pulgada, dada la ecuación N° 4.18:

$$c = \frac{\left(\frac{D - d}{2}\right)}{\cos \beta^\circ} \quad [cm] \quad \text{Ec. [4.18]}$$

$$c = \frac{\left(\frac{23.15 - 1.27}{2}\right) cm}{\cos 45^\circ}$$

$$c = 15 \text{ cm}$$

Calculando la altura de la base cónica de la base, de la ecuación N° 4.19:

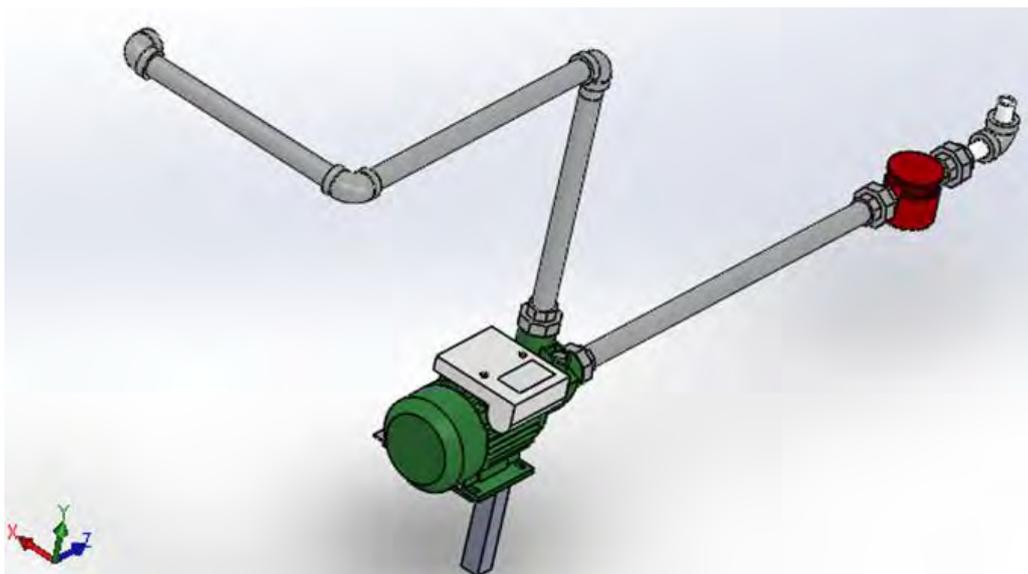
$$h = \left(\frac{D \times d}{2}\right) \times \tan \beta^\circ \quad [cm] \quad \text{Ec. [4.19]}$$

$$h = \left(\frac{23.15 \times 1.27}{2}\right) cm \times \tan 45^\circ$$

$$h = 14.70 \text{ cm}$$

4.6 Diseño del sub ensamble 5

Ilustración N° 4.11 Diseño del sistema de bombeo del sub ensamble 5



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020) Escala 1:10

4.6.1 Análisis de la película del fluido en descenso

a) **Cálculo de la fuerza del fluido:** Reemplazando de la ecuación N° 2.79:

$$F_{\text{fluido}} = W \times L \times \delta \times \rho \times g \times \text{sen}\theta$$

$$F_{\text{fluido}} = 3,368.38 \text{ cm}^2 \times 2\text{mm} \times 998.29 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times \text{sen}1^\circ$$

$$F_{\text{fluido}} = 0.336838 \text{ m}^2 \times 0.002 \text{ m} \times 998.29 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0.01745241$$

$$F_{\text{fluido}} = 0.12 \text{ N}$$

b) **Cálculo de la velocidad del fluido:** Reemplazando de la ecuación N° 2.80:

$$V_{\text{fluido}} = \frac{\rho \times g \times \text{sen}(\theta) \times \delta^2}{2\mu}$$

$$V_{\text{fluido}} = \frac{998.29 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0.01745241 \times (0.002 \text{ m})^2}{2 (100.2 \times 10^{-5} (\frac{\text{Kg}}{\text{m} * \text{s}}))}$$

$$V_{\text{fluido}} = 0.34 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

c) **Cálculo del caudal requerido para el sistema:** Reemplazando de la ecuación N° 2.81:

$$Q = \frac{2 \times W \times \rho \times g \times \text{sen}(\theta) \times \delta^3}{6\mu}$$

$$Q = \frac{2 * 1.2 \text{ m} \times 998.29 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0.01745241 \times (0.002 \text{ m})^3}{6 * (100.2 \times 10^{-5} (\frac{\text{Kg}}{\text{m} * \text{s}}))}$$

$$Q = 0.00054528 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q = 32.72 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

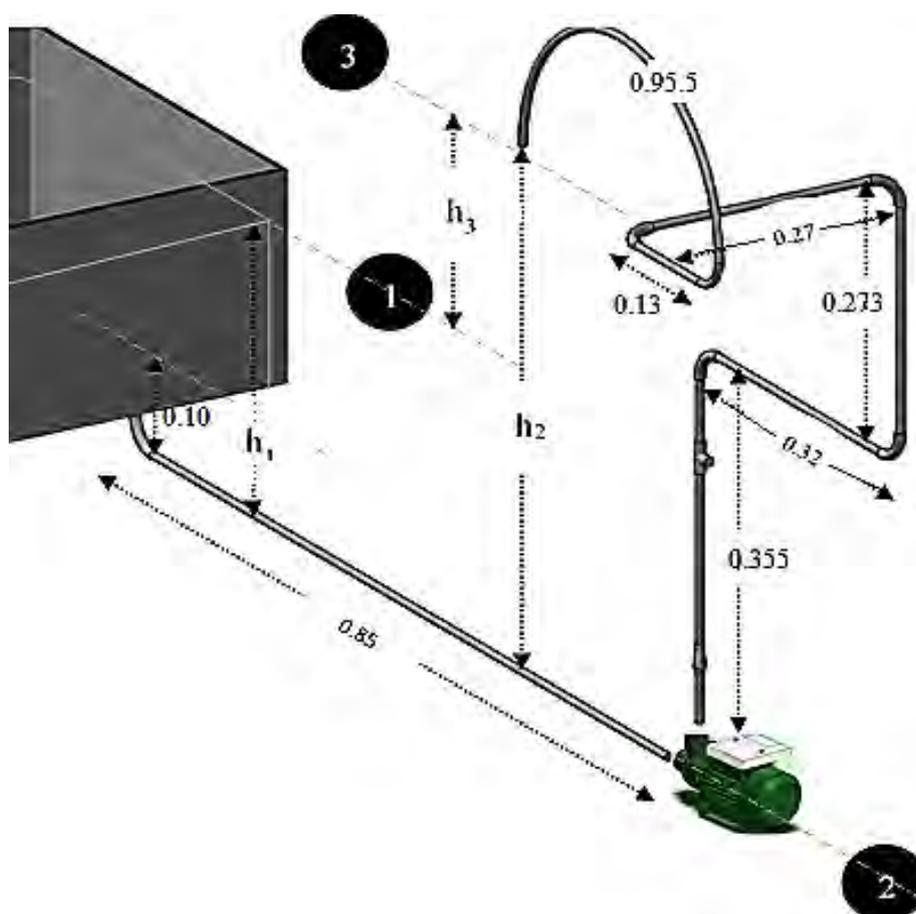
4.6.2 Diseño del sistema de bombeo.

Es importante parametrizar el diámetro de la tubería a usar, como el mercado peruano ofrece electrobombas con diámetro de succión y descarga mínimo a una pulgada; este dato es importante para el diseño del sistema de bombeo.

En la ilustración N° 4.12, muestra la además la distribución de tubería; esta previamente ajustada a las necesidades de una mesa vibratoria IDRAKO NGU.

El diseño de bombeo es de succión positiva, por ser la más óptima. Para poder elegir la electrobomba es necesario determinar la potencia necesaria para el sistema. Para ello se tiene los siguientes datos:

Ilustración N° 4.12 Diagrama del sistema de bombeo



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Caudal requerido: 32.72 L/min \cong 0.000546 m³/seg

Longitud de succión: 0.95 m

Longitud de descarga: 2.333 m

Diámetro nominal: 1 pulg. = 0.0254 m

Diámetro exterior: 33.40 mm

Diámetro interior: 30.20 mm

Velocidad del fluido en el punto 3: 0.34 m/s

Para determinar h₃, reemplazar en la ecuación N° 2.86:

$$h_3 = h_2 - h_1$$

$$h_3 = (0.628 - 0.10) m$$

$$h_3 = 0.528 m$$

Como ya sabemos la velocidad con que viaja el fluido, se determina el número de Reynolds, en la ecuación N° 2.90:

$$Re = \frac{VD\rho}{\mu}$$

$$Re = \frac{0.34 \frac{m}{s} \times 0.0254 m \times 998.29 \frac{kg}{m^3}}{1.002 \times 10^{-3} \frac{kg}{m \cdot s}}$$

$$Re = 8604.02$$

Como el número de Reynolds es mayor que 4000, el sistema se considera de flujo turbulento; por ello el factor de fricción se determina mediante la ecuación N° 4.6; considerando que la rugosidad $\varepsilon = 0.0015 mm$ para tuberías PVC:

$$F = \frac{1.325}{\left\{ -\ln \left(\frac{\varepsilon}{3.7 \times D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right\}^2} \quad \text{Ec. [4.20]}$$

$$F = \frac{1.325}{\left\{ -\ln \left(\frac{0.0015 \text{ mm}}{3.7 \times 30.20 \text{ mm}} + \frac{5.74}{8604.02^{0.9}} \right) \right\}^2}$$

$$F = 0.03229$$

De la ecuación N° 2.85; desconocemos la altura dinámica (h_B), para ello es necesario determinar la velocidad con que descarga al fluido y la pérdida de carga por fricción dada de la ecuación N° 2.89:

$$h_{f_{1-3}} = \frac{v_3^2}{2g} \left(\frac{F * L}{D} + \sum k_C + \sum k_T + \sum k_V + \sum k_U + \sum k_F \right)$$

$$h_{f_{1-3}} = \frac{\left(0.34 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9.8 \frac{m}{s^2}} \left(\frac{0.03229 * 3.283 \text{ m}}{0.0302 \text{ m}} + 0.2 * 6 + 0.6 + 1.8 + 0.3 * 5 + 10 \right)$$

$$h_{f_{1-3}} = 0.1098 \text{ m}$$

Hallando la altura dinámica, se sustituye valores en la ecuación N° 2.85:

$$h_B = h_3 + \frac{v_3^2}{2g} + h_{f_{1-3}}$$

$$h_B = 0.528 \text{ m} + \frac{\left(0.34 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9.8 \frac{m}{s^2}} + 0.1098 \text{ m}$$

$$h_B = 0.6437 \text{ m}$$

Para determinar la potencia de la electrobomba, es necesario reemplazar datos en la ecuación N° 2.83:

Tabla N° 4.14 Valores del coeficiente K de aditamentos

Aditamento	K	Aditamento	k
Ampliación gradual (*)	0.3	Te paso directo	0.6
Boquilla	2.8	Te salida bilateral	1.8
Codo de 45°	0.4	Te salida lateral	1.3
Codo de 90°	0.9	Válvula de ángulo abierto	5.0
Codo de retorno	2.2	Válvula de cheque de bisagra	2.5
Entrada de borda	1.0	Válvula de compuerta abierta	0.2
Entrada normal de tanque tubo	0.5	Válvula de compuerta abierta (1/2)	5.6
Medidor de agua, disco	7.0	Válvula de globo abierta	10.0
Medidor Vénturi (**)	2.5	Válvula de pie	1.8
Reducción gradual (*)	0.2	Filtro	10

(*) con base en la velocidad menor () con base en la velocidad mayor**

Fuente: (Morrys Henry, 1992)

4.7 Diseño del sistema eléctrico

Para ver a detalle el diseño del sistema eléctrico citar el anexo 29, donde detalla el circuito y los accesorios necesarios para la operatividad de una mesa vibratoria IDRAKO NGU. A continuación, se detalla las especificaciones de los componentes principales del sistema eléctrico que se han elegido respectivamente en anteriores diseños:

- a) Electrobomba periférica, potencia de 0.5 Hp:

Tabla N° 4.15 Especificaciones de una electrobomba periférica

Electrobomba TWP 13706 5			
Qmax: 35 L/min		Hmax: 35 m	
Succión Hmax: 8 m		Diámetro de entrada y salida: 1" x 1"	
1 fase	V 220-240	Hz 60	RPM 3450
KW 0.37	HP 0.5	In 2.0 A	IP x4
C 10 µF	VL 450V	ICL B	

Fuente: Catalogo PROMART home center

b) Motor eléctrico 0.5 Hp:

Tabla N° 4.16 Especificaciones de un motor eléctrico

Motor eléctrico RAINBOW YZ 712-4		
3 fases	KW 0.37	HP 0.5
V 220 o 380	Hz 60	A 1.9 / 1.12
RPM 1800	Clase F	GU CL IP 4

Fuente: Empresa Rainbow S.A.

c) Variador de frecuencia

Tabla N° 4.17 Especificaciones de un variador de frecuencia

Variador de frecuencia AC Drive	
Modelo	YX 3000 – 2S00077G
Potencia	0.75KW
Entrada	AC 1 Fase 220V 60 Hz
Salida	AC 3 Fases 0 - 220V 0 - 60 Hz 4.7 A

Fuente: Empresa EPLI S.A.C.

Para realizar el cálculo de la energía consumida en el sistema eléctrico, es necesario recurrir a las especificaciones de cada componente; tomar en cuenta la capacidad operacional de una mesa vibratoria IDRAKO NGU.

La energía de consumo de la electrobomba, se determina mediante la ecuación N° 4.21; para ello tomar datos de la tabla N° 4.15:

$$E_{eb} = P_{eb} \times t \quad \text{Ec. [4.21]}$$

$$E_{eb} = 0.37Kw \times 1h$$

$$E_{eb} = 0.37 Kw.h$$

Y para la energía de consumo del variador de frecuencia se toma en cuenta la ecuación N° 4.21, para ello tomar datos de la tabla N° 4.16:

$$E_{vf} = P_{vf} \times t$$

$$E_{vf} = 0.75K w \times 1h$$

$$E_{vf} = 0.75 Kw.h$$

El consumo de energía total por hora de una mesa vibratoria, está dada por la ecuación N° 4.22:

$$E_{total} = E_{eb} + E_{vf} \quad \text{Ec. [4.22]}$$

$$E_{total} = (0.37 + 0.75) Kw.h$$

$$E_{total} = 1.12 Kw.h$$

$$E_{total} = (1.12 \times 12) \frac{Kw.h}{dia}$$

Si el equipo trabaja 12 horas por día:

$$E_{total} = (1.12 \times 12) \frac{Kw.h}{dia}$$

$$E_{total} = 13.44 \frac{Kw.h}{dia}$$

Energía de consumo mensual sería:

$$E_{total} = (13.44 \times 30) \frac{Kw.h}{dia}$$

$$E_{total} = 403.2 \frac{Kw.h}{mes}$$

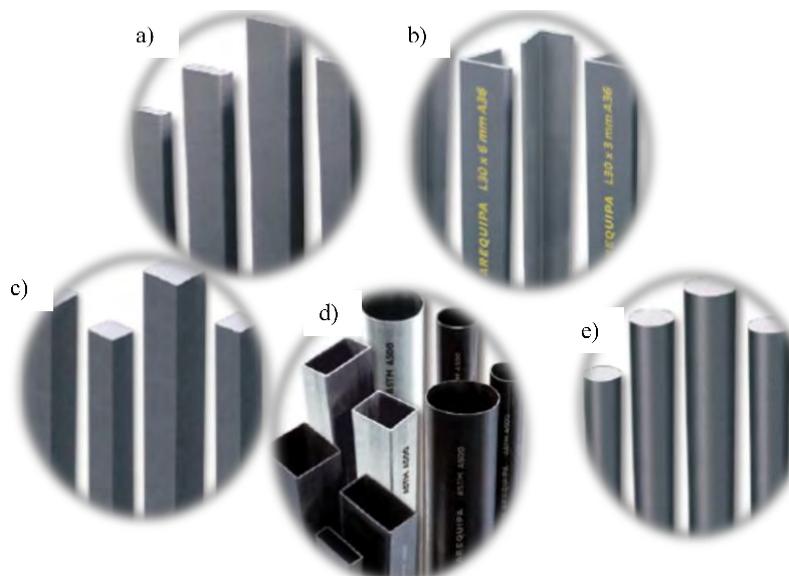
4.8 Construcción de los componentes de una mesa vibratoria IDRAKO NGU

En el proceso de construcción de elementos o piezas de un equipo, es necesario describir algunos procesos esenciales: proceso de conformado, proceso de mecanizado o arranque de viruta, proceso de mejora de propiedades y los de ensamble. Estos se usan para modificar algunas propiedades físicas, químicas o mecánicas de materiales básicos a fin de obtener un

producto final; en este caso, una mesa vibratoria capaz de realizar operación básica, concentración de minerales auríferos mediante gravimetría.

En la figura N° 5.1; muestra: aceros A36, a) platinas, b) ángulos estructurales, c) barras cuadradas, e) barras redondas y en acero A500 d) tubos o perfiles estructurales. Es necesario la deformación plástica o corte de la materia prima para obtener elementos o piezas, esto mediante procesos de conformado.

Figura N° 4.28 Aceros estructurales A36 y A500

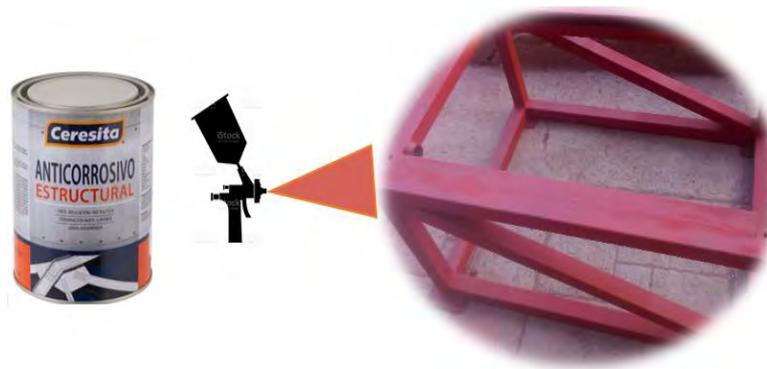


Fuente: Catálogo de productos Aceros Arequipa

Por la complejidad en su construcción de algunas piezas diseñadas, se requiere de procesos de maquinado, para el arranque de virutas es necesario el uso de un torno para mecanizar piezas a revolución fresadora y adicionalmente un taladro para realizar orificios.

Este equipo en su funcionamiento, tendrá relación directa con el agua, entonces esto requiere de procesos de mejora de propiedades; comprende de un tratamiento superficial para que sea resistente a la corrosión, como muestra la figura N° 4.29.

Figura N° 4.29 Proceso de tratamiento superficial anticorrosiva



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Para la última etapa de construcción del equipo, se realiza los procesos de ensamble (conjunto de sub ensambles); por la unión de dos o más piezas obtenemos un sub ensamble, y estas uniones pueden ser de dos tipos: las uniones desmontables y las uniones fijas o no desmontables.

4.9 Máquinas, herramientas y materiales.

Figura N° 4.30 Tipos de uniones de ensamble



Fuente: Catalogo de pernos y tuercas Angamos E.I.R.L.

De la figura N° 4.30, en la parte izquierda muestra uniones roscadas, aquellas que permiten desmontar cada pieza con facilidad, sin dañar el tipo de unión que tienen las propias piezas; y a la derecha muestra el proceso de ensamble de unión fija, para poder una estructura

de soporte expuesta a cargas dinámicas cíclicas es prudente aplicar soldadura de tipo SMAW por las siguientes razones: inversión sustentable, simplicidad del proceso, flexibilidad y portabilidad, y mayor penetración del material de aporte

Para la construcción y ensamblaje de una mesa vibratoria IDRAKO NGU se utiliza los equipos, herramientas y accesorios mostrados en el anexo 32. Según nuestro diseño, el equipo a fabricar se divide en cinco sub ensambles ver Anexo 6, donde está representada mediante una explosión del diseño general.

4.10 Construcción de elementos de los sub ensambles

4.10.1 Construcción del sub ensamble 1

Comprendida por 12 elementos; primer elemento a fabricar es la estructura rígida de perfil o tubo cuadrado, un acero A500 de dimensiones 40x40x1.8.

Figura N° 4.31 Construcción del elemento rígido, sub ensamble 1



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Fotografía N° 4.1 Estructura rígida del sub ensamble 1



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Para fabricar dicho elemento, es necesario citar al anexo 11; donde podemos apreciar todas las dimensiones estimadas de cada elemento. En la figura N° 4.31, observamos el desarrollo de la construcción del sub ensamble 1; donde el tipo de unión realizado es por soldadura de arco eléctrico, para fijar adecuadamente las partes de la estructura. La fotografía N° 4.1, muestra la estructura rígida fabricada adecuadamente según lo estipulado.

Fotografía N° 4.2 Construcción de la barra de soporte delantero



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Figura N° 4.32 Construcción de la tolva o depósito de agua



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

El elemento desmontable del sub ensamble 1, citar detalles al anexo 12; su construcción es del mismo material que se usa en la estructura rígida. En los extremos de la barra, se fija dos planchas de 3 mm perforadas; para poder unir mediante pernos de 1/4"x2.5" a la estructura rígida y a su vez sea desmontable. Este elemento se muestra en la fotografía N° 4.2,

El depósito o tolva de agua, mostrada en la figura N° 4.32, detalla su construcción, mediante corte, perforación y doblado de una plancha de acero A36 con 2 mm de espesor. Al lugar perforado se fija niples acerados de 1".

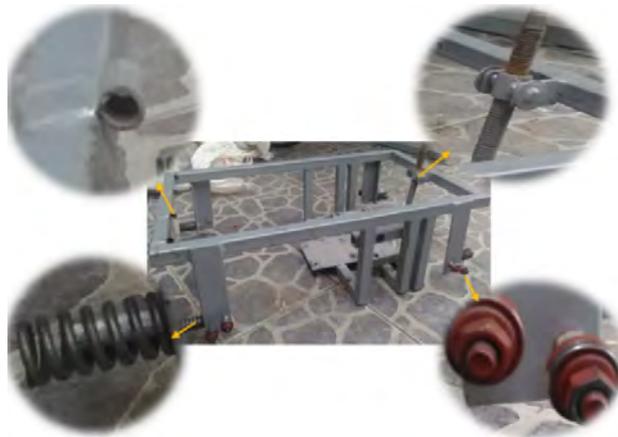
4.10.2 Construcción del sub ensamble 2

Fotografía N° 4.3 Estructura rígida del sub ensamble 2



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Figura N° 4.33 Construcción de elementos fijados al sub ensamblaje 2



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

El ensamble 2, compuesta por 18 elementos; uno de los elementos, una estructura rígida; como muestra fotografía N° 4.3, detalla su montaje parcial sobre el riel que posee el sub ensamble 1. La diferencia que tiene a la estructura rígida del primer ensamble; es que, este tiene un movimiento a lo largo del eje x, en ambos sentidos de manera periódica. Para que sea posible este mecanismo, es necesario fijar ciertos elementos como cita la figura N° 4.33, parte inferior derecho muestra rodamientos tipo SKF 626 con diámetro interior de 8 mm; parte inferior izquierdo muestra al resorte sujeta a una varilla de sección redonda de 1/2"; parte superior izquierda se observa el complemento de una bisagra DIY 2" y al lado derecho superior una varilla roscada de 3/4" sujeta en el pivote de elevación.

Figura N° 4.34 Construcción de contrapesos



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Fotografía N° 4.4 Construcción del sistema de contrapesos



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Una plancha de acero A36 con espesor de 20 mm, se ha sometido a corte por plasma (ver figura N° 4.34, del lado izquierdo); el diseño del contrapeso deseado se detalla en el anexo 18. Las siguientes partes de la ilustración mencionada, muestra perforaciones hasta lograr encaje en un eje de sección cuadrada de $\frac{3}{4}$ " detallada en el anexo 16, estos están sujetos a cada extremo por chumaceras de $\frac{3}{4}$ ", ver fotografía N° 4.4.

Para la construcción del accionante mecánico detallada en el anexo 8, es necesario un motor eléctrico de 0.5 HP trifásico, engranajes de 35 dientes, piñón de 10 dientes y el sistema de contrapesos; todos estos de fijación desmontable. Para ello ver la fotografía N° 4.5, donde muestra el sub ensamble 2 parcialmente montado.

Fotografía N° 4.5 Construcción del accionante mecánico del sub ensamble 2



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

4.10.3 Construcción del sub ensamble 3

En los anexos 19 y 20 detalla las dimensiones para fabricar el tablero; la parte estructural del tablero es de pino seco, como muestra la parte izquierda de la figura N° 4.35, y el lado derecho muestra el acoplamiento de una plancha prensada de 8 mm de espesor con protocolos de ebanistería.

Figura N° 4.35 Construcción del tablero



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Para el acanalado de rifles en la superficie de la plancha prensada, es necesario el uso y manejo con precisión de la fresadora manual exclusiva para madera; para la distribución de estos rifles citar al anexo 20. La dimensión de cada rifle o canal mostrados en la figura N° 4.36, linealmente varía según su función; de igual manera pasa con el ancho del rifle de 1.5 a 4 mm

Figura N° 4.36 Maquinado de la superficie del tablero



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

La liviandad y rigidez del perfil angular acero A36 de 1"x1.8mm detallada en el anexo 22, esto hace posible la construcción del marco base (ver fotografía N° 4.6) para sostener y a su vez permite la variación del ángulo de inclinación del tablero.

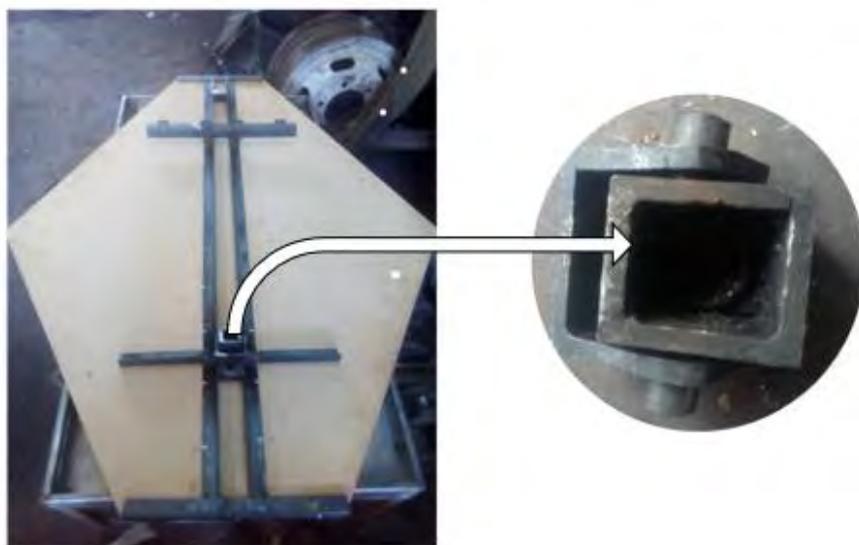
En la figura N° 4.37, detalla dos elementos fijados debajo del marco base; su construcción es según su función: citar anexo 24 para más detalle de sus dimensiones del anclaje de pivote, este está fijado en la estructura rígida del sub ensamble 2, y así poder anclar el pivote para varilla de altura dimensionada en el anexo 25.

Fotografía N° 4.6 Construcción del marco base



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Figura N° 4.37 Construcción de pivote para la varilla de altura



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Según su posición de las imágenes (de izquierda a derecha), la figura N° 4.38, muestra: primero, una válvula reguladora de agua a chorro; segundo, un tubo PVC de 2” perforada para acoplar dichas válvulas al tubo y por último se ve fabricado todo el sistema agua a chorro; para más detalle citar anexo 23.

Figura N° 4.38 Construcción del sistema agua a chorro



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

4.10.4 Construcción del sub ensamble 4

Comprendida por 5 elementos, para más detalle citar el anexo 10; donde: su construcción es más sencilla que los anteriores sub ensambles. La fotografía N° 4.7, muestra la estructura de la tolva de alimentación parcialmente montada al sub ensamble 1: la tolva de alimentación y el soporte de la misma, están detalladas respectivamente en los anexos 26 y 27.

Fotografía N° 4.7 Vista del sub ensamble 4



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Fotografía N° 4.8 Manilla roscada de elevación



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

La fotografía N° 4.8, muestra a la manilla fabricada y parcialmente montada, diseñada para deslizar la tolva de alimentación verticalmente (citar anexo 28).

4.10.5 Construcción del sub ensamble 5

Para su construcción es necesario 15 elementos; accesorios de tubería PVC de 1", una electrobomba 0.5 HP monofásica y un filtro para el agua residual. La figura N° 4.39, detalla el montaje parcial de todos los elementos del sub ensamble 5.

Figura N° 4.39 Construcción del sistema de succión y bombeo



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

4.11 Tratamiento superficial de los elementos

Ya concluido con la construcción de los 5 sub ensambles, para toda estructura de acero es necesaria realizar un pre tratamiento; tales son: devastado, masillado, lijado y pulido.

Fotografía N° 4.9 Pre tratamiento superficial del acero



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

En la fotografía N° 4.9, se verifica el pre tratamiento realizado a la estructura de soporte respecto a los sub ensambles 1 y 2.

Figura N° 4.40 Tratamiento superficial en el acero



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

La aplicación del anticorrosivo a toda estructura de acero del ensamble, garantiza el tiempo de vida del material estructural; cómo se puede apreciar parte del sub ensamble 1, al

lado izquierdo de la figura N° 4.40; y el lado derecho se observa el depósito de agua, respectivamente tratados.

Figura N° 4.41 Pre tratamiento superficial del tablero



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

De igual manera, la madera requiere de un pre tratamiento; comprendida por lo siguiente: lijado, pintado y masillado, repetir las veces necesarias hasta perder la rugosidad en su totalidad. Así se verifica en la figura N° 4.41, a la izquierda muestra el pintado de la madera, en este caso de color nogal y a la derecha el masillado de algunas porosidades existentes en la superficie para lijar y pulir capa por capa las veces que se requieran.

Fotografía N° 4.10 Tratamiento superficial en la madera



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Esta última etapa de tratamiento de superficies, es la más importante; la separación y deslizamiento del elemento valioso depende mucho del acabado que se tenga, es importante tener un acabado vítreo; esta apariencia se logra con el producto poliéster parafínico, aplicando a la superficie fina y perfectamente pulida.

La fotografía N° 4.10, muestra el momento justo del proceso de vidriado que se somete al tablero.

4.12 Montaje de los sub ensambles

Al finalizar el tratamiento superficial de materiales predeterminados; se procede a darle color, posteriormente iniciar con el montaje de los sub ensambles.

Figura N° 4.42 Montaje de los sub ensambles 1 y 5



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Es necesario tener fijado el primer ensamble, en la figura N° 4.42; detalla el montaje del sub ensamble 1 con el sub ensamble 5.

En la unión de cada sub ensamble, se toma en cuenta el punto de montaje como muestra la figura N° 4.43; en este caso los rodajes fijados en el sub ensamble 2 están apoyados en el riel fijado al ensamble 1.

Figura N° 4.43 Punto de montaje de los sub ensambles 1 y 2



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Figura N° 4.44 Elementos del sub ensamble 2



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

La figura N° 4.44, detalla a todos los elementos del sub ensamble 2, listos para realizar el montaje correspondiente; posteriormente montar sobre el sub ensamble 1.

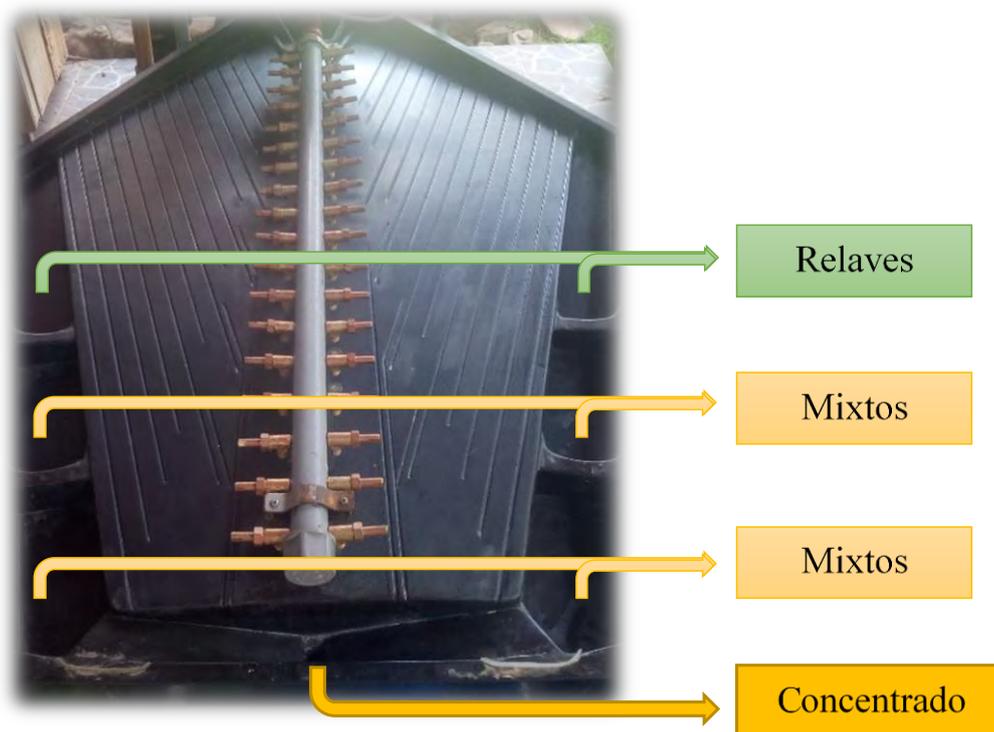
En el tercer sub ensamble, su montaje esta superpuesta un elemento del otro; detalla la figura N° 4.45, encima del marco base se encuentra montada el tablero y sobre ella está el sistema de agua a chorro.

Figura N° 4.45 Montaje de sub ensamble 3



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Figura N° 4.46 Distribución de colectores



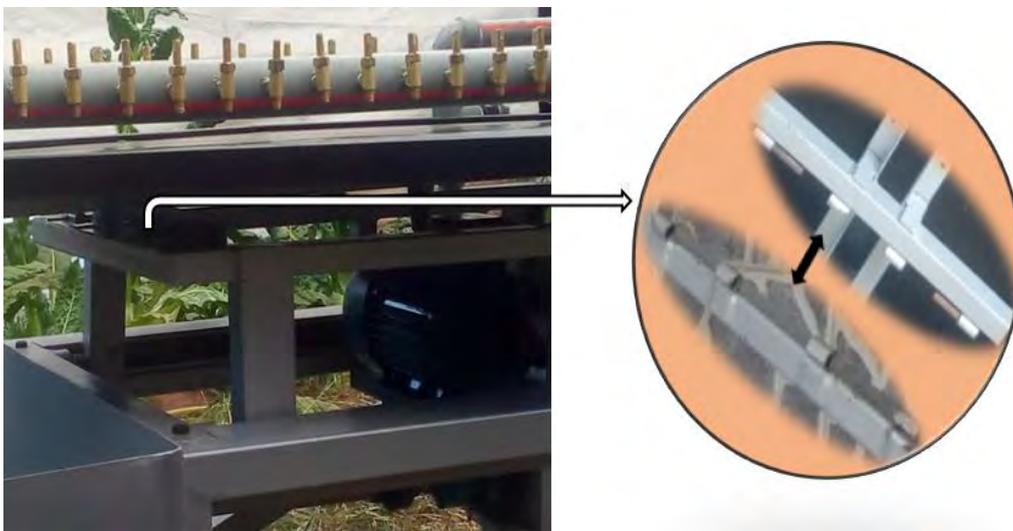
Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Para conocer más las partes del tablero, la figura N° 4.46; detalla cómo está distribuida el colector de relave, mixto y concentrado.

Teniendo preparado el sub ensamble dos, que está montada al sub ensamble 1; se inicia el montaje del sub ensamble 3, para ello se debe tener en cuenta el punto de montaje del sub ensamble 2 y el sub ensamble 3.

La figura N° 4.47, detalla en su proyección juego de bisagras DIY 2", una parte está fijada al marco base y la otra está fijada a uno de los bordes de la estructura rígida del sub ensamble 2; el eje de la bisagra es la pieza clave en esta unión de sub ensambles.

Figura N° 4.47 Punto de montaje de los sub ensambles 2 y 3



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

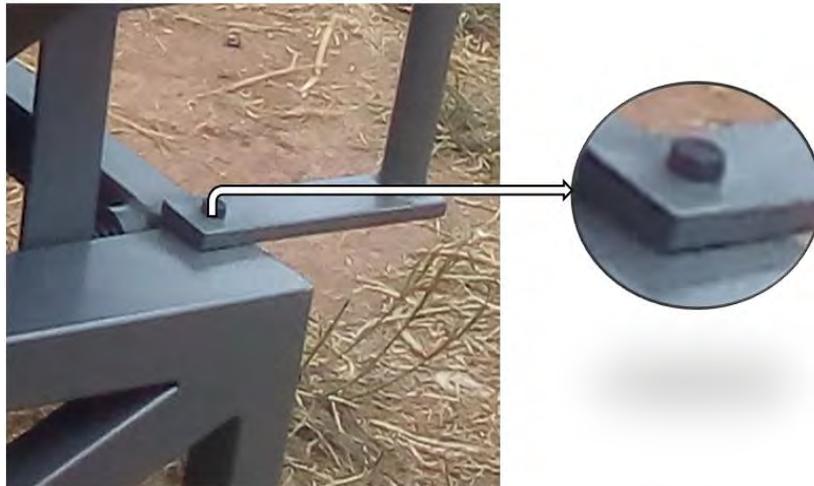
Figura N° 4.48 Punto de montaje de los sub ensambles 3 y 5



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

El accesorio PVC tipo codo de 1/2" es el punto de montaje entre el sub ensamble 3 y el sub ensamble 5, verificar figura N° 4.48, este elemento esta entre la tubería flexible de 1" perteneciente al quinto sub ensamble y por el otro extremo está conectada al sistema de agua a chorro del tercer sub ensamble. La figura N° 4.49, detalla el punto de montaje del sub ensamble 1 con el sub ensamble 4; este es un perno de 1/2"x3.5", que sujeta al soporte de la tolva de alimentación (elemento del cuarto sub ensamble) a la estructura rígida del del primer sub ensamble.

Figura N° 4.49 Punto de montaje de los sub ensambles 1 y 4



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Fotografía N° 4.11 Montaje del sistema de depósito del mineral

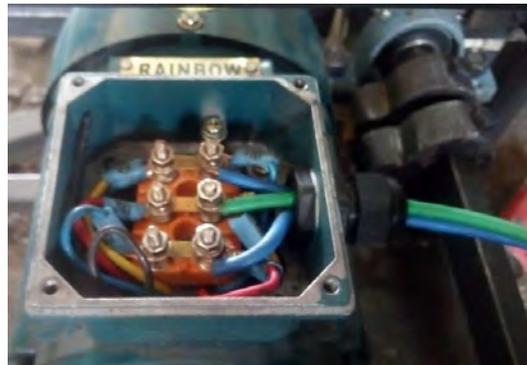


Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Es determinante montar depósitos de mineral, según al sistema de colectores como se ve en la fotografía N° 4.11, dos depósitos de 4 L de capacidad para el relave, cuatro depósitos de 1 L para los mixtos y un para el concentrado que es el más pequeño; debido a la cantidad pequeña de recepción del colector.

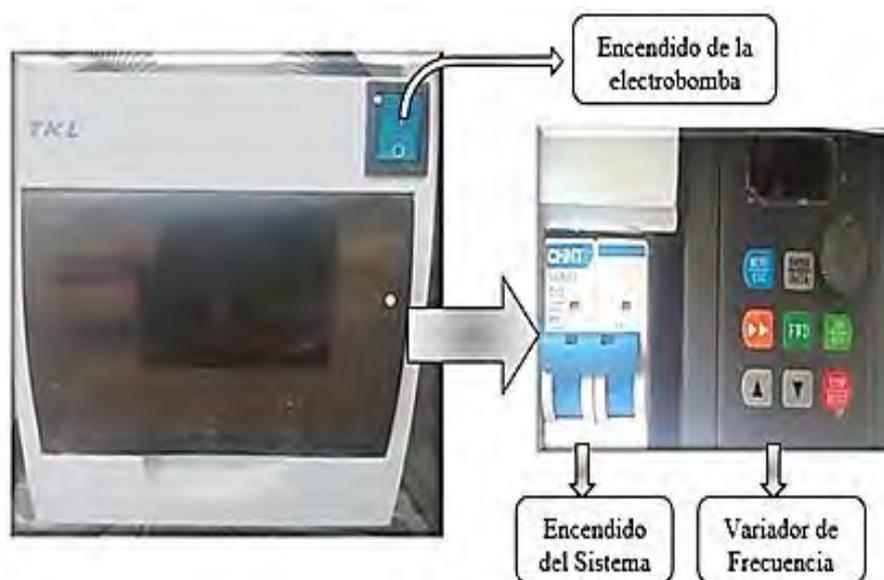
Los colectores evacuan el material a los depósitos mediante mangueras de ¾", a su vez estos depósitos están sostenidas en por una estructura; con la finalidad de que eviten el algún tipo de percance en la tolva o depósito de agua residual. Por otro lado, los depósitos de relave están con previos tamices, que filtran material estéril del agua que recircula en el sistema.

Fotografía N° 4.12 Montaje del sistema eléctrico motor trifásico 220V



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Figura N° 4.50 Montaje del panel control



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

4.13 Mesa vibratoria IDRAKO NGU

Fotografía N° 4.13 Montaje del ensamblaje general



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Fotografía N° 4.14 Vista posterior del ensamblaje general



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

CAPÍTULO V

OPERATIVIDAD Y COSTOS DE UNA MESA VIBRATORIA IDRAKO NGU

5.1 Preparación del pre concentrado

Para la experimentación en general, se tiene 175 kg de pre concentrado; proveniente de una de las líneas de trabajo, de la empresa de estudio. Dicho material mostrado en la fotografía N° 5.1, contiene un porcentaje considerable de agua que requiere ser eliminada; a su vez esta colectada en una superficie plástica para prevenir el desperdicio del material o la adición de otro material no deseado que altere la experimentación.

Fotografía N° 5.1 Pre concentrado del yacimiento Tres estrellas del Sur



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Figura N° 5.1 Secado del pre concentrado



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Para la operación de cuarteo, se recomienda en lo posible tener el material libre de agua, para ello es necesario el uso de una estufa o también aprovechar la energía solar para separar el agua del pre concentrado así muestra la figura N° 5.1, a la izquierda se ve el pre concentrado húmedo y a la derecha dicho material totalmente seco.

5.1.1 Homogenización y limpieza del material

Este pre concentrado, provenientes de placeres o depósitos aluviales; cuenta con material estéril no homogéneo según el tamaño de partícula y también presenta materia orgánica (raíces, hojas secas, y otros). Para llevar a cabo la homogenización, es necesario el uso del tamiz # 20 según la serie Tylor de acuerdo a ASTM; esto hace posible la separación de material con exceso de tamaño y a su vez la separación del material orgánico.

Fotografía N° 5.2 Material orgánico separado del pre concentrado



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Una vez separado estos dos materiales, se lleva a la operación de lavado; con la finalidad de retener metal valioso atrapado entre el material con exceso de tamaño y también en el material orgánico. La fotografía N° 5.2, muestra el material orgánico ya separado del pre concentrado, este es quemado para la supervisión si aún existe la presencia de oro.

5.1.2 Cuarteo del pre concentrado

Se opta realizar por dos métodos, considerando según a la cantidad de muestra que se tiene para evitar pérdida de material en lo mínimo:

- a) **Por el método de cuarteo manual:** Se apila el material seco, homogéneo y libre de elementos orgánicos; en una superficie totalmente lisa y por ende nivelada, para evitar pérdida de material o la adición accidental de otro material extraño al pre concentrado. Para ello es necesario remover el material varias veces.

Figura N° 5.2 Cuarteo manual del pre concentrado parcialmente tratado



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

De la figura N° 5.2, de izquierda a derecha; operación de cuarteo

- b) **Por el método de cuarteo mecánico:** Se usa para obtener la muestra representativa de 200gr en base a 40 kg.

Fotografía N° 5.1 Cuarteador mecánico de rifles



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

5.1.3 Clasificación granulométrica del pre concentrado

Tomamos una muestra representativa del pre concentrado de 1kg para determinar en qué malla se encuentra mayor presencia de oro, esta serie muestra la figura N° 5.1 productos obtenidos de las mallas 28, 35, 48, 65, 100, 150, 200 y -200.

Figura N° 5.3 Pruebas de tamizado del pre concentrado



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

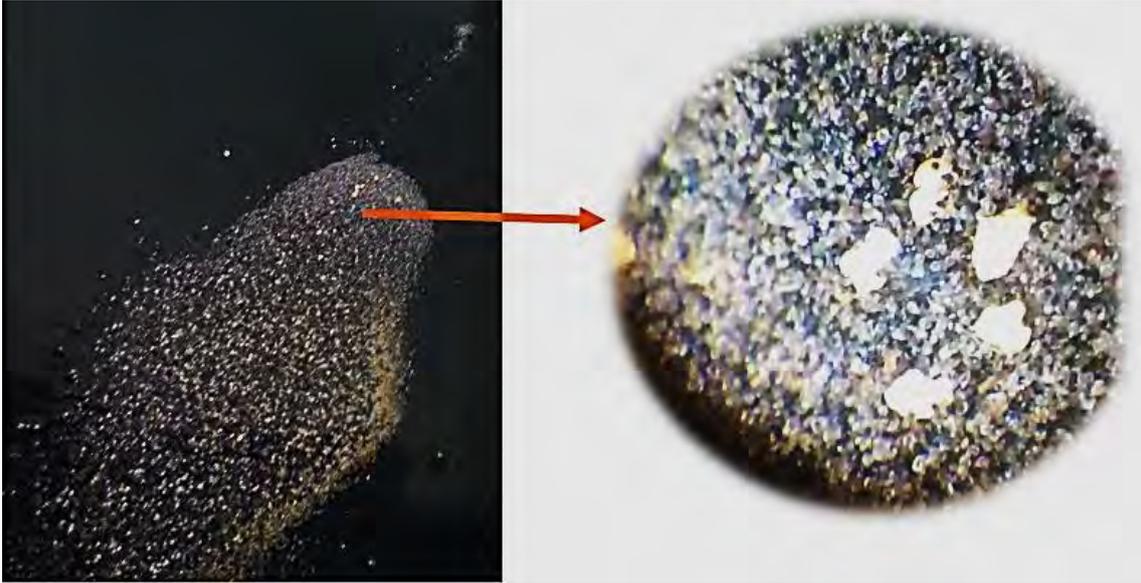
Al pre concentrado se efectúa una clasificación mediante tamizado, que pasa por una serie de mallas de cómo se detalla en la tabla N° 5.1:

Tabla N° 5.1 Clasificación granulométrica del pre concentrado

Malla	Peso (g.)	Presencia aurífera				Tamaño de partícula
		Muy poco	Poco	Regular	Muy buena	
+28	17.5	X				
+35	33.8		X			Partícula gruesa
+48	50.6		X			
+65	65.4			X		
+100	160.4				X	
+150	263.9				X	Partícula fina
+200	125.9			X		
-200	227.4			X		
	944.9					

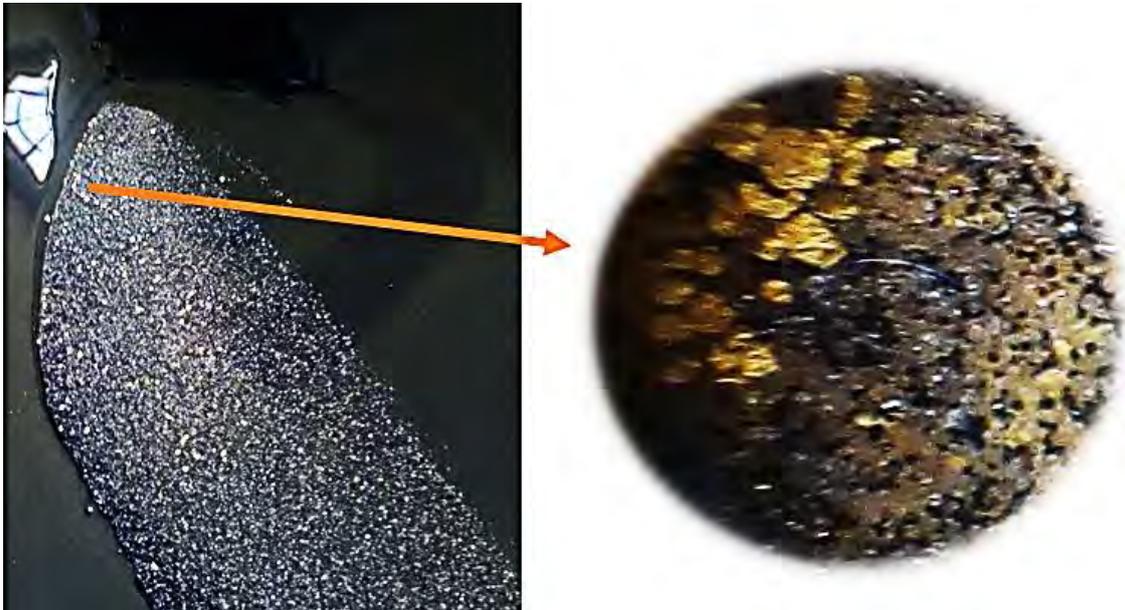
Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Figura N° 5.4 Granulométrica del pre concentrado en malla 28



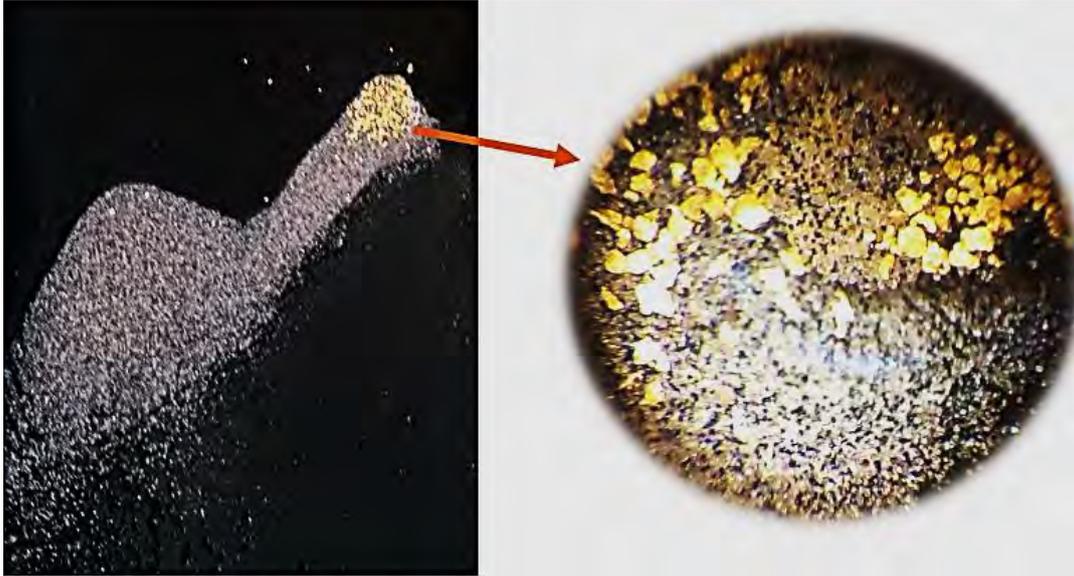
Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020) 10X

Figura N° 5.5 Granulométrica del pre concentrado en malla 48



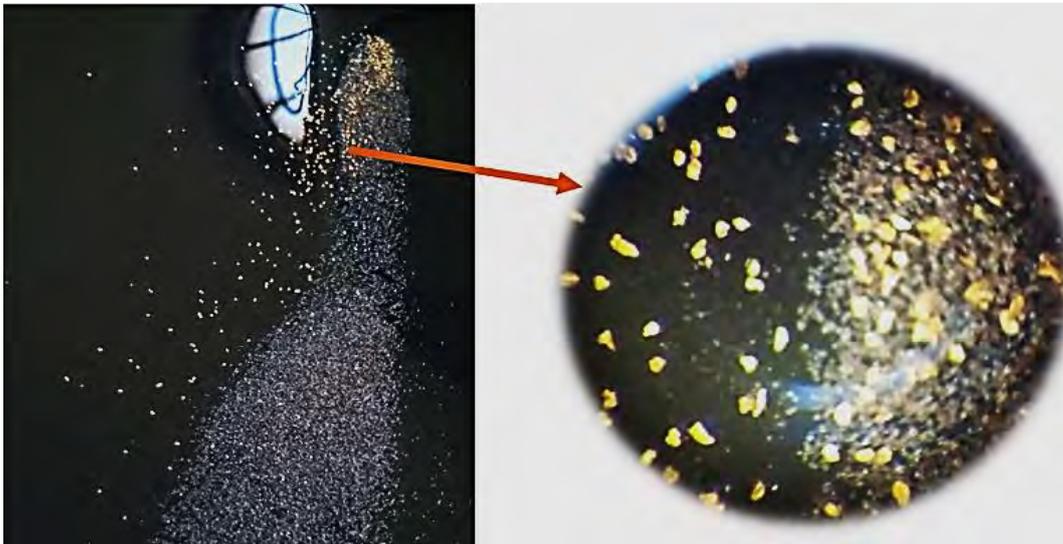
Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020) 10X

Figura N° 5.6 Granulométrica del pre concentrado en malla 65



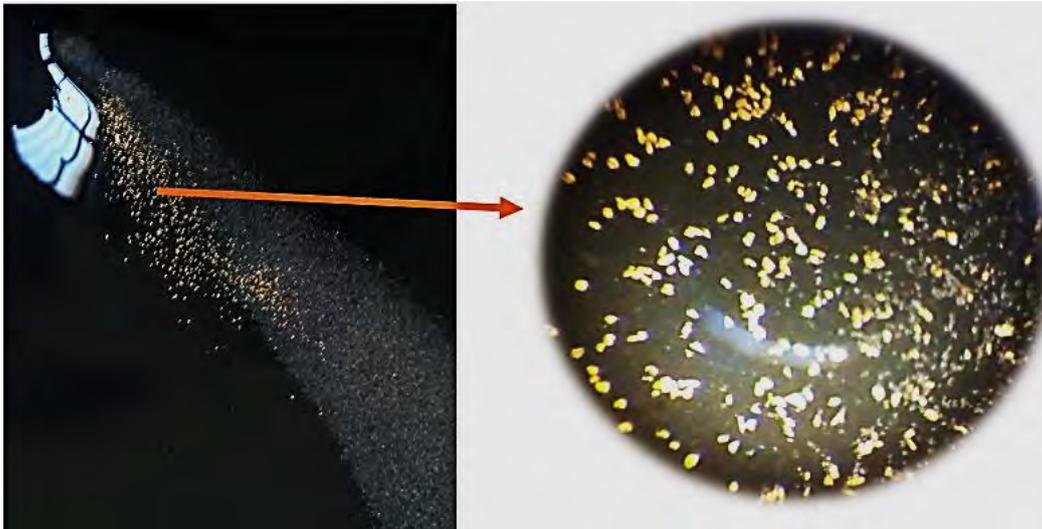
Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020) 10X

Figura N° 5.7 Granulométrica del pre concentrado en malla 150



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020) 10X

Figura N° 5.8 Granulométrica del pre concentrado en malla -200



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020) 10X

5.1.4 Gravedad específica del pre concentrado

Para determinar la gravedad específica del pre concentrado se utiliza: Probeta graduada de 100 cm³, balanza analítica, 20 g de muestra de pre concentrado.

Procedimiento: Se afora la probeta graduada hasta 50 cm³, se procede a introducir 20 g de pre concentrado hasta la sedimentación del mismo. Luego se observa la diferencia del volumen.

Resultados: los datos obtenidos se reemplazan en la ecuación N° 5.1:

$$GE = \frac{W_s}{V_f - V_i} \left[\frac{g}{cm^3} \right] \quad \text{Ec. [5.1]}$$

Donde:

GE: Gravedad específica

W_s : Peso seco del mineral

V_i : Volumen inicial de la probeta

V_f : Volumen final de la probeta

Reemplazando:

$$GE = \frac{20 \text{ g}}{(58 - 50) \text{ cm}^3}$$

$$GE = 2.5 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

5.1.5 Criterio de concentración para tratar el pre concentrado

Es para determinar criterio de concentración es necesario saber los pesos específicos; es decir, cuan eficiente es la separación de las partículas pesadas y livianas. Es eficiente la separación si se cumple $CC \geq 2.5$, de la ecuación N° 2.6:

$$CC = \frac{(\rho_p - \rho_f)}{(\rho_l - \rho_f)}$$

Donde:

$$\rho_{Au} = 19.32 \text{ g/cm}^3; \rho_{Zr Si O_4} = 4.7 \text{ g/cm}^3; \rho_{Si O_2} = 2.65 \text{ g/cm}^3; \rho_{H_2O} = 19.32 \text{ g/cm}^3;$$

➤ Au con respecto a $Zr Si O_4$

$$CC = \frac{(19320 - 998) \frac{Kg}{m^3}}{(4700 - 998) \frac{Kg}{m^3}}$$

$$CC = 4.949$$

➤ Au con respecto a $Si O_2$

$$CC = \frac{(19320 - 998) \frac{Kg}{m^3}}{(2650 - 998) \frac{Kg}{m^3}}$$

$$CC = 11.091$$

Para determinar de manera más precisa el criterio de concentración, consideramos el factor de razón de forma (FRF), de las ecuaciones N° 2.7; 2.8; 2.9 y 2.10:

$$CC = \left(\frac{\rho_p - \rho_f}{\rho_l - \rho_f} \right) * FRF$$

$$FRF = \frac{FS_p}{FS_l}$$

$$FS_p = \frac{V_t \alpha p}{V_p (esf.)}$$

$$FS_l = \frac{V_t \alpha l}{V_l (esf.)}$$

Determinar las velocidades terminales mediante la ley de Stokes.

$$V_{t\alpha} = \frac{(\rho_s - \rho_f) * g * Dp^2}{18 \mu} \quad \text{Ec. [5.2]}$$

Dp: Diámetro de la partícula (m)

μ : Viscosidad dinámica (Kg.m/s)

De la ecuación N° 5.2; se determina la velocidad terminal del Au:

$$V_{tAu} = \frac{(19320 - 998) \frac{Kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2} * (3.7 * 10^{-5} m)^2}{18 * 1.002 * 10^{-3} \frac{Kg}{m.s}}$$

$$V_{tAu} = 0.01362 \frac{m}{s}$$

De la ecuación N° 5.2; se determina la velocidad terminal del Zr Si O₄

$$V_{tZrSiO_4} = \frac{(4700 - 998) \frac{Kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2} * (7.4 * 10^{-5} m)^2}{18 * 1.002 * 10^{-3} \frac{Kg}{m.s}}$$

$$V_{tAu} = 0.01101 \frac{m}{s}$$

De la ecuación N° 5.2; se determina la velocidad terminal del Si O₂

$$V_{tSiO_2} = \frac{(2650 - 998) \frac{Kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2} * (7.4 * 10^{-5} m)^2}{18 * 1.002 * 10^{-3} \frac{Kg}{m.s}}$$

$$V_{tAu} = 0.00491 \frac{m}{s}$$

Determinar la velocidad de sedimentación tomando en cuenta una forma esférica, da por la ecuación N° 5.3:

$$V_s^* = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{g}{C_D} * \frac{\rho_p - \rho_f}{\rho_f} * D_p} \quad \text{Ec. [5.3]}$$

Donde:

C_D : Coeficiente de arrastre de Newton

Se tiene la relación:

$$C_D = \frac{24}{Re} \quad \text{Ec. [5.4]}$$

Para determinar el coeficiente de arrastre de Newton (C_D), de debe determinar primero el número de Reynolds (Re), definida por la ecuación N° 5.5:

$$Re = \frac{\rho_f * V_t * D_p}{\mu} \quad \text{Ec. [5.5]}$$

De la ecuación N° 5.5 El número de Reynolds para el Au:

$$Re = \frac{998 \frac{Kg}{m^3} * 0.01362 \frac{m}{s} * 3.7 * 10^{-5} m}{1.002 * 10^{-3} \frac{Kg}{m.s}}$$

$$Re_{Au} = 0.5$$

De la ecuación N° 5.5 El número de Reynolds para el $Zr Si O_4$:

$$Re = \frac{998 \frac{Kg}{m^3} * 0.01101 \frac{m}{s} * 7.4 * 10^{-5} m}{1.002 * 10^{-3} \frac{Kg}{m.s}}$$

$$Re_{Zr Si O_4} = 0.8$$

De la ecuación N° 5.5 El número de Reynolds para el $Si O_2$:

$$Re = \frac{998 \frac{Kg}{m^3} * 0.00491 \frac{m}{s} * 7.4 * 10^{-5} m}{1.002 * 10^{-3} \frac{Kg}{m.s}}$$

$$Re_{Si O_2} = 0.29$$

Reemplazando la ecuación N° 5.4; Coeficiente de arrastre de Newton (C_D) del Au:

$$C_D = \frac{24}{0.5}$$

$$C_D = 48$$

Reemplazando la ecuación N° 5.4; Coeficiente de arrastre de Newton (C_D) del $Zr Si O_4$:

$$C_D = \frac{24}{0.8}$$

$$C_D = 30$$

Reemplazando la ecuación N° 5.4; Coeficiente de arrastre de Newton (C_D) del $Si O_2$:

$$C_D = \frac{24}{0.29}$$

$$C_D = 82.76$$

Para determinar la velocidad de sedimentación de las partículas del pre concentrado, se usa la ecuación N° 5.3:

La velocidad de sedimentación del Au en forma esférica:

$$V_s^* = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{9.8 \frac{m}{s^2}}{48} * \left(\frac{19329 - 998}{998} \right) \frac{Kg}{m^3} * 3.7 * 10^{-5} m}$$

$$V_s^* = 0.01359 \frac{m}{s}$$

La velocidad de sedimentación del $Zr Si O_4$ en forma esférica:

$$V_s^* = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{9.8 \frac{m}{s^2}}{30} * \left(\frac{19329 - 998}{998} \right) \frac{Kg}{m^3} * 7.4 * 10^{-5} m}$$

$$V_s^* = 0.01093 \frac{m}{s}$$

La velocidad de sedimentación del $Si O_2$ en forma esférica:

$$V_s^* = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{9.8 \frac{m}{s^2}}{82.76} * \left(\frac{19329 - 998}{998} \right) \frac{Kg}{m^3} * 7.4 * 10^{-5} m}$$

$$V_s^* = 0.00439 \frac{m}{s}$$

Determinando el factor de sedimentación; de las ecuaciones N° 2.8; 2.9 y 2.10:

De la partícula pesada - Au:

$$FS_p = \frac{0.1362}{0.1359}$$

$$FS_p = 1.002$$

De la partícula liviana - $Zr Si O_4$:

$$FS_{l1} = \frac{0.01101}{0.01093}$$

$$FS_{l1} = 1.007$$

De la partícula liviana - $Si O_2$:

$$FS_{l2} = \frac{0.00491}{0.00439}$$

$$FS_{l2} = 1.118$$

Para determinar el FRF, se tiene:

La relación de separación del Au - $Zr Si O_4$:

$$FRF = \frac{1.002}{1.007}$$

$$FRF = 0.995$$

La relación de separación del Au - $Si O_2$:

$$FRF = \frac{1.002}{1.118}$$

$$FRF = 0.896$$

Determinando el criterio de concentración real, de la ecuación N° 2.7:

La relación de separación del Au - Zr Si O₄:

$$CC^* = 4.949 * 0.995$$

$$CC^* = 4.925$$

La relación de separación del Au - Si O₂:

$$CC^* = 11.09 * 0.896$$

$$CC^* = 9.856$$

Por consiguiente, es importante determinar el criterio de concentración real según la forma de la partícula para realizar operaciones gravimétricas eficientes, los criterios de concentración real son mayores a 2.5 por consiguiente la separación es eficiente.

5.2 Parámetros operacionales de una mesa vibratoria IDRAKO NGU

Las pruebas de laboratorio que se hicieron en una mesa vibratoria IDRAKO NGU fueron las siguientes:

5.2.1 Características del mineral

- a) **Granulometría de las partículas:** Tomando en cuenta el análisis de la tabla N° 6.1; Clasificación granulométrica del pre concentrado, el tamaño de la partícula está por debajo de la malla 35 (420 μm / 0.0164 pulg).
- b) **Tiempo de trabajo:** Los tiempos en cada prueba operacional como muestra la tabla N° 5.2, es consecuencia de las condiciones impuestas para 5 Kg de pre concentrado.

Tabla N° 5.2 Tiempos de operación del equipo

Pruebas	Tiempo
Prueba n° 1	24 min 56 seg
Prueba n° 2	8 min 9 seg

Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

5.2.2 Sistema de vibraciones

Frecuencia y amplitud del golpe, varía de 240 a 325 ciclos (pulsaciones) por minuto y el curso varía de 10 a 25 mm. Donde el consumo de energía promedio es 0.75 Kw. h.

5.2.3 Característica de la superficie

La inclinación longitudinal del tablero es manipulable, y varía de 0° a 10° (manualmente).

La inclinación lateral del tablero es de 3°, mejora el movimiento de la partícula en la superficie y ayuda a reducir el uso de la cantidad del agua de lavado.

5.2.4 Sistema hidráulico

Caudal del agua requerida para el sistema, en el lavado requiere 32.72 L/min.

5.3 Pruebas operacionales de una mesa vibratoria IDRAKO NGU

Teniendo en cuenta los parámetros de operación, previamente establecidos de una mesa vibratoria IDRAKO NGU, se pone en marcha el equipo utilizando el pre concentrado proveniente del yacimiento Tres Estrellas del Sur de la Zona Boca Colorado – Madre de Dios.

Dicha operación cumple las siguientes condiciones:

- Cantidad de mineral a tratar: 5 kg
- Granulometría del pre concentrado: < malla 35
- Ley del pre concentrado: 62.05 g/TM

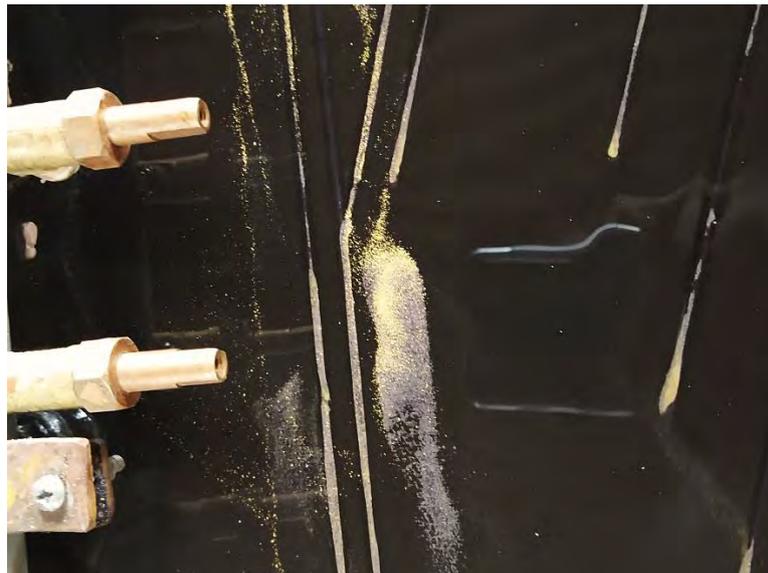
- Gravedad específica: 2.5 g/cm^3
- Caudal de lavado: 32.72 L/min

5.3.1 Prueba N°1

Condiciones para la prueba N°1:

- Densidad de pulpa: 25% de sólido para material fino
- Caudal de alimentación: 32.72 L/min
- Frecuencia: 30 Hz.
- Amplitud: 10 – 12 mm
- Ángulo de inclinación: 4°

Fotografía N° 5.3 Primera prueba de lavado del pre concentrado



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

5.3.2 Prueba N°2

Condiciones para la prueba N°2:

- Densidad de pulpa: 30% de sólido para material fino
- Caudal de alimentación: 32.72 L/min
- Frecuencia: 40 Hz.

- Amplitud: 8 – 10 mm
- Ángulo de inclinación: 3°

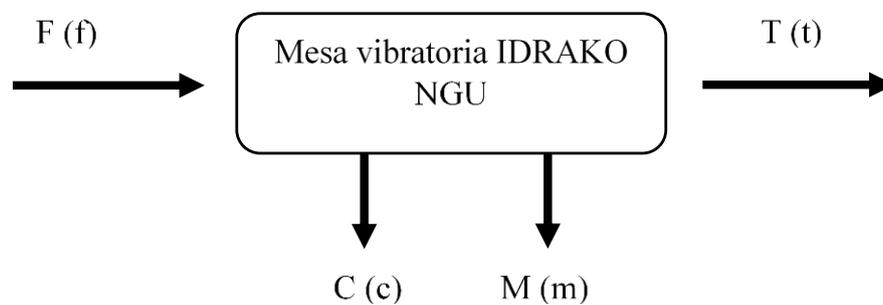
Fotografía N° 5.4 Segunda prueba de lavado del pre concentrado



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Procedimiento operacional con mecanismo gravitatorio

Figura N° 5.9 Diagrama de flujo de una mesa vibratoria IDRAKO NGU



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Se detalla en la figura N° 6.1, el diagrama de flujo de concentración gravimétrica en una mesa vibratoria; y se rige por la ecuación N° 5.6.

$$F * f = C * c + M * m + T * t \quad \text{Ec. [5.6]}$$

Donde:

F: Peso de pre concentrado (g)

f: Ley del pre concentrado (g/TM)

C: Peso de concentrado (g)

c: Ley del concentrado (g/TM)

M: Peso del mixto (g)

m: Ley del mixto (g/TM)

T: Peso del relave (g)

t: Ley del relave (g/TM)

5.4 Resultados de las pruebas operacionales de una mesa vibratoria IDRAKO NGU

5.4.1 Resultado de la prueba N°1

Se obtiene los siguientes resultados: El tiempo de operación en esta prueba es de 24 min 56seg. Los pesos obtenidos en una mesa vibratoria IDRAKO NGU son los siguientes:

Tabla N° 5.3 Pesos obtenidos de la primera operación gravimétrica

Denominación	Pesos (g)
Pre concentrado	5000
Concentrado	29.9
Mixto	206.4
Relave	4763.7

Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Cálculos:

- a) Determinando el contenido metálico del pre concentrado (F)

$$62.050 \text{ g Au} \text{ ----- } 10^6 \text{ g}$$

$$X \text{ ----- } 5000 \text{ g}$$

$$X = 0.31025 \text{ g Au}$$

5.4.2 Resultado de la prueba N°2

Se obtiene los siguientes resultados:

El tiempo de operación en esta prueba es de 8 min 9 seg.

El peso de los productos obtenidos en una mesa vibratoria IDRAKO NGU: de concentrado, mixtos y relaves se muestra en la tabla N° 5.4 y son los siguientes:

Tabla N° 5.4 Pesos obtenidos de la segunda operación gravimétrica

Denominación	Pesos (g)
Pre concentrado	5000
Concentrado	10.4
Mixto	180.2
Relave	4809.4

Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Figura N° 5.10 Muestras obtenidas de la prueba 2



Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Cálculos:

- b) Determinando el contenido metálico del pre concentrado (F)

$$\begin{aligned}
 62.050 \text{ g Au} & \text{-----} 10^6 \text{ g} \\
 X & \text{-----} 5000 \text{ g} \\
 X & = 0.31025 \text{ g Au}
 \end{aligned}$$

- c) Determinando el contenido metálico de los mixtos (M)

$$\begin{aligned}
 75.42 \text{ g Au} & \text{-----} 10^6 \text{ g} \\
 X & \text{-----} 180.2 \text{ g}
 \end{aligned}$$

$$X = 0.01359 \text{ g Au}$$

d) Determinando el contenido metálico del relave (R)

$$0.674 \text{ g Au} \text{ ----- } 10^6 \text{ g}$$

$$X \text{ ----- } 4809.4 \text{ g}$$

$$X = 0.00324 \text{ g Au}$$

e) Determinando el contenido metálico del concentrado (C)

$$CM_{\text{pre concentrado}} = CM_{\text{concentrado}} + CM_{\text{mixto}} + CM_{\text{relave}}$$

$$0.31025 \text{ g Au} = CM_{\text{concentrado}} + 0.01359 \text{ g Au} + 0.00324 \text{ g Au}$$

$$CM_{\text{concentrado}} = 0.29342 \text{ g Au}$$

f) Determinando la ley del concentrado

$$F * f = C * c + M * m + T * t$$

$$5000 \text{ g} * 62.05 \frac{\text{g}}{\text{TM}} = 10.4 \text{ g} * c + 180.2 \text{ g} * 75.42 \frac{\text{g}}{\text{TM}} + 4809.4 * 0.674 \frac{\text{g}}{\text{TM}}$$

$$c = 28\,213.248 \frac{\text{g}}{\text{TM}}$$

g) Balance metalúrgico

Finalmente, la tabla N° 5.5 muestra, el balance metalúrgico que se a realizado teniendo en cuenta los resultados del Laboratorio Analítico del Sur ver anexo 31; donde se envió las muestras obtenidas (pre concentrado de cabeza, concentrado de mixtos, y relave) de la operación de una mesa vibratoria IDRAKO NGU.

Donde se realizó por dos métodos: método del ensayo a fuego para oro por reconocimiento de absorción atómica para las muestras de pre concentrado (cabeza) y concentrado (mixtos) de una mesa vibratoria y por el método de ensayo a fuego para oro por reconocimiento de gravimetría para relaves de una mesa vibratoria.

Tabla N° 5.5 Balance metalúrgico de la prueba 2

Denominación	simbología	Peso (g)	Ley (g/TM)	Contenido Metálico (g)	% recuperación
Pre concentrado	F	5000	62.050	0.31025	100
Concentrado	C	10.4	28213.248	0.29342	94.58
Mixto	M	180.2	75.420	0.01364	4.40
Relave	R	4809.4	0.674	0.00324	1.02

Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

El % de recuperación óptima que se considera es la siguiente:

$$\% R_{\text{óptima}} = \% R_{\text{concentrado}} + \% R_{\text{mixto}}$$

$$\% R_{\text{óptima}} = 94.58 + 4.40$$

$$\% R_{\text{óptima}} = 98.98 \%$$

Donde, al tratar pre concentrados de oro del yacimiento Tres Estrellas mediante la utilización de una mesa vibratoria IDRAKO NGU obtenemos una recuperación óptima del 98.98%; sin haber usado el mercurio.

5.5 Guía de operación de una mesa vibratoria IDRAKO NGU

Tabla N° 5.6 Pasos y parámetros del equipo

Pasos	Parámetros	valores
Primer	Granulometría del pre concentrado	< malla 35
	Densidad de pulpa	25% de sólido para material fino
Segundo	Caudal de alimentación y Caudal de lavado	32.72 L/min
Tercero	Frecuencia de la vibración	10 – 12 mm
	Ángulo de inclinación	4°
Cuarto	Operación del equipo	16 minutos aprox.

Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

5.6 Mantenimiento de una mesa vibratoria IDRAKO NGU

- Revisar y mantener la superficie de la mesa en un lugar no expuesto a la luz solar.
- Lubricación al sistema mecánico cuando se requiera.
- Revisar y apretar los rodamientos y conexiones fijadas con pernos.
- Revisar el mecanismo de vibraciones por resortes rotos.

5.7 Equipos de protección personal al usar una mesa vibratoria IDRAKO NGU

- Gafas de seguridad
- Ropa de trabajo adecuado
- Botas

5.8 Costos de operación

Los costos requeridos en esta investigación fueron financiados por los autores; en búsqueda de sustituir el proceso de amalgamación y con ello beneficiar el cuidado del medio ambiente.

5.8.1 Costos de diseño

Tabla N° 5.7 Costo de diseño

Descripción	Precio (S/.)
Software SolidWorks 2016	150.00
Elaboración de planos	600.00
Total, costo de diseño	750.00

Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

Referente al diseño de la investigación, se adquirió el Software SolidWorks 2016 para diseñar una mesa vibratoria según los materiales disponibles en el mercado local. Detallada en la tabla N° 5.7:

5.8.2 Costos de construcción

Se detalla a continuación en la tabla N° 5.8:

Tabla N° 5.8 Costo total de construcción

Descripción	Precio (S/.)
Sub ensamble 1	579.08
Sub ensamble 2	1 253.00
Sub ensamble 3	1 482.90
Sub ensamble 4	142.00
Sub ensamble 5	480.00
Sistema eléctrico	615.04
Colectores	120.00
Total, costo de construcción	4 672.02

Fuente: Troncoso, J. F. y Trujillo, D. (2020)

5.8.3 Costos de operatividad

a) Costo del pre concentrado

Se detalla a continuación en la tabla N° 5.9:

Tabla N° 5.9 Costos del pre concentrado

Descripción	Precio (S/.)
Costo de pre concentrado	1 000.00
Sub Total, costo de operatividad	1 000.00

Fuente: Troncoso, J. F. y Trujillo, D. (2020)

b) Costo por consumo de energía eléctrica

El precio unitario en soles/kW.h es 0.6772 de acuerdo a la zona donde se realizó las pruebas experimentales.

Se detalla a continuación en la tabla N° 5.10:

Tabla N° 5.10 Costo por consumo de energía eléctrica

Descripción	Precio (S/.)
Consumo de energía eléctrica/hora	0.76
Consumo de energía eléctrica/12 h	9.10
Consumo de energía eléctrica/mes	273.05

Fuente: Troncoso, J. F. y Trujillo, D. (2020)

c) Costo por consumo de agua

El precio de agua en soles/m³ es 0.8673 de acuerdo a la zona donde se realizó las pruebas experimentales. Se detalla a continuación en la tabla N° 5.11: 32.72 L/min = 1.9632 m³/h

Tabla N° 5.11 Costo por consumo de agua

Descripción	Precio (S/.)
Consumo de agua m ³ /hora	1.70
Consumo de agua m ³ /12 h	20.43
Consumo de agua m ³ /mes	612.97

Fuente: Troncoso, J. F. y Trujillo, D. (2020)

Se observa en la tabla, que el costo por consumo de agua es muy elevado; por tanto, se implementó un sistema de bombeo de circuito cerrado para minimizar costos de operación de una mesa vibratoria IDRAKO NGU.

d) Costo total de la operatividad

Se detalla a continuación en la tabla N° 5.12:

Tabla N° 5.12 Costo total de la operatividad

Descripción	Precio (S/.)
Costo del pre concentrado	1 000.00
Costo por consumo de energía eléctrica	9.10
Costo por consumo de agua	20.43
Total, costo de operatividad	1 029.53

Fuente: Troncoso, J. F. y Trujillo, D. (2020)

5.8.4 Costos por análisis de laboratorio

Se envió a un laboratorio para realizar ensayos a las muestras obtenidas de una mesa vibratoria, donde se detalla:

- Primero, se realizó por el método de ensayo a fuego para oro por reconocimiento de absorción atómica para las muestras de pre concentrado (cabeza) y concentrado (mixtos) de una mesa vibratoria.
- Segundo, se realizó por el método de ensayo a fuego para oro por reconocimiento de gravimetría para relaves de una mesa vibratoria. Se detalla a continuación en la tabla N° 5.13:

Tabla N° 5.13 Costo por análisis de laboratorio

Descripción	Precio (S/.)
Análisis mineralógico	150.00
Total, costo de análisis de laboratorio	150.00

Fuente: Troncoso, J. F. y Trujillo, D. (2020)

5.8.5 Costos adicionales

Se detalla a continuación en la tabla N° 5.14:

Tabla N° 5.14 Costos adicionales

Descripción	Precio (S/.)
Pasajes	600.00
Total, costo de análisis de laboratorio	600.00

Fuente: Troncoso, J. F. y Trujillo, D. (2020)

5.8.6 Costo total de la investigación tecnológica

Se detalla a continuación en la tabla N° 5.15:

Tabla N° 5.15 Costo total de la investigación

Descripción	Precio (S/.)
Costos de diseño	750.00
Costos de construcción	4 672.02
Costos de operatividad	1 029.53
Costos por análisis de laboratorio	150.00
Costos adicionales	600.00
Presupuesto total del proyecto	7 201.55

Fuente: Troncoso, J. F. y Trujillo, D. (2020)

En conclusión, el diseño, construcción y operación de una mesa vibratoria IDRAKO NGU que trata un pre concentrado de oro; proveniente del yacimiento aurífero Tres Estrellas del Sur. Tiene la característica de tener un diseño, el cual se ejecutó a bajos costos; distinguiéndose de las demás mesas vibratorias. Tiene mayor facilidad adquisitiva con respecto a los equipos: Xtruder 255 y la mesa gravimétrica Gemini, ambos del mercado estadounidense; donde su adquisición es casi imposible por el elevado costo de construcción; inalcanzable para la pequeña minería y artesanal. Como se observa en la tabla N° 5.16.

Tabla N° 5.16 Comparación de bondades de otras mesas vibratorias fabricadas

Mesa Colectora Xtruder 255	Mesa gravimétrica Gemini
La mesa vibradora es fácil de operar, tiene control de velocidad variable completo, tiene una capacidad de hasta 115.66 kg/h y puede recuperar oro fino de hasta 400 mallas con un requerimiento mínimo de agua de 22.7 a 37.85 L/min.	La mesa gravimétrica Gemini es diseñada para la recuperación de oro fino y producir un concentrado directamente fundible. Varían según a su capacidad de tratamiento de 115 kg/h hasta 450 kg/h. Trata concentrados de baja ley de oro, y lograr recuperaciones altas de oro.
Recuperación: 99.96 %	Recuperación: 98 %
Precio: \$ 28 000.00	Precio: \$ 8 000.00
<i>Fuente: www.msi-mining.com</i>	<i>Fuente: www.911metalurgist.com</i>

Fuente: Troncoso, J. F. y Trujillo, D. (2020)

CONCLUSIONES

- **Primera:** Es posible diseñar, construir y operar una mesa vibratoria IDRAKO NGU cumpliendo los parámetros de diseño pre establecidos y tratar pre concentrado de oro de manera eficiente, recuperando un 98.98% de oro obteniendo un concentrado listo para fusión directa; evitando así en su totalidad el uso del mercurio.
- **Segunda:** El pre concentrado proveniente del yacimiento Tres Estrellas del Sur de la zona Boca Colorado, posee un contenido metálico de 62.05 g Au/TM; encontrándose en forma laminar y partículas finas, existe la presencia de zirconio, sílice, y otros materiales no ferrosos, siendo óptima estas características del mineral para la recuperación del oro usando una mesa vibratoria IDRAKO NGU.
- **Tercera:** Las variables óptimas de tratamiento para el pre concentrado de oro del yacimiento Tres Estrellas del Sur de la zona Boca Colorado – Madre de Dios son las siguientes: intensidad de vibración de 40 Hertz, flujo de agua laminar de 32.72 L/min y un área de la superficie lisa considerando un ángulo de inclinación de 3°; tanto longitudinalmente y transversalmente.
- **Cuarta:** La recuperación de oro es óptima, siempre que la operación se rija a las variables operacionales ya pres establecidos. Para incrementar la eficiencia de concentración gravimétrica en una mesa vibratoria IDRAKO NGU, se opta por homogenizar el tamaño de partícula del pre concentrado aurífero, recomendable menores a 420 μm y, además, tiene que estar libre de entes orgánicos.
- **Quinta:** El costo total de diseño, construcción y operación de una mesa vibratoria IDRAKO NGU es de S/. 7 201.55; resultando más económico a comparación de otras mesas vibratorias expuestas en el mercado internacional (Xtruder 255 y Gemini)

RECOMENDACIONES

- En vista, de que; el zircón es empleado en la fabricación de aceros especiales, materiales abrasivos y pigmentos para cerámicos. Se sugiere realizar futuras investigaciones, para recuperar este mineral; existe en un 30 % aproximadamente por cada porción de pre concentrado del yacimiento Tres Estrellas del Sur de la zona de Boca Colorado.
- Para reducir el excesivo uso del mercurio, de la minería mediana, pequeña y artesanal. Se sugiere, seguir haciendo investigaciones; así poder diseñar equipos innovadores (Gold Trommel S5X, 4PLEX Jigs) que puedan tratar minerales auríferos sin el uso de la amalgama.
- Para ampliar la investigación, como manipular variables operacionales en una mesa vibratoria IDRAKO NGU. Se sugiere, realizar investigaciones futuras con diferentes minerales auríferos de distintas zonas.
- Para definir, con más exactitud los parámetros de operación en futuras investigaciones; el mineral aurífero debe ser alimentada en pulpa a una mesa vibratoria IDRAKO NGU. Se sugiere adicionar un sistema de agitación en pulpa; capaz de proveer material aurífero en un determinado caudal sin perder sincronización con el equipo.

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

- Alves Sampaio, J., Alves Franca, S. C., & Almeida Fraga, P. F. (2007). Tratamiento de Minerales. Rio de Janeiro. Brasil. Pag. (253-265)
- Anonimo, (2019). Diseño del Sistema de Tuberías y Cálculo de las Bombas.
- Budynas, R. G., & Keith Nisbett, J. (2008). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (Vol. Octava edición). (L. Campa Rojas, Ed., E. J. Murrieta Murrieta, & E. Alatorre Miguel, Trads.) Distrito Federal de Mexico, Mexico: McGRAW Hill/Interamericana Editores, S.A.
- Hamrock, J. (s.f.). Elementos de Maquinas.
- Hernandez Sampieri, R. (2016). Metodología de la investigación. (M. d. industria, Ed.) Mexico: Editorial Mexicana.
- Inman, D. J. (2008). Ingeniería de las Vibraciones: Prentice Hall. Tercera Edición.
- Meruane, V. Vibraciones Mecánicas. Universidad de Chile.
- Miranda, Luis F & Medina, Esperanza. (2015) Investigación en Ingeniería, Editorial Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, Perú
- Morriss Henry, M. (1992). Applied Hydraulics in Engineering. New York: John Wiley and sons.
- Norton, R. L. (1999). Diseño de Maquinas (Primera ed.). Mexico: Prentice Hall.
- Norton, R. L. (2000). Diseño de Maquinaria (segunda ed.). Mexico: MC Graw Hill.
- Taggart, A. F. (2017). Manual de procesamiento de minerales (Primera ed).

TESIS

- Aguilar Asanza, M. F., & Corella Merizalde, J. O. (2016). Diseño y Construcción de una Mesa Concentradora para la Optimización del Proceso de Extracción de Oro en una empresa Minera de Zaruma. Ecuador
- Arias Hincapie, A. F. & Lopera Cano, D. (2014) Diseño Mecánico de Mesa Gravitacional Wilfley, Medellín, Colombia
- Merchán Domínguez, F. M. & Monsalve Espinoza, F. S. (2019). Flujograma de Para Concentración de Oro Aluvial, Mediante Utilización del Jig, Espiral y Mesa Vibratoria. Cuenca, Ecuador.
- Pérez Villegas, A. A. & Mendoza Razo, J. A. (2007). Mesa Vibratoria para Concentración de Metales Auríferos. México
- Rivera Parra, S. C. (2017). Optimización de Concentración Gravimétrica de Oro en la Mesa Vibratoria de la Mina Vicentina. Ecuador
- Vilcapoma Juño, J. R. & Chávez Poma, Z. (2012). Pruebas Experimentales a Nivel de Laboratorio de Concentración Gravimétrica y Flotación de Minerales de Oro en la Planta Concentradora Caselita en Condoroma. Cusco
- Villachica León, C., Llamosas Bueno, J. & Villachica Llamosas, L. (2004). Oro Ecológico Tecnología para la obtención de Oro sin Mercurio en la Minería de pequeña Escala. Perú.

REVISTAS

- Alvarez, J., Sotero, V., Brack, A. & Ipenza, C. (2011). Minería Aurífera en Madre de Dios y Contaminación con Mercurio. MINAM
- Bustamante Rúa, M.O., Gaviria Cartagena, A. C. & Restrepo Baena, O. J. (2008). Concentración de Minerales. Colombia
- Gobierno del estado de Ceará. (2013). Escola Estadual de Educação Profissional de Curso Técnico em Mineração.
- Mosquera, C., Chavez, M. L., Pachas, V. H. & Moschella, P. (2009). Estudio diagnóstico de la actividad minera artesanal en Madre de Dios.
- Vega, C. M., Román, F. & Fernández, L. E. (2018). Mercurio en peces de pozas mineras en madre de dios, Perú

BIBLIOGRAFÍA ELECTRÓNICA

- Recuperado de: <http://www.acerosarequipa.com>
- Recuperado de: <http://www.ue-inti.gob.ar>
- Recuperado de: <https://slideplayer.es/slide/4881869/>
- Recuperado de:
http://www1.frm.utn.edu.ar/mielectricas/docs/apuntes_maquinas_electricas.pdf
- Recuperado de: <https://www.docsity.com/es/vida-util-de-rodamientos/4509825/>
- Recuperado de: <https://www.studocu.com/es-ar/document/universidad-nacional-de-san-luis/mecanismos-y-elementos-de-maquinas/ejercicios-obligatorios/tpn-3-engranajes-dientes-rectos-2017/3190850/view>
- Recuperado de: https://new.abb.com/docs/librariesprovider78/colombia-ecuador-docs/chumaceras-y-reductores-pendulares.pdf?sfvrsn=ecfdab14_2
- Recuperado de: <https://www.slideshare.net/MarcoAntonioMarn1/cap-i-pernos-tornillos>
- Recuperado de: <http://www.minam.gob.pe>
- Recuperado de: <http://slideplayer.com.br/slide/9945749/>
- Recuperado de:
http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/5557/mod_resource/content/1/Tema_9_-_Concentracion_por_Gravedad_II_-_Lamina_Fluente.pdf
- Recuperado de:
https://www.academia.edu/34113578/chumaceras_organos_y_maquinas
- Recuperado de:
https://www.academia.edu/37035520/Fuerzas_de_friccion_en_chumaceras
- Recuperado de: <https://www.slideshare.net/gerardostuardoperez/manual-de-rodamientos>

- Recuperado de: <https://www.monografias.com/trabajos102/alineacion-y-balanceo/alineacion-y-balanceo.shtml>
- Recuperado de: <https://es.slideshare.net/javergaraa/apuniones>

ANEXOS

ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

“DISEÑO, CONSTRUCCION Y OPERACIÓN DE UNA MESA VIBRATORIA IDRAKO NGU PARA TRATAR PRE CONCENTRADO DE ORO DEL YACIMIENTO TRES ESTRELLAS DEL SUR DE LA ZONA BOCA COLORADO - MADRE DE DIOS” (Investigación Tecnológica)				
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>PROBLEMA GENERAL</p> <p>¿Es posible diseñar, construir y operar una mesa vibratoria IDRAKO NGU para tratar pre concentrado de oro proveniente del yacimiento Tres Estrellas del Sur de la zona Boca Colorado – Madre de Dios?</p> <p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> •¿Las características mineralógicas del pre concentrado de oro serán las adecuadas para el diseño, construcción y operación de una mesa vibratoria IDRAKO NGU del yacimiento Tres Estrellas del Sur en la zona Boca Colorado – Madre de Dios? •¿Qué variables se debe establecer para el diseño, construcción y operación de una mesa vibratoria IDRAKO NGU y tratar pre concentrados de oro? •¿Las pruebas operacionales de una mesa vibratoria IDRAKO NGU permitirá una buena recuperación del pre concentrado de oro del yacimiento Tres Estrellas del Sur de la zona Boca Colorado – Madre de Dios? •¿Cuáles serán los costos del diseño, construcción y operación de una mesa vibratoria IDRAKO NGU para tratar pre concentrado de oro del yacimiento Tres Estrellas del Sur de la zona Boca Colorado – Madre de Dios ? 	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>-Diseñar, construir y operar una mesa vibratoria IDRAKO NGU para tratar pre concentrados de oro provenientes del yacimiento Tres Estrellas del Sur de la zona Boca Colorado - Madre de Dios.</p> <p>OBJETIVO ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> •Determinar las características mineralógicas del pre concentrado de oro para el diseño, construcción y operación de una mesa vibratoria IDRAKO NGU del yacimiento Tres Estrellas de Sur en la zona Boca Colorado - Madre de Dios, a nivel de laboratorio. •Establecer las variables de control para el grado de inclinación, flujo de agua, intensidad de vibraciones para el diseño, construcción y operación de una mesa vibratoria IDRAKO NGU. •Evaluar la recuperación de oro teniendo en cuenta el grado de inclinación, flujo de agua e intensidad de vibraciones de una mesa vibratoria IDRAKO NGU para mejorar la recuperación de oro. •Determinar los costos de diseño, construcción y operación de una mesa vibratoria IDRAKO NGU para tratar pre concentrado de oro del yacimiento Tres Estrellas del Sur de la zona Boca Colorado – Madre de Dios 	<p>HIPÓTESIS GENERAL</p> <p>El diseño, construcción y operación de una mesa vibratoria IDRAKO NGU es eficiente para recuperar oro de pre concentrados y evita el uso del mercurio del yacimiento Tres Estrellas del Sur de la zona Boca Colorado – Madre de Dios</p> <p>HIPÓTESIS ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> •El pre concentrado de oro proveniente del yacimiento aluvial Tres Estrellas del Sur tiene una forma y tamaño adecuado con contenido metálico de 70 g/TM de oro óptimo para el diseño, construcción y operación de una mesa vibratoria IDRAKO NGU. •Las variables como: grado de inclinación, flujo de agua, intensidad de vibraciones son óptimos para el tratamiento de pre concentrado de oro del yacimiento Tres Estrellas del Sur de la zona Boca Colorado – Madre de Dios. •La recuperación de oro es óptima utilizando una mesa vibratoria IDRAKO NGU del yacimiento Tres Estrellas del Sur de la zona Boca Colorado – Madre de Dios. •Los costos de diseño, construcción y operación de una mesa vibratoria IDRAKO NGU son bajos con respecto a otras mesas vibratorias producidas en fábrica. 	<p>VARIABLE DEPENDIENTE</p> <p>-Recuperación de oro</p> <p>INDICADOR</p> <ul style="list-style-type: none"> • En porcentaje <p>VARIABLE INDEPENDIENTE</p> <p>-Diseño -Construcción -Operación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Grado de inclinación • Flujo de agua • Intensidad de las vibraciones <p>INDICADORES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dimensión • Costos • Grados sexagesimales • L/min • Hertz 	<p>INVESTIGACIÓN APLICADA – TECNOLÓGICA</p> <p>TIPO DE INVESTIGACIÓN</p> <p>Cuantitativo, experimental, deductivo y analítico.</p> <p>NIVEL DE INVESTIGACIÓN</p> <p>-Descriptivo -Explicativo</p> <p>POBLACIÓN</p> <p>Diseño de concentradores gravimétricos tipo mesas vibratorias para tratar pre concentrado de oro.</p> <p>MUESTRA</p> <p>Diseño, construcción y operación de una mesa vibratoria para tratar pre concentrado de oro.</p>

Fuente: Troncoso, J.F. y Trujillo, D. (2020)

ANEXO 2: DIMENSIONES COMERCIALES DE TUBERÍA PVC.

RDE	Presión de trabajo a 23 °C (psi)	Diámetro nominal		Masa kg/m	Diámetro exterior		Diámetro interior Mm
		Mm	Pulg		mm	pulg	
9	500	21	½	0.22	21.34	0.840	16.60
11	400	26	¾	0.30	26.67	1.050	21.81
13.5	315	21	½	0.16	21.34	0.840	18.18
		33	1	0.36	33.40	1.315	28.48
21	200	26	¾	0.19	26.67	1.050	23.63
		33	1	0.25	33.40	1.315	30.20
		42	1 ¼	0.40	42.16	1.660	38.14
		48	1 ½	0.51	48.26	1.900	43.68
		60	2	0.81	60.32	2.375	54.58
		73	2 ½	1.18	73.03	2.875	66.07
		88	3	1.76	88.90	3.500	80.42
		114	4	2.90	114.30	4.500	103.42
26	160	60	2	0.66	60.32	2.375	55.70
		73	2 ½	0.96	73.03	2.875	67.45
		88	3	1.44	88.90	3.500	82.04
		114	4	2.38	114.30	4.500	105.52
32	125	88	3	1.16	88.9	3.500	83.42
		114	4	1.90	114.30	4.500	107.8
41	100	114	4	1.54	114.30	4.500	108.72

Fuente: Catalogos de tuberías PAVCO (2019)

ANEXO 3: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS ACEROS.

A) Propiedades del acero para resortes

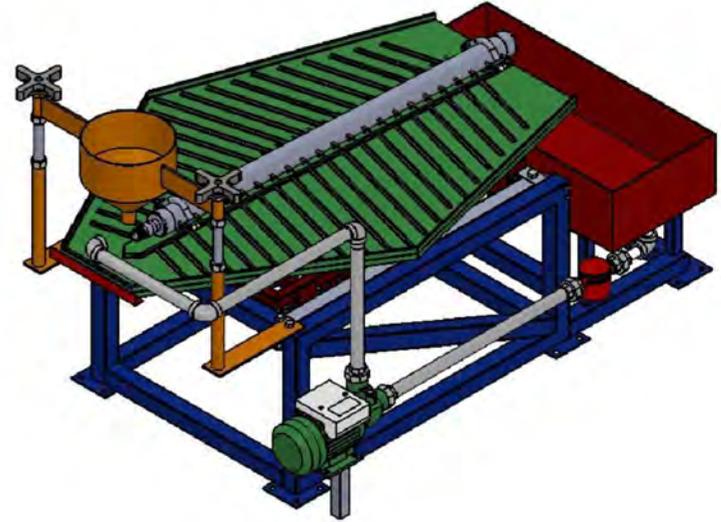
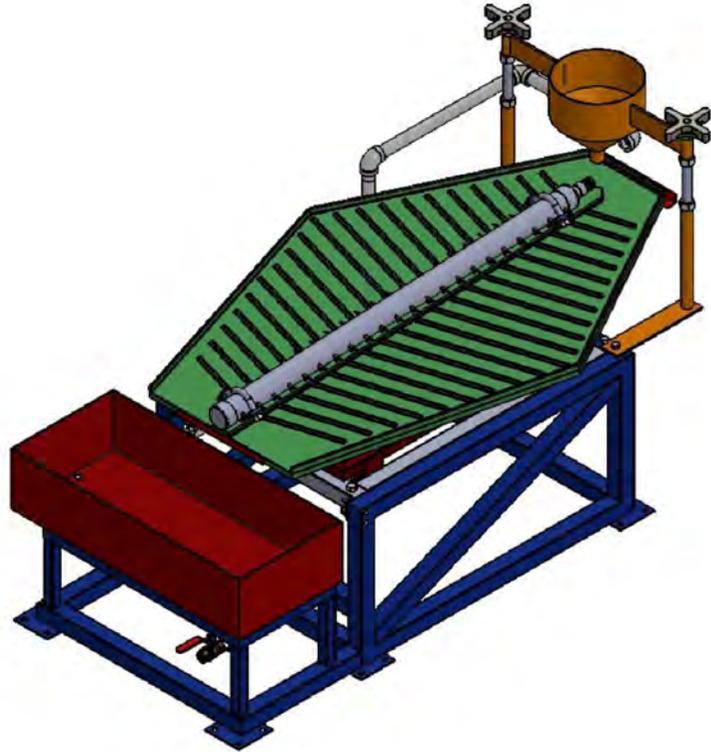
Material	Elastic Limit, Percent of S_{ut}		Diameter d , in	E		G	
	Tension	Torsion		Mpsi	GPa	Mpsi	GPa
Music wire A228	65-75	45-60	<0.032	29.5	203.4	12.0	82.7
			0.033-0.063	29.0	200	11.85	81.7
			0.064-0.125	28.5	196.5	11.75	81.0
			>0.125	28.0	193	11.6	80.0
HD spring A227	60-70	45-55	<0.032	28.8	198.6	11.7	80.7
			0.033-0.063	28.7	197.9	11.6	80.0
			0.064-0.125	28.6	197.2	11.5	79.3
			>0.125	28.5	196.5	11.4	78.6
Oil tempered A239	85-90	45-50		28.5	196.5	11.2	77.2
Valve spring A230	85-90	50-60		29.5	203.4	11.2	77.2
Chrome-vanadium A231	88-93	65-75		29.5	203.4	11.2	77.2
	A232	88-93		29.5	203.4	11.2	77.2
Chrome-silicon A401	85-93	65-75		29.5	203.4	11.2	77.2
Stainless steel A313*	65-75	45-55		28	193	10	69.0

Fuente: (Norton, Diseño de Maquinaria, 2000)

B) Constantes A y m

Material	ASTM No.	Exponent m	Diameter, in	A , kpsi · in ^m	Diameter, mm	A , MPa · mm ^m	Relative Cost of wire
Music wire*	A228	0.145	0.004-0.256	201	0.10-6.5	2211	2.6
QQ&T wire [†]	A229	0.187	0.020-0.500	147	0.5-12.7	1855	1.3
Hard-drawn wire [‡]	A227	0.190	0.028-0.500	140	0.7-12.7	1783	1.0
Chrome-vanadium wire [§]	A232	0.168	0.032-0.437	169	0.8-11.1	2005	3.1
Chrome-silicon wire	A401	0.108	0.063-0.375	202	1.6-9.5	1974	4.0
302 Stainless wire [#]	A313	0.146	0.013-0.10	169	0.3-2.5	1867	7.6-11
		0.263	0.10-0.20	128	2.5-5	2065	
		0.478	0.20-0.40	90	5-10	2911	

Fuente: (Norton, Diseño de Maquinaria, 2000)



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD
EL CUSCO**
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA UNSAAC

TESIS: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UNA MESA VIBRATORIA IDRAGO NGU PARA TRATAR PRE-CONCENTRADO DE ORO DEL YACIMIENTO TRES ESTRELLAS DEL SUR DE LA ZONA BOCA COLORADO - MADRE DE DIOS

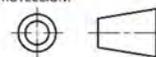
PLANO: **VISTAS ISOMETRICAS**

TESISTA: **TRONCOSO RICRA Jaison Fernando
TRUJILLO MEZA Denissa**

LAMINA:

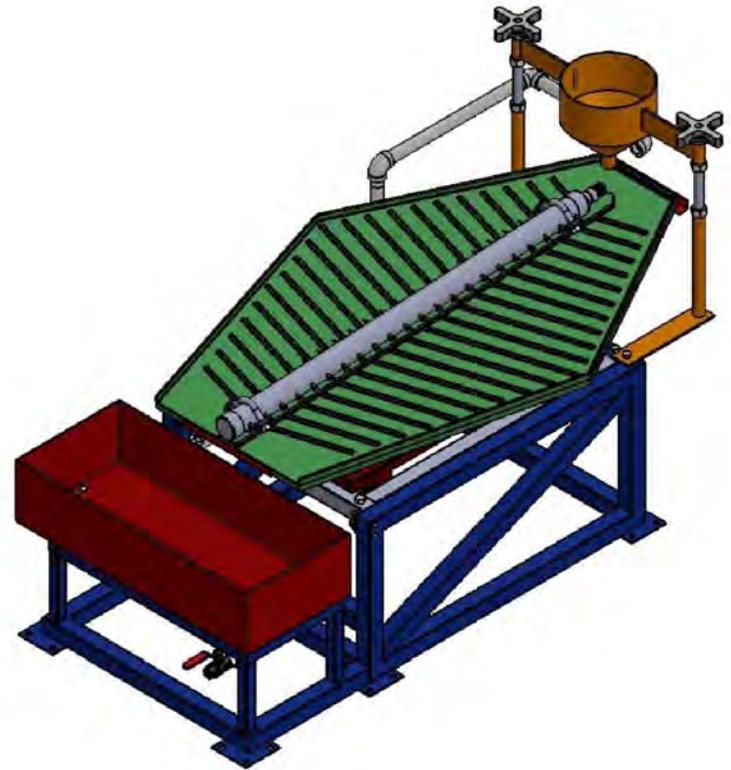
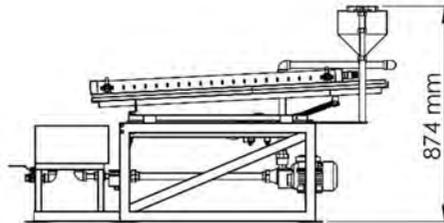
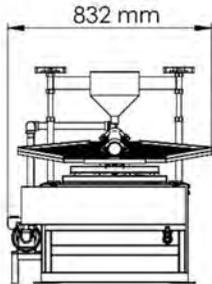
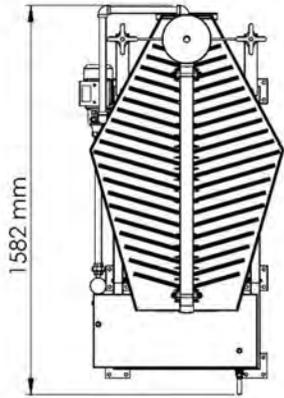
01.00.01

PROYECCION:

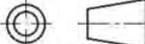


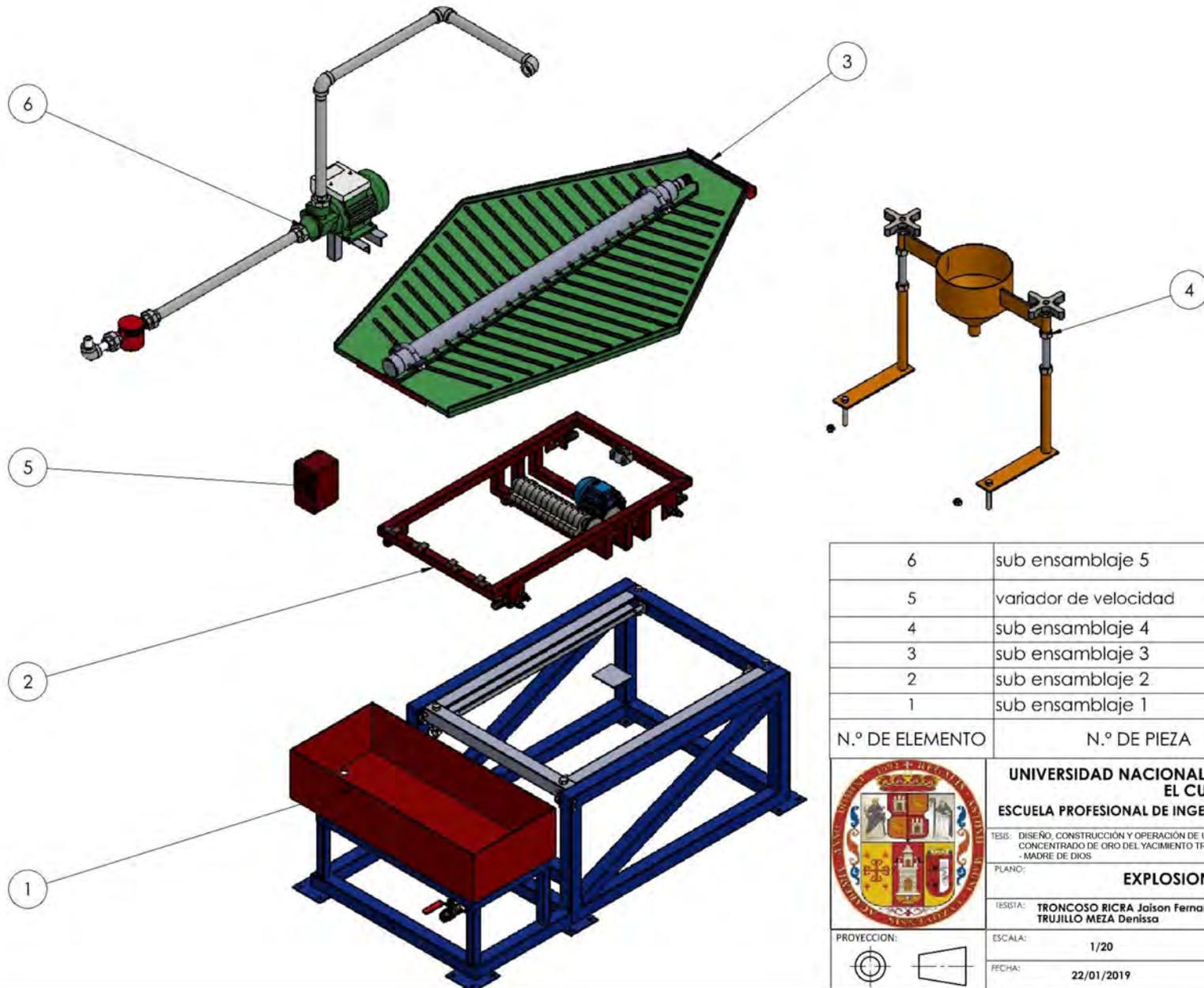
ESCALA: 1/20

FECHA: 22/01/2019



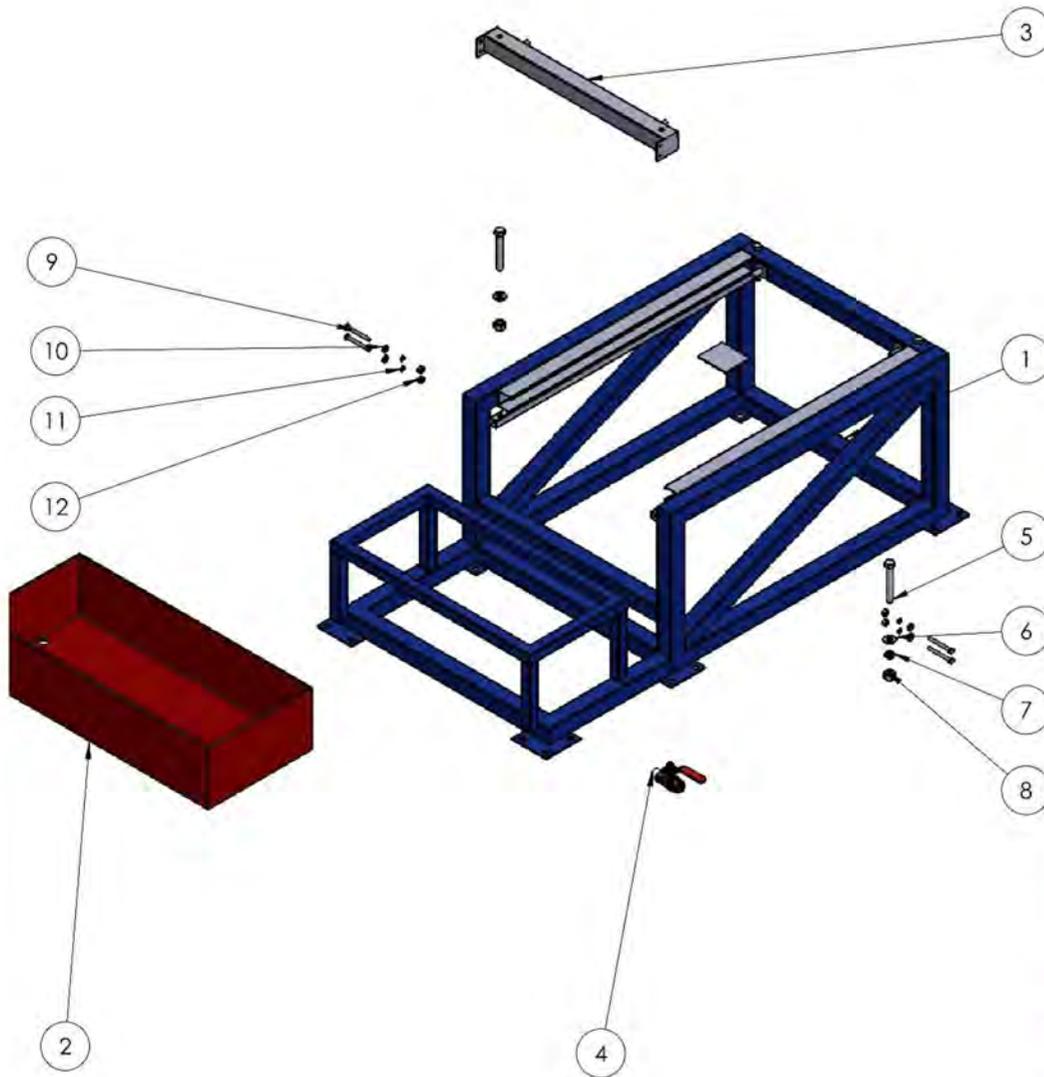
ISOMETRIA
ESCALA: 1/20

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD EL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA UNSAAC	
	<small>TESIS: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UNA MESA VIBRATORIA IDRAKO NGU PARA TRATAR PRE-CONCENTRADO DE ORO DEL YACIMIENTO TRES ESTRELLAS DEL SUR DE LA ZONA BOCA COLORADO MADRE DE DIOS</small>	
<small>PLANO:</small>	MEDIDAS GENERALES	
<small>TESISTA:</small>	TRONCOSO RICRA Jajson Fernando TRUJILLO MEZA Denissa	
<small>PROYECCION:</small>	<small>ESCALA:</small>	01.00.02
	1/30 <small>FECHA:</small>	
	22/01/2019	



6	sub ensamblaje 5	1
5	variador de velocidad	1
4	sub ensamblaje 4	1
3	sub ensamblaje 3	1
2	sub ensamblaje 2	1
1	sub ensamblaje 1	1
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD EL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA UNSAAC	
	<small>TESIS: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UNA MESA VIBRATORIA IDRAKO NGU PARA TRATAR PRE CONCENTRADO DE ORO DEL YACIMIENTO TRES ESTRELLAS DEL SUR DE LA ZONA BOCA COLORADO -MADRE DE DIOS</small>	
PLANO: EXPLOSION		
TESISIA: TRONCOSO RICRA Jaison Fernando TRUJILLO MEZA Denissa	ESCALA: 1/20	01.00.03
PROYECCION:	FECHA: 22/01/2019	



12	tuerca de 1/4"	4
11	arandela de seguridad de 1/4"	4
10	arandela de 1/4"	4
9	perno 1/4" x 2.5"	4
8	tuerca de 1/2"	2
7	arandela de seguridad de 1/2"	2
6	arandela de 1/2"	2
5	perno 1/2" x 3.5"	2
4	valvula esferica de 1/2"	1
3	barra soporte delantero	1
2	tolva	1
1	cuerpo	1
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD



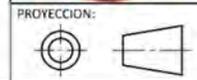
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD
EL CUSCO**
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA UNSAAC

TESIS: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACION DE UNA MESA VIBRATORIA IDRAKO NGU PARA TRATAR PRE CONCENTRADO DE ORO DEL YACIMIENTO TRES ESTRELLAS DEL SUR DE LA ZONA BOCA COLORADO - MADRE DE DIOS

PLANO: **EXPLOSION sub ensamblaje 1**

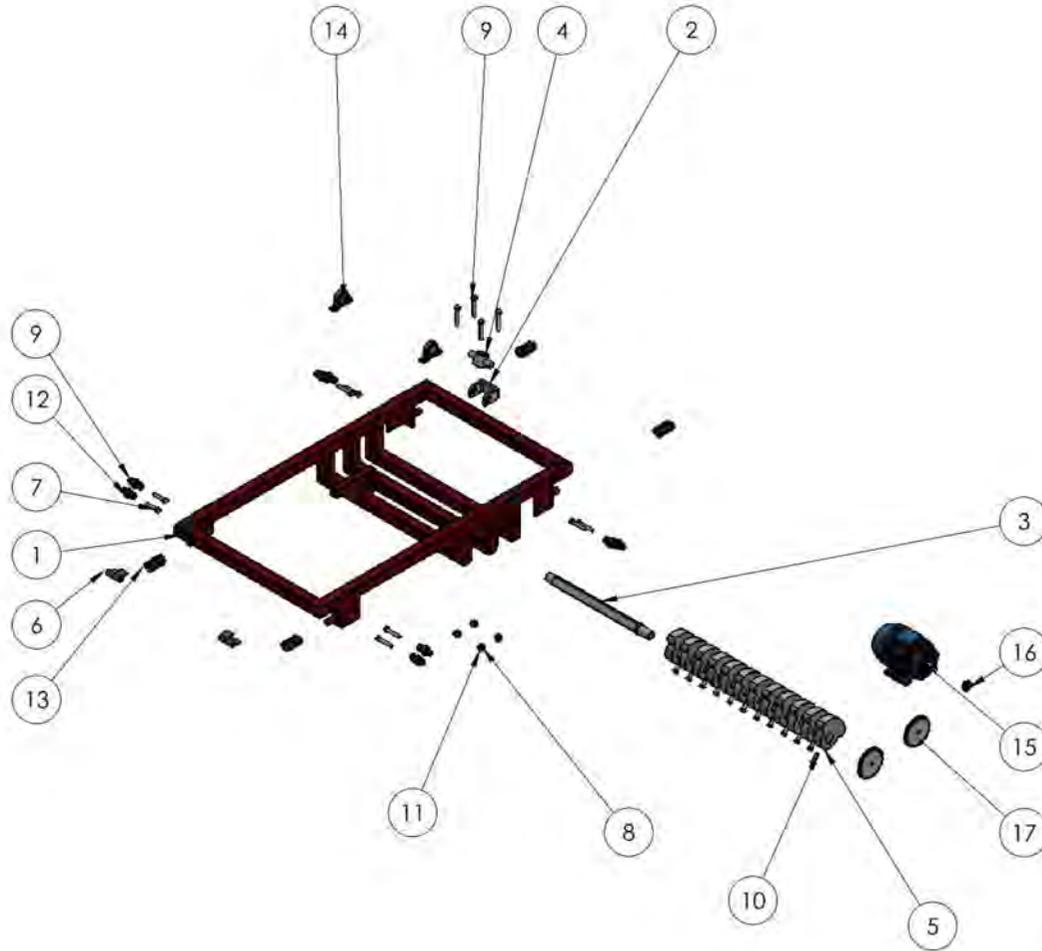
TESISTA: **TRONCOSO RICRA Jaison Fernando
TRUJILLO MEZA Denissa**

LAMINA: **01.01.00**



ESCALA: **1/20**

FECHA: **22/01/2019**



17	ENGRANAJE DE 35 DIENTES	2
16	ENGRANAJE DE 10 DIENTES	1
15	MOTOR ELECTRICO 0.5 HP	1
14	chumacera 3/4	2
13	resorte	4
12	rodamiento SKF 626 de 8mm	8
11	fuerca 1/2"	4
10	tomillo 1/4" x 3/4"	12
9	tomillo 1/2" x 2"	4
8	arandela de seguridad 1/4"	8
7	tomillo 1/4" x 1 1/2"	8
6	bisagra DIY 2"	4
5	contrapeso 0.5kg	12
4	pivote de Varilla de altura	1
3	eje de contrapeso	1
2	anclaje de pivote	1
1	soporte de motor	1
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD
EL CUSCO**
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA UNSAAC

TESIS: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UNA MESA VIBRATORIA (BRAKO NGU) PARA TRATAR PRE-CONCENTRADO DE ORO DEL YACIMIENTO TRES ESTRELLAS DEL SUR DE LA ZONA BOCA COLORADO - MADRE DE DIOS

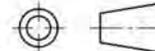
PLANO: **EXPLOSION sub ensamble 2**

TESISTA: **TRONCOSO RICRA Jalsón Fernando
TRUJILLO MEZA Denissa**

LÁMINA:

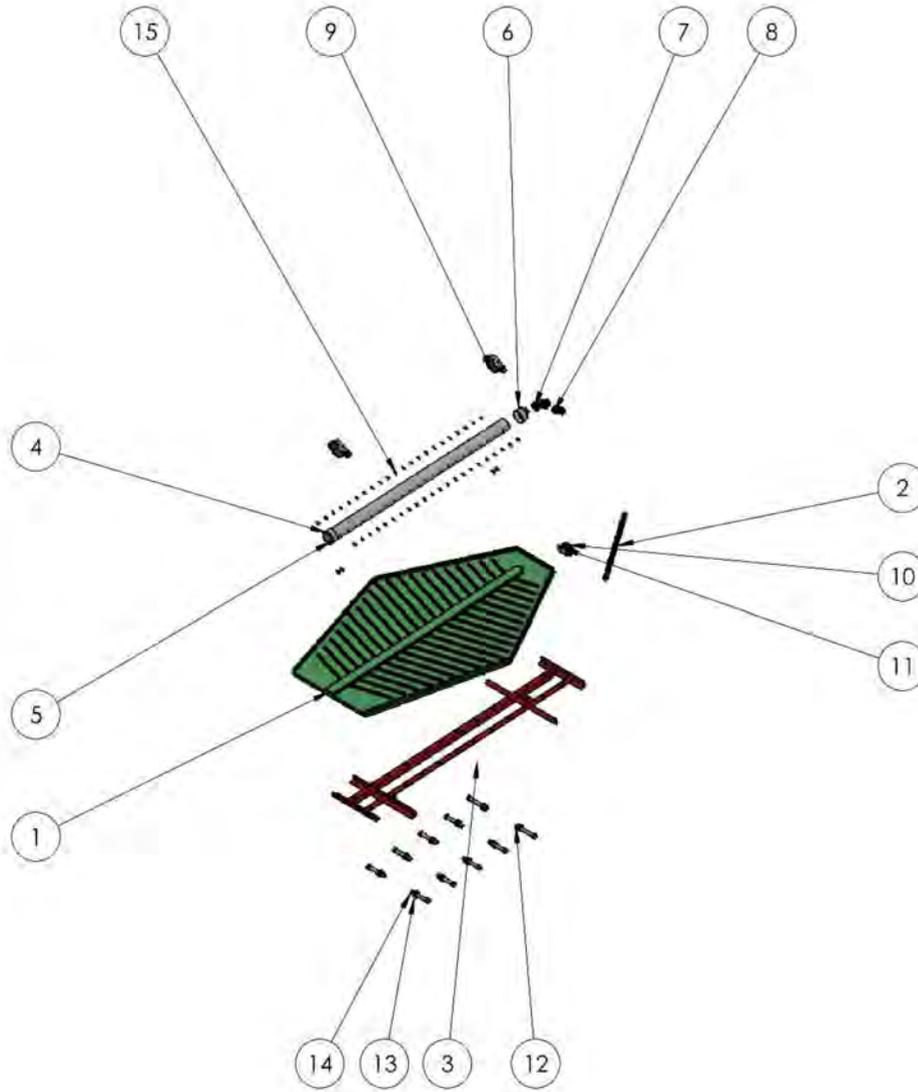
01.02.00

PROYECCION:



ESCALA: 1/20

FECHA: 22/01/2019



15	regulador	44
14	tornillo de 1/2" x4"	10
14	arandela de 1/2"	10
12	tuerca de 1/2"	10
11	pivote de Varilla de altura	1
10	anclaje de pivote	1
9	grapa o abrazadera de 90° para tubo de 2"	2
8	adaptador de tubo a manguera flexible de 1"	1
7	codo de PVC 1"	1
6	reductor de PVC de 2 " a 1"	1
5	tapa de tubo de PVC de 2"	1
4	tubo de PVC de 2' perforado	1
3	marco base	1
2	barilla roscada	1
1	tabla	1
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD
EL CUSCO**
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA UNSAAC

TESIS: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UNA MESA VIBRATORIA IDRAGO NGU PARA TRATAR PRE CONCENTRADO DE ORO DEL YACIMIENTO TRES ESTRELLAS DEL SUR DE LA ZONA BOCA COLORADO - MADRE DE DIOS

PLANO: **EXPLOSION sub ensablaje 3**

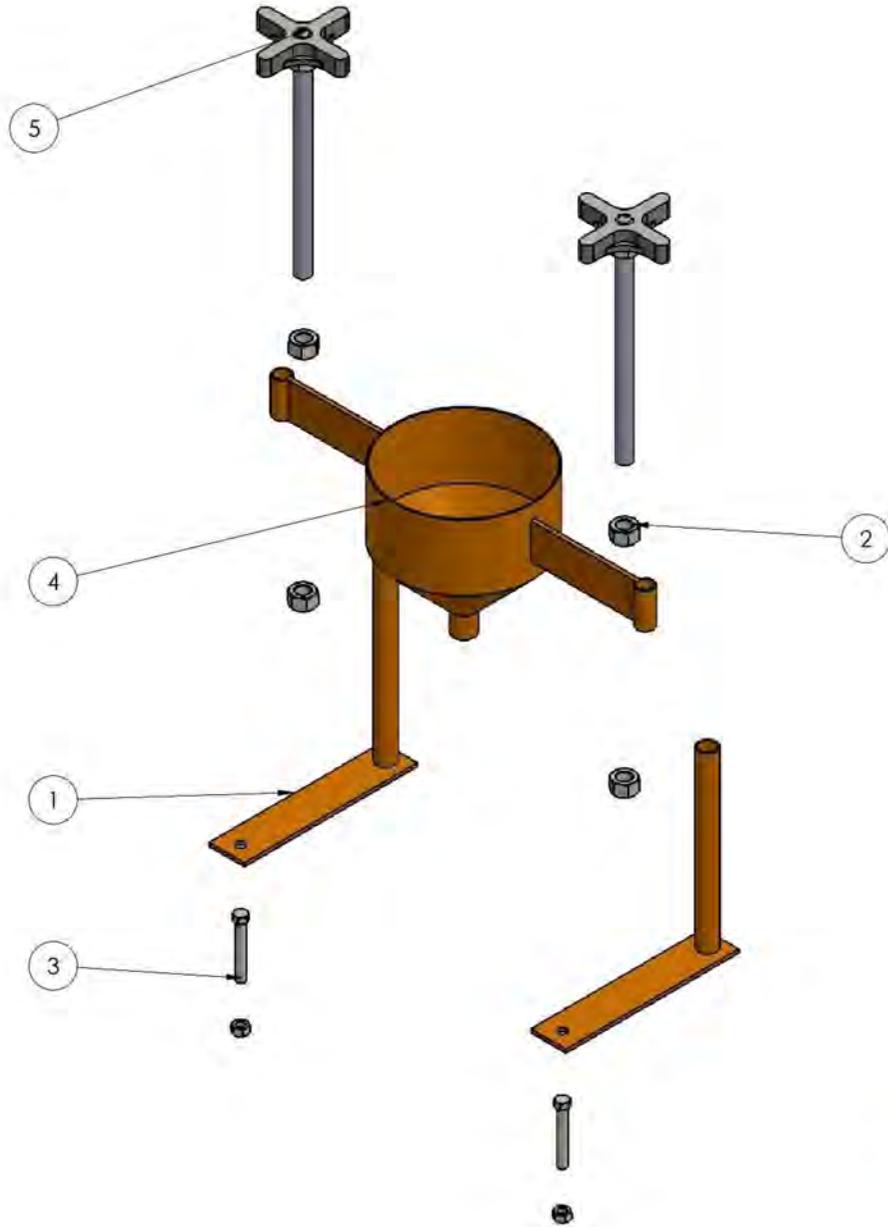
TESISTA: **TRONCOSO RICRA Jalsón Fernando
TRUJILLO MEZA Denissa**

LAVRA:



ESCALA: 1/30
FECHA: 22/01/2019

01.03.00



5	barrilla roscada	2
4	folva	1
3	tuerca de 3/4"	2
2	tornillo 3/4" x 3"	6
1	pata	2
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD
EL CUSCO**
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA UNSAAC

TESS: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UNA MESA VIBRATORIA IDRAKO NGU PARA TRATAR PRE-CONCENTRADO DE ORO DEL YACIMIENTO TRES ESTRELLAS DEL SUR DE LA ZONA BOCA COLORADO - MADRE DE DIOS

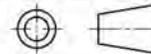
PLANO: **EXPLOSION sub ensamble 4**

TESISA: **TRONCOSO RICRA Jaison Fernando
TRUJILLO MEZA Denissa**

LAMINA:

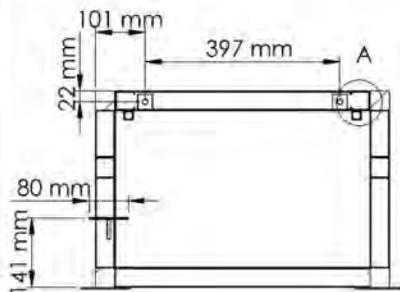
01.04.00

PROYECCION:

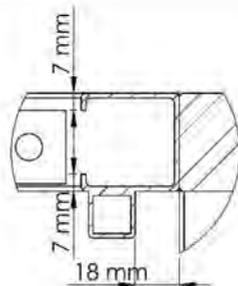


ESCALA: 1/10

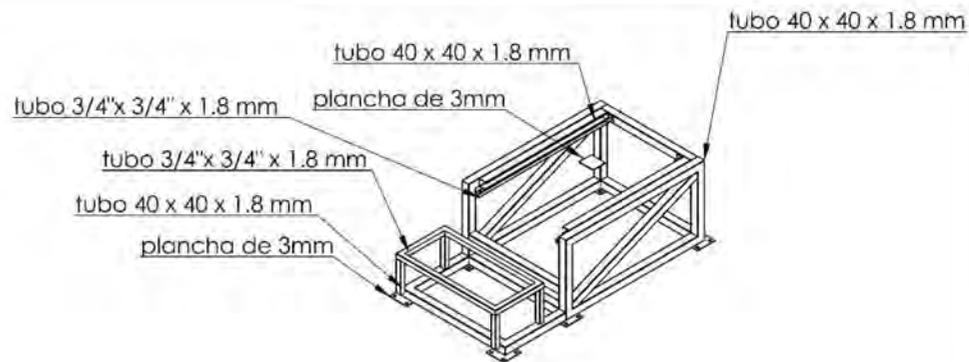
FECHA: 22/01/2019



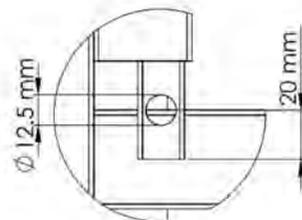
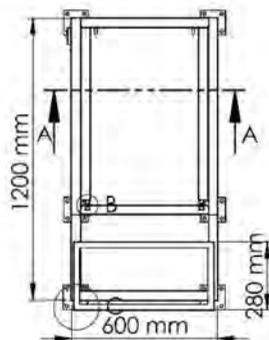
SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 10



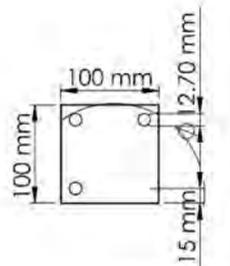
DETALLE A
ESCALA 1 : 2



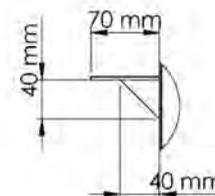
ISOMETRIA
ESCALA: 1/30



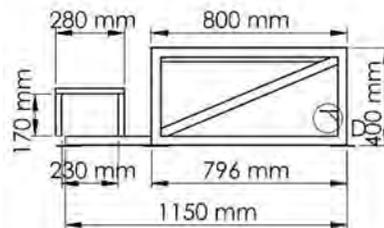
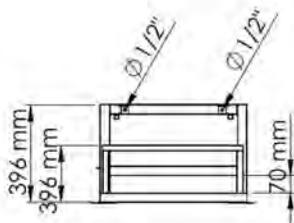
DETALLE B
ESCALA 1 : 2



DETALLE C
ESCALA 1 : 5



DETALLE D
ESCALA 1 : 5



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD
EL CUSCO**
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA UNSAAC

TÍTULO: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UNA MESA VIBRATORIA IBERANO NGU PARA TRATAR PRE CONCENTRADO DE ORO DEL YACIMIENTO TRES ESTRELLAS DEL SUR DE LA ZONA BOCA COLORADO - MADRE DE DIOS

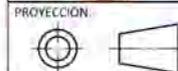
PLANO:

Cuerpo

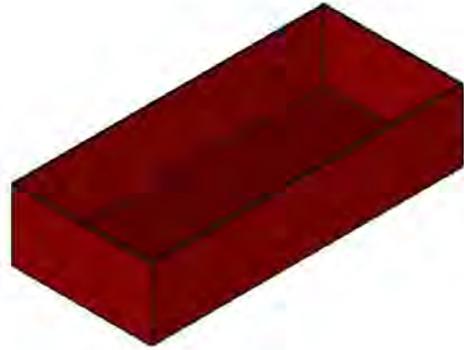
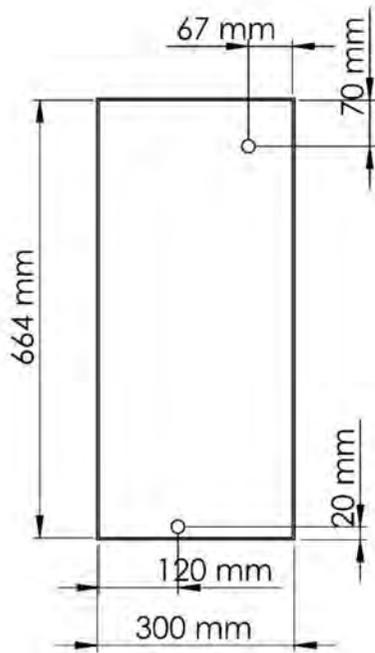
PROYECTISTA: **TRONCOSO RICRA Jaisan Fernando**
TRUJILLO MEZA Deniso

ESCALA: 1/30

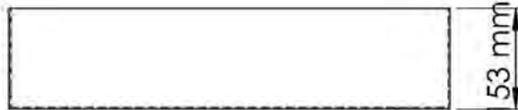
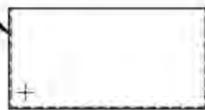
FECHA: 22/01/2019



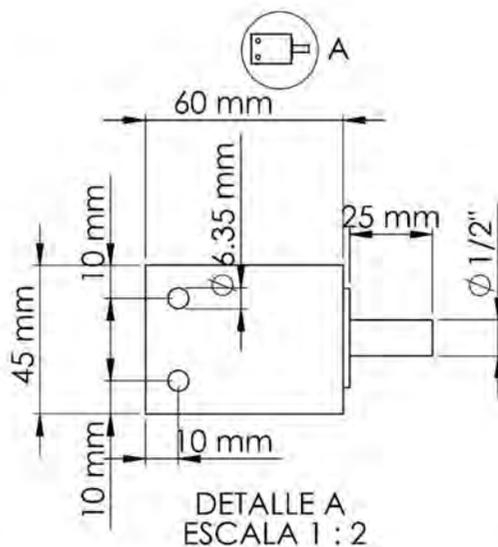
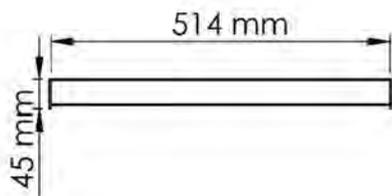
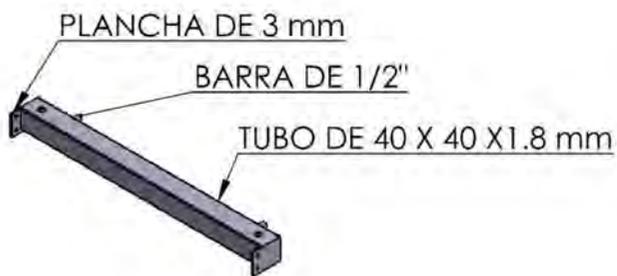
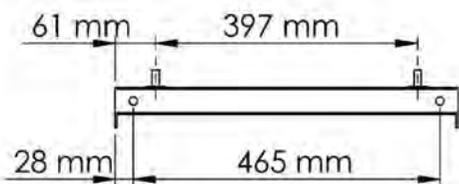
01.01.01



PLANCHA DE ACERO DE 2mm



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD EL CUSCO	
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA UNSAAC	
	TESIS: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UNA MESA VIBRATORIA IDRAGO NGU PARA TRATAR PRE CONCENTRADO DE ORO DEL YACIMIENTO TRES ESTRELLAS DEL SUR DE LA ZONA BOCA COLORADO - MADRE DE DIOS	
	PLANO: Depósito de agua	
PROYECCION: 	TESISITA: TRONCOSO RICRA Jaison Fernando TRUJILLO MEZA Denissa	LAMINA: 01.01.02
	ESCALA: 1/15	
	FECHA: 22/01/2019	



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

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA UNSAAC

TESIS: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACION DE UNA MESA VIBRATORIA IDRAGO NGU PARA TRATAR PRE CONCENTRADO DE ORO DEL YACIMIENTO TRES ESTRELLAS DEL SUR DE LA ZONA BOCA COLORADO - MADRE DE DIOS

PLANO:

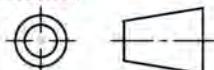
BARRA SOPORTE DELANTERO

TESISTA: **TRONCOSO RICRA Jaison Fernando
TRUJILLO MEZA Denissa**

LAMINA:

01.01.03

PROYECCION:

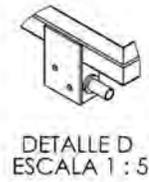
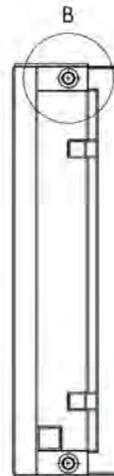
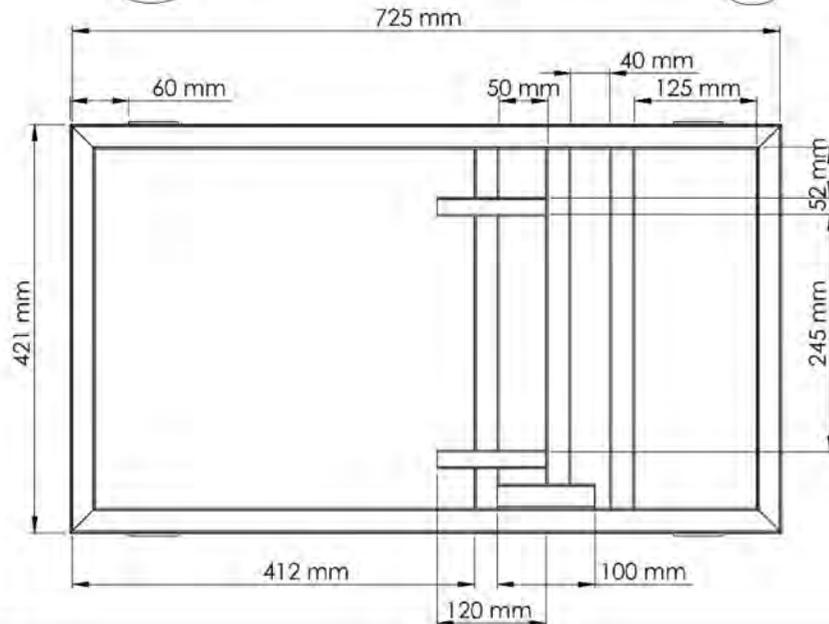
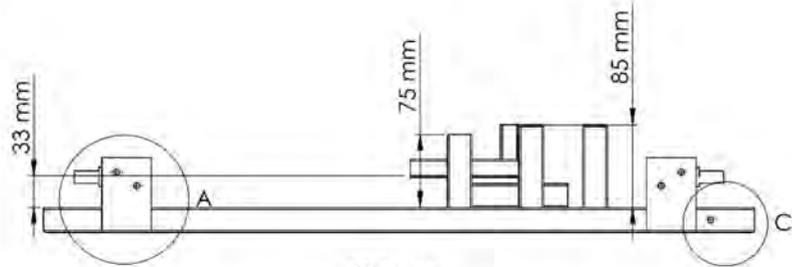
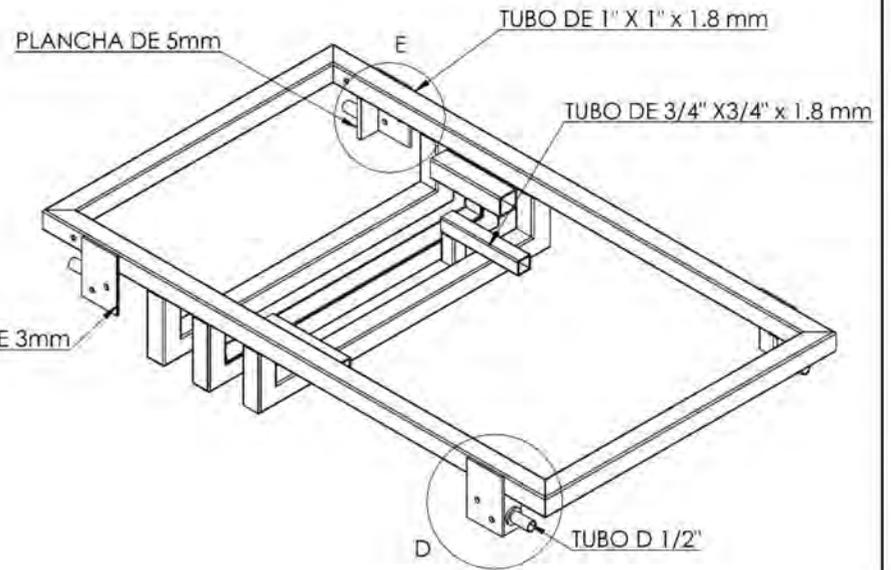
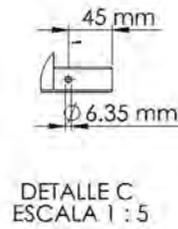
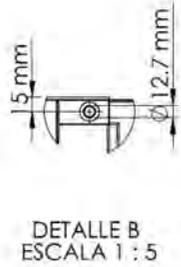
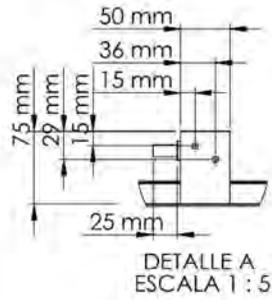


ESCALA:

1/10

FECHA:

22/01/2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD
EL CUSCO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA UNSAAC

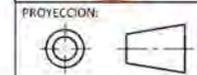
TESIS: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACION DE UNA MESA VIBRATORIA IDRAKO NGU PARA TRATAR PRE CONCENTRADO DE URTO DEL YACIMIENTO TRES ESTRELLAS DEL SUR DE LA ZONA BOCA COLORADO - MADRE DE DIOS

PLANO: **SOPORTE DEL MOTOR**

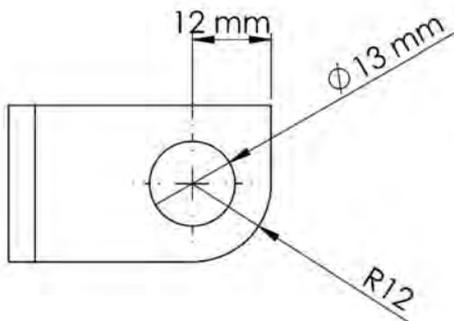
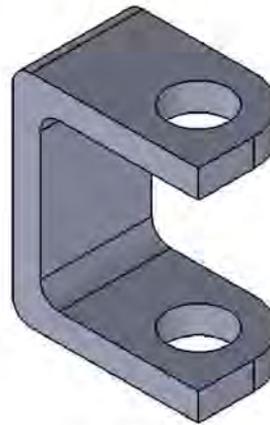
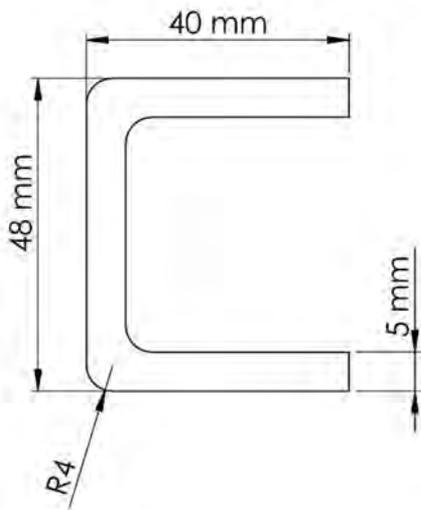
TESISTA: **TRONCOSO RICRA Jaiison Fernando TRUJILLO MEZA Denissa**

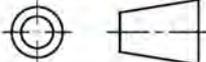
ESCALA: 1/10

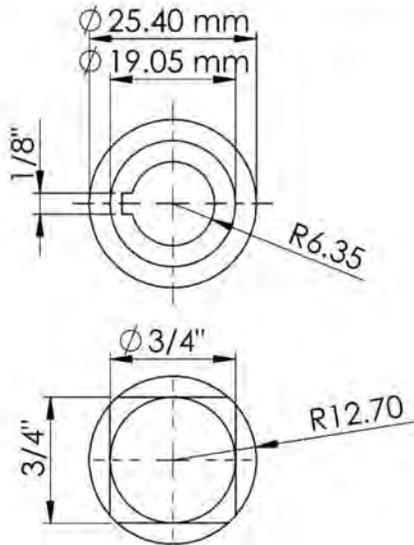
FECHA: 22/01/2019



01.02.01



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD EL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA UNSAAC	
	TESIS: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UNA MESA VIBRATORIA IDRAGO NGU PARA TRATAR PRE CONCENTRADO DE ORO DEL YACIMIENTO TRES ESTRELLAS DEL SUR DE LA ZONA BOCA COLORADO - MADRE DE DIOS	
	PLANO: ANCLAJE DE PIVOTE	
	TESISISTA: TRONCOSO RICRA Jaison Fernando TRUJILLO MEZA Denissa	
PROYECCION: 	ESCALA: 1/1 FECHA: 22/01/2019	LAMINA: 01.02.02



ESCALA: 1/1



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

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA UNSAAC

TESIS: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UNA MESA VIBRATORIA IDRACO NGU PARA TRATAR PRE CONCENTRADO DE ORO DEL YACIMIENTO TRES ESTRELLAS DEL SUR DE LA ZONA BOCA COLORADO - MADRE DE DIOS

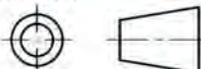
PLANO: **EJE DE CONTRAPESO**

TESISTA: **TRONCOSO RICRA Jaison Fernando
TRUJILLO MEZA Denissa**

LÁMINA:

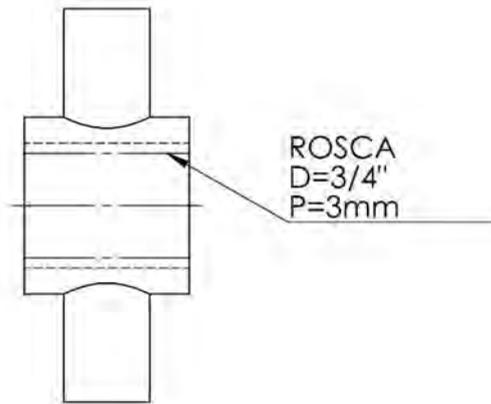
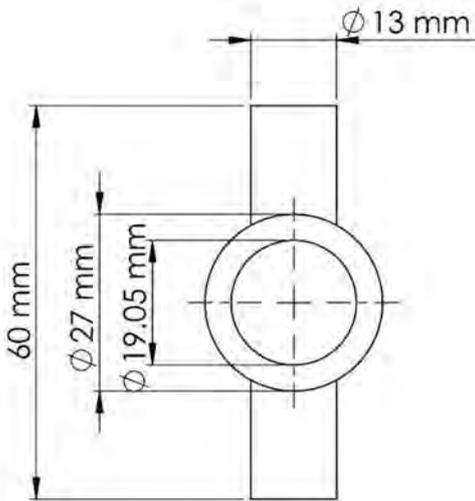
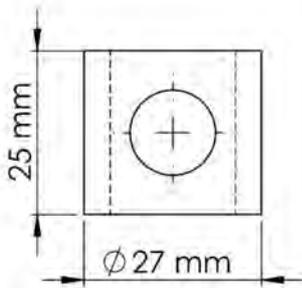
01.02.03

PROYECCION:



ESCALA: **1/10**

FECHA: **22/01/2019**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD
EL CUSCO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA UNSAAC**

TESIS: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UNA MESA VIBRATORIA IDRAGO NGU PARA TRATAR PRE CONCENTRADO DE ORO DEL YACIMIENTO TRES ESTRELLAS DEL SUR DE LA ZONA BOCA COLORADO - MADRE DE DIOS

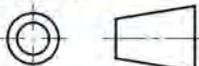
PLANO: **PIVOTE DE VARILLA DE ALTURA**

TESISTA: **TRONCOSO RICRA Jaison Fernando
TRUJILLO MEZA Denissa**

LAMINA:

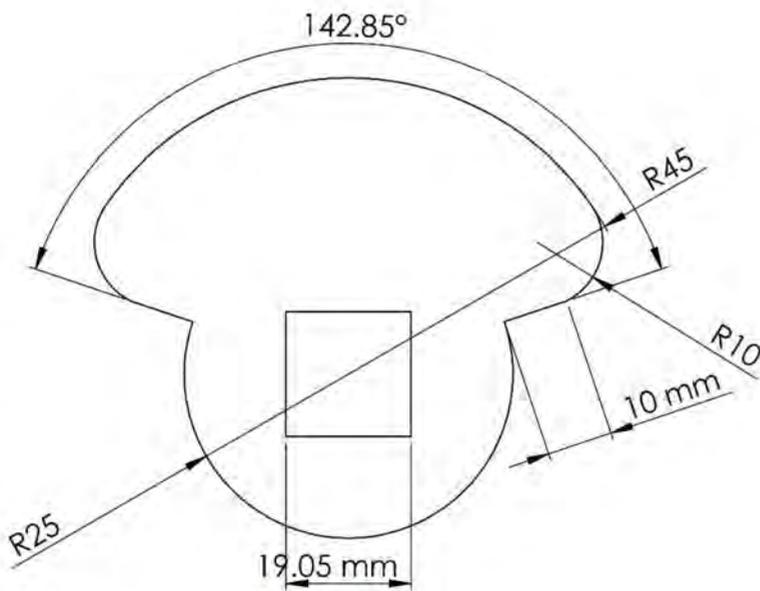
01.02.04

PROYECCION:



ESCALA: 1/1

FECHA: 22/01/2019



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD
EL CUSCO**
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA UNSAAC

TESIS: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UNA MESA VIBRATORIA IDRAGO NGU PARA TRATAR PRE CONCENTRADO DE ORO DEL YACIMIENTO TRES ESTRELLAS DEL SUR DE LA ZONA BOCA COLORADO - MADRE DE DIOS

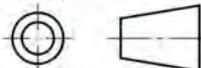
PLANO: **CONTRAPESO**

TESISTA: **TRONCOSO RICRA Jaison Fernando
TRUJILLO MEZA Denissa**

LAMINA:

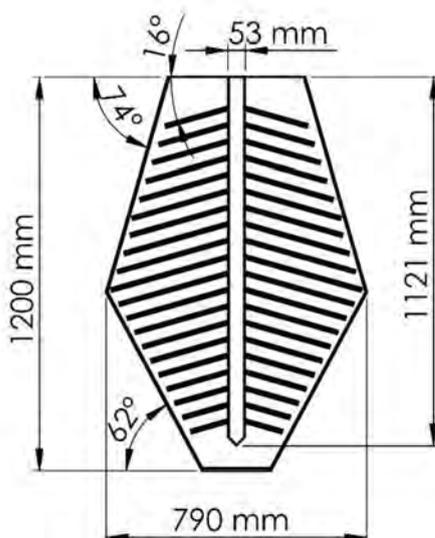
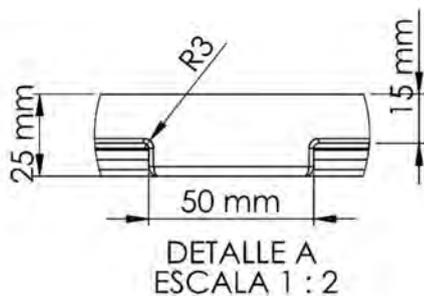
01.02.05

PROYECCION:



ESCALA: 1/1

FECHA: 22/01/2019



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD
EL CUSCO**
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA UNSAAC

TESISTA: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UNA MESA VIBRATORIA IDRAKO NGU PARA TRATAR PRE CONCENTRADO DE ORO DEL YACIMIENTO TRES ESTRELLAS DEL SUR DE LA ZONA BOCA COLORADO - MADRE DE DIOS

PLANO:

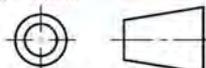
Tablero 1

TESISTA: **TRONCOSO RICRA Jaison Fernando
TRUJILLO MEZA Denissa**

LAMINA:

01.03.01

PROYECCION:

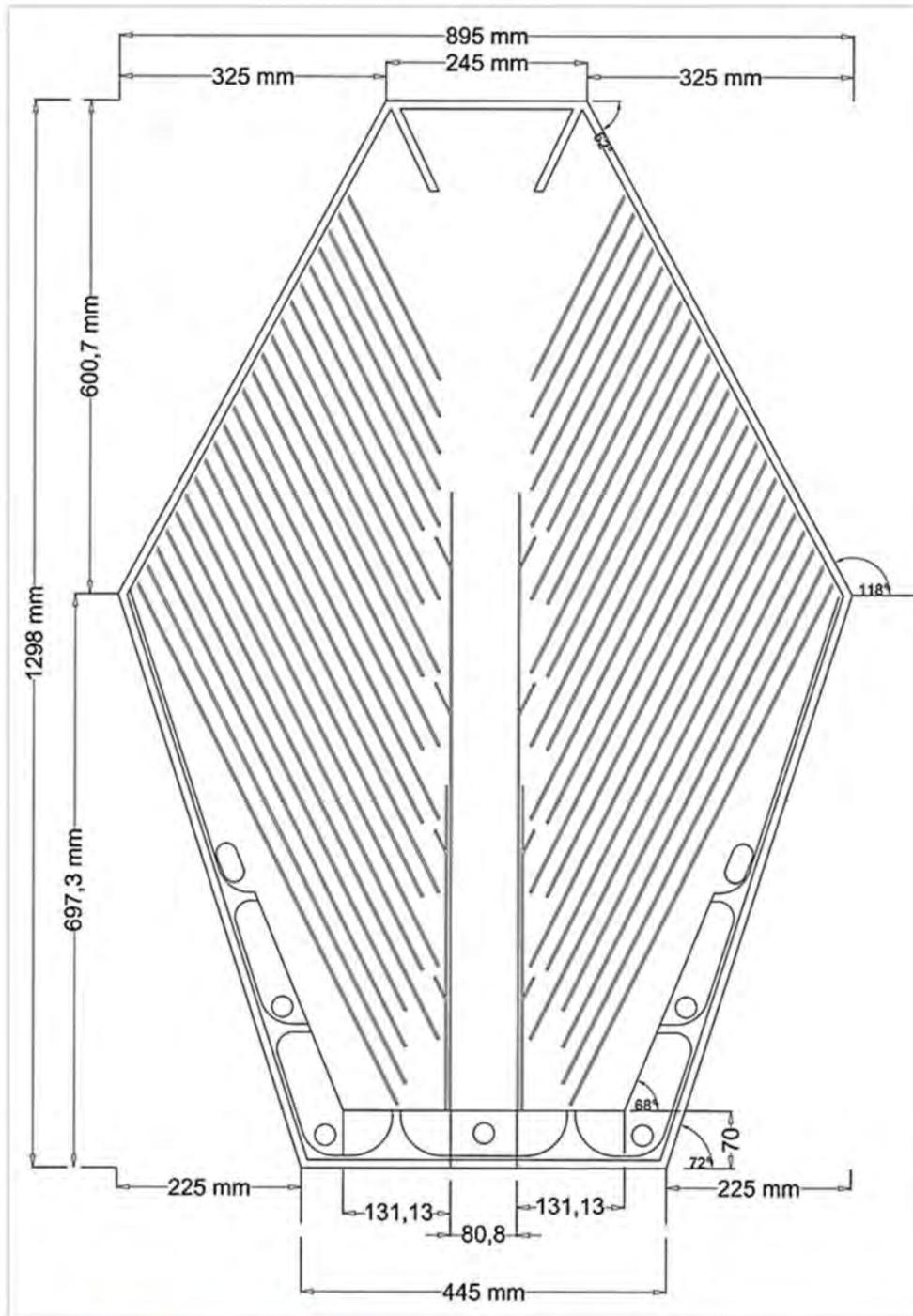


ESCALA:

1/25

FECHA:

22/01/2019



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD
EL CUSCO**
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA UNSAAC

TESIS: DISEÑO, CONSTRUCCION Y OPERACION DE UNA MESA VIBRATORIA IDRAGO NGU PARA TRATAR PRE CONCENTRADO DE ORO DEL YACIMIENTO TRES ESTRELLAS DEL SUR DE LA ZONA BOCA COLORADO - MADRE DE DIOS

PLANO:

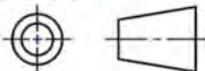
Tablero 2

TESISTA: **TRONCOSO RICRA Jaison Fernando**
TRUJILLO MEZA Denissa

LAMINA:

01.03.02

PROYECCION:

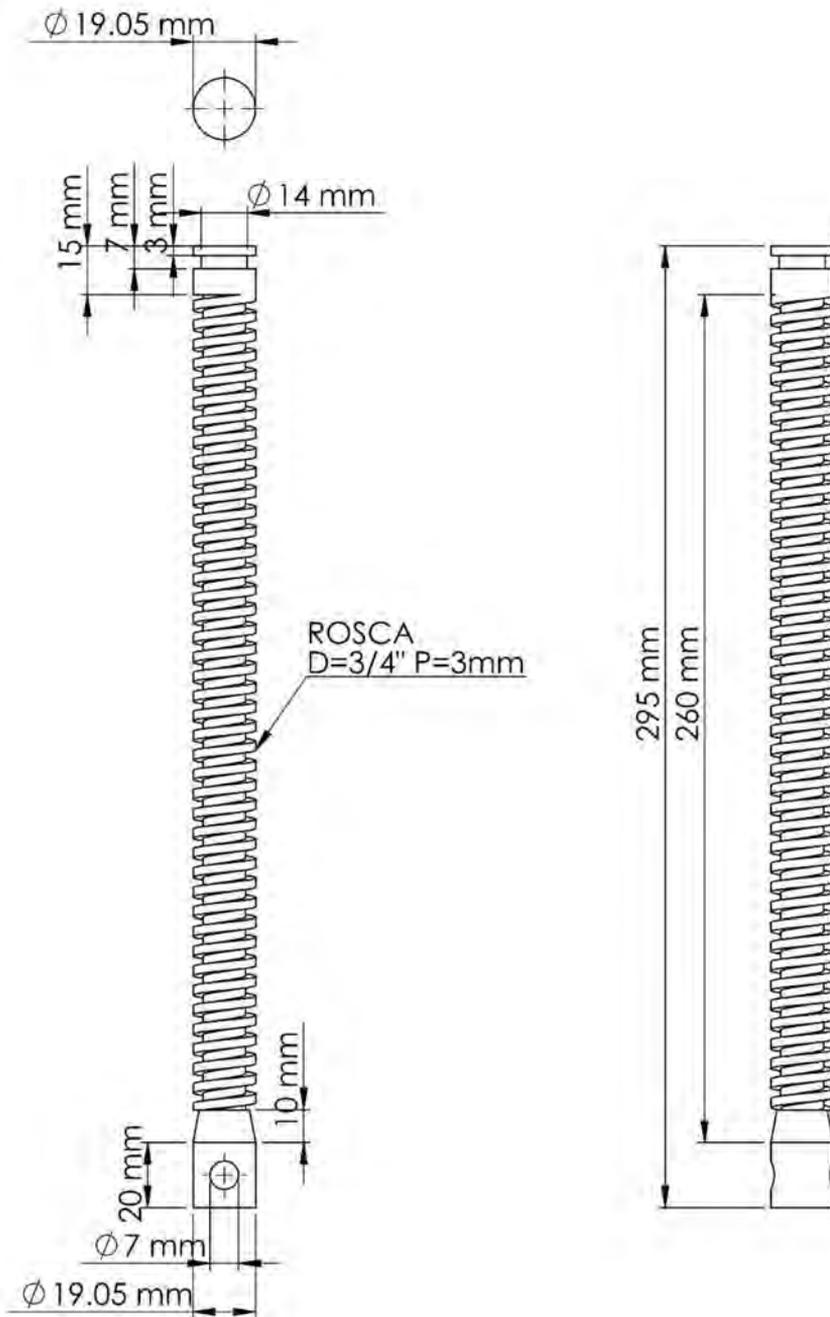


ESCALA:

1/8

FECHA:

22/01/2019



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD
EL CUSCO**
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA UNSAAC

TESIS: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UNA MESA VIBRATORIA IDRAGO NGU PARA TRATAR PRE CONCENTRADO DE ORO DEL YACIMIENTO TRES ESTRELLAS DEL SUR DE LA ZONA BOCA COLORADO - MADRE DE DIOS

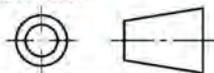
PLANO: **VARILLA ROSCADA**

TESISTA: **TRONCOSO RICRA Jaison Fernando**
TRUJILLO MEZA Denissa

LAMINA

01.03.03

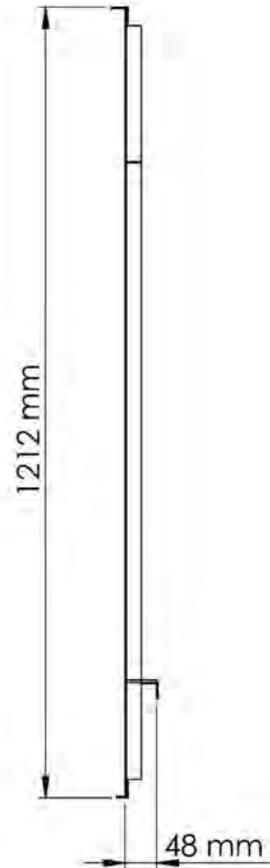
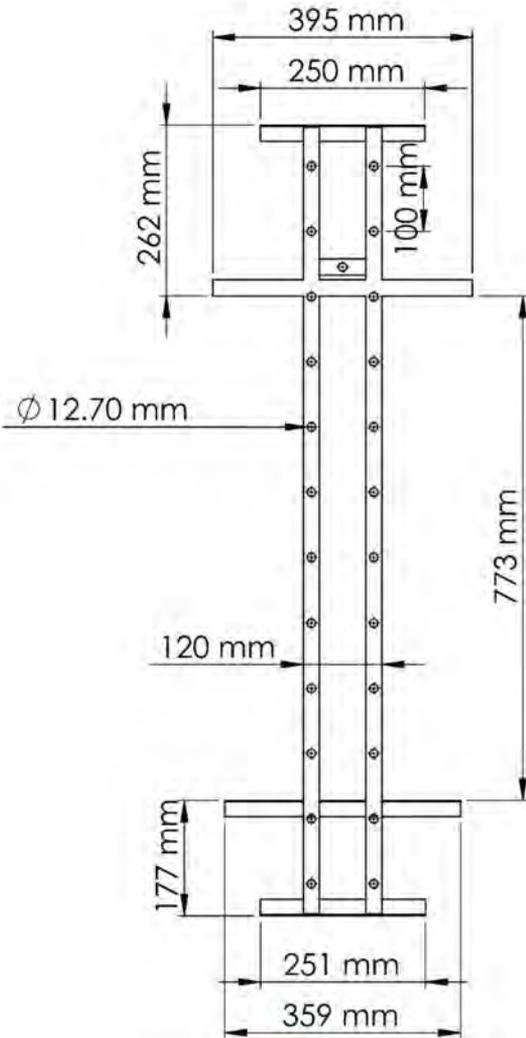
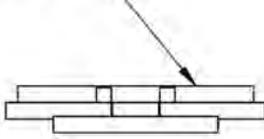
PROYECCION:



ESCALA: **1/3**

FECHA: **22/01/2019**

ANGULAR 1" X 1.8 mm



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

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA UNSAAC

TESIS: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UNA MESA VIBRATORIA IDRAKO NGU PARA TRATAR PRE CONCENTRADO DE ORO DEL YACIMIENTO TRES ESTRELLAS DEL SUR DE LA ZONA BOCA COLORADO - MADRE DE DIOS

PLANO:

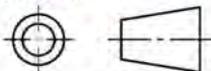
MARCO BASE DEL TABLERO

TESISTA: **TRONCOSO RICRA Jaison Fernando
TRUJILLO MEZA Denissa**

LÁMINA:

01.03.04

PROYECCION:

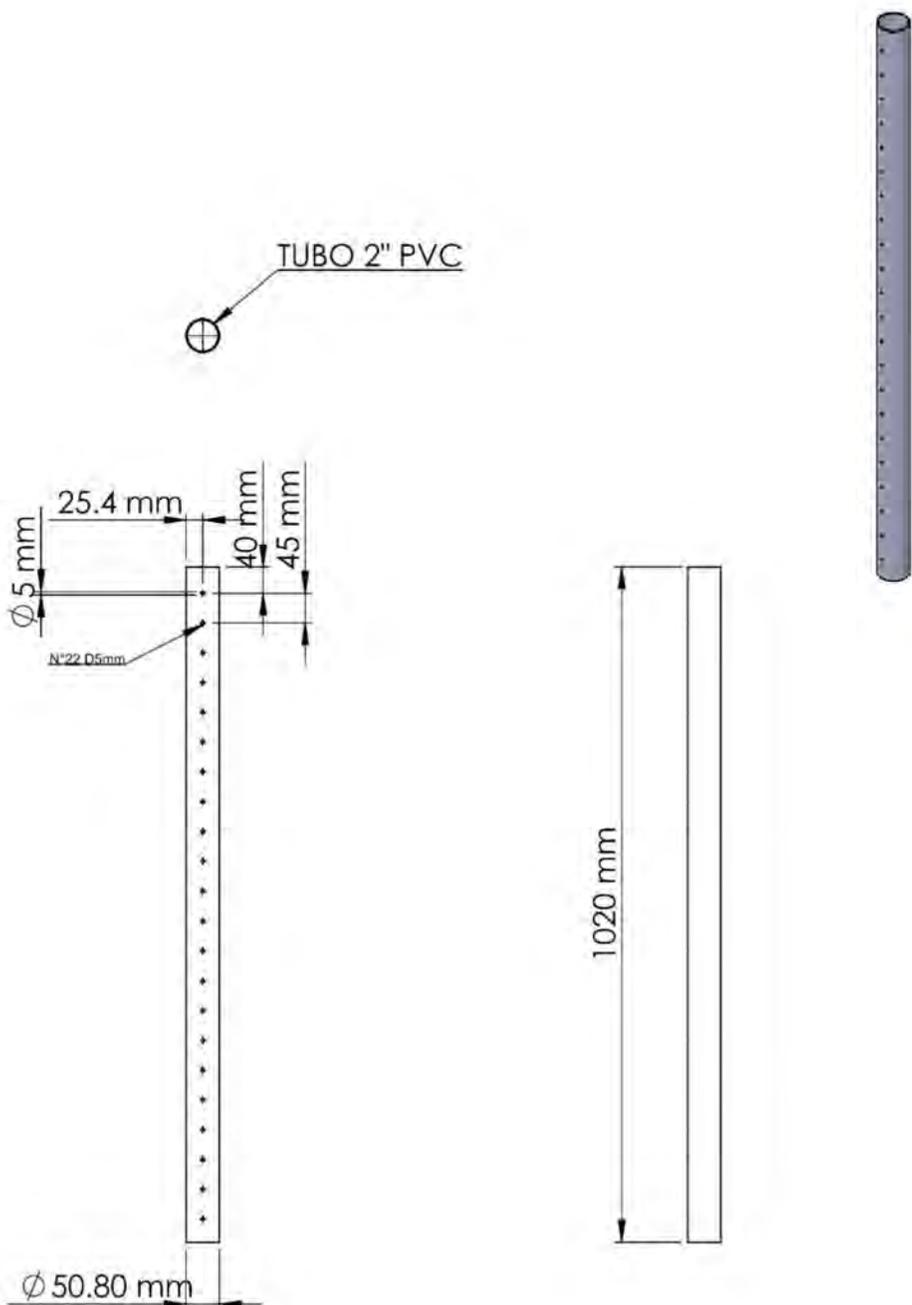


ESCALA:

1/12

FECHA:

22/01/2019



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD
EL CUSCO**
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA UNSAAC

TESIS: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UNA MESA VIBRATORIA IDRACO NGU PARA TRATAR PRE CONCENTRADO DE ORO DEL YACIMIENTO TRES ESTRELLAS DEL SUR DE LA ZONA BOCA COLORADO - MADRE DE DIOS

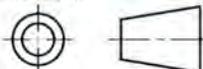
PLANO: **TUBO DE DISPERSION**

TESISTA: **TRONCOSO RICRA Jaison Fernando
TRUJILLO MEZA Denissa**

LÁMINA:

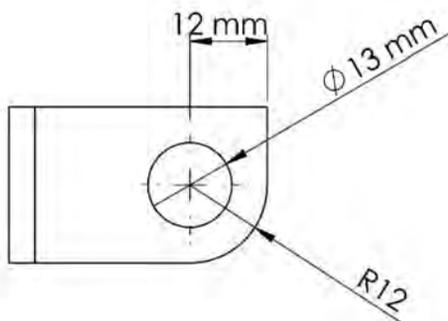
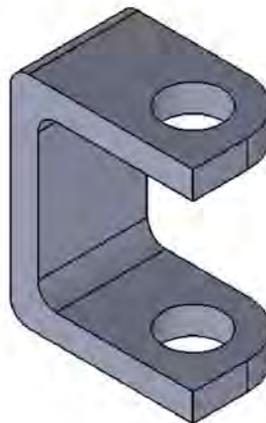
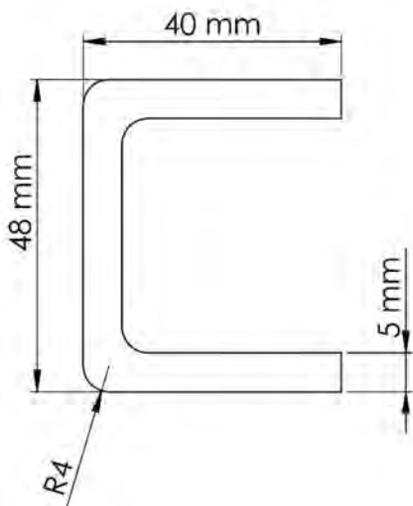
01.03.05

PROYECCION:



ESCALA: **1/12**

FECHA: **22/01/2019**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD
EL CUSCO**
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA UNSAAC

TESISTA: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UNA MESA VIBRATORIA IDRAGO NGU PARA TRATAR PRE CONCENTRADO DE ORO DEL YACIMIENTO TRES ESTRELLAS DEL SUR DE LA ZONA BOCA COLORADO - MADRE DE DIOS

PLANO:

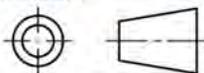
ANCLAJE DE PIVOTE 2

TESISTA: **TRONCOSO RICRA Jaison Fernando**
TRUJILLO MEZA Denissa

LAMINA:

01.03.06

PROYECCION:

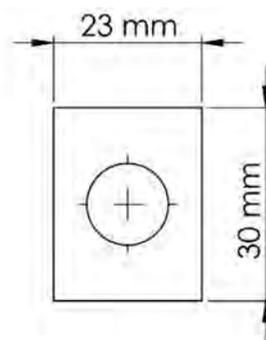
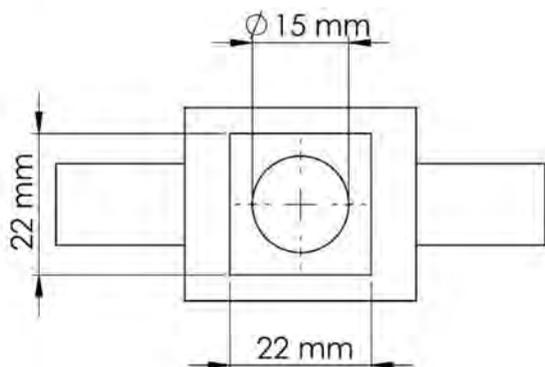
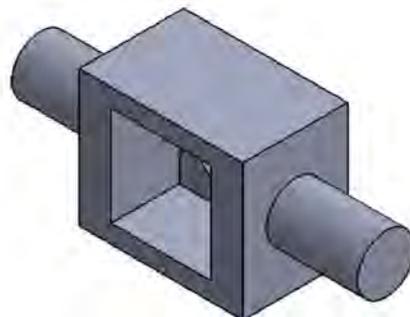
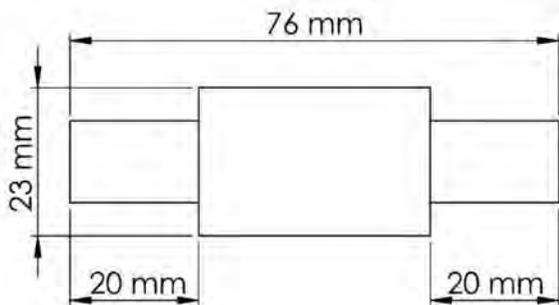


ESCALA:

1/1

FECHA:

22/01/2019



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD
EL CUSCO**
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA UNSAAC

TESISTA: **TRONCOSO RICRA Jaison Fernando**
TRUJILLO MEZA Denissa

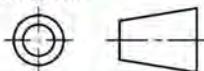
PLANO: **PIVOTE DE VARILLA DE ALTURA**

TESISTA: **TRONCOSO RICRA Jaison Fernando**
TRUJILLO MEZA Denissa

LAMINA:

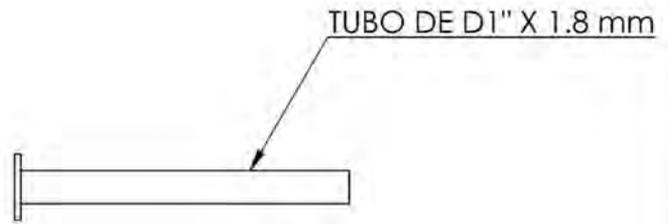
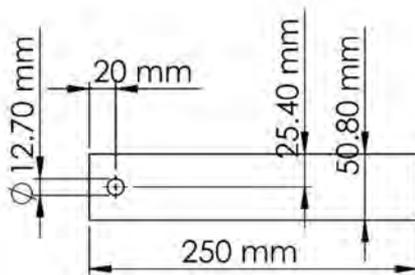
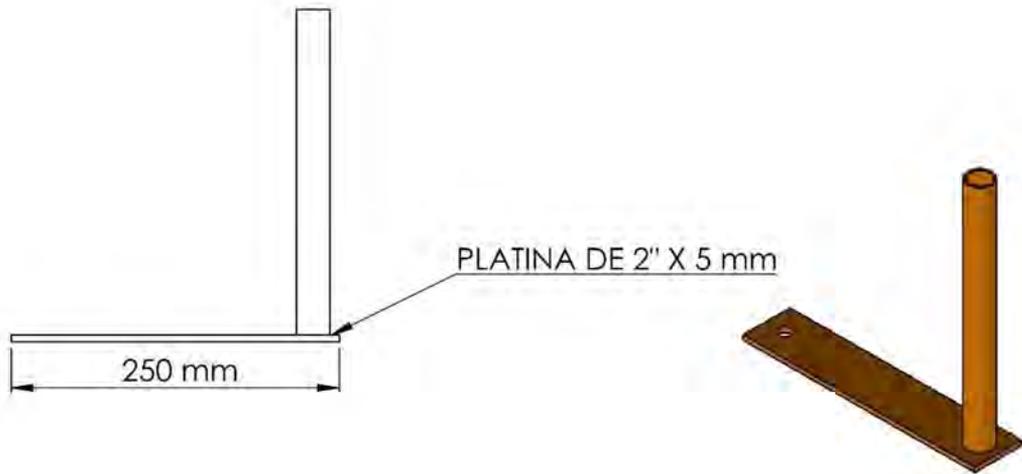
01.03.07

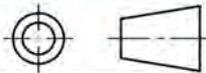
PROYECCION:

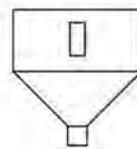
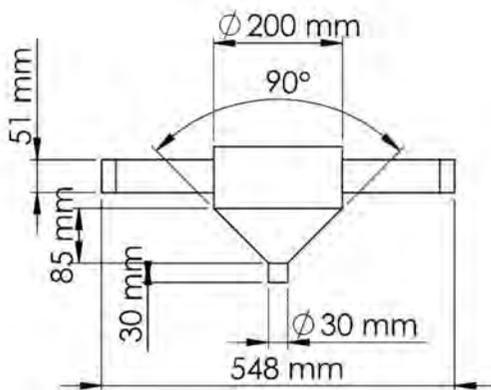
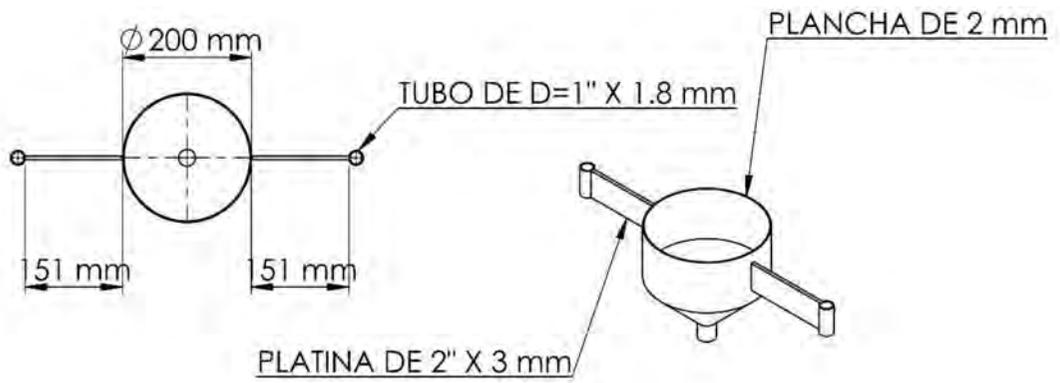


ESCALA: 1/1

FECHA: 22/01/2019



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD EL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA UNSAAC	
	TESIS: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UNA MESA VIBRATORIA IDRAKO NGU PARA TRATAR PRE CONCENTRADO DE ORO DEL YACIMIENTO TRES ESTRELLAS DEL SUR DE LA ZONA BOCA COLORADO - MADRE DE DIOS	
SOPORTE DE TOLVA		LAMINAS: 01.04.01
TESISISTA: TRONCOSO RICRA Jaison Fernando TRUJILLO MEZA Denissa		
PROYECCION: 	ESCALA: 1/6 FECHA: 22/01/2019	



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

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA UNSAAC

TESIS: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACION DE UNA MESA VIBRATORIA IDRAGONU PARA TRATAR PRE CONCENTRADO DE ORO DEL YACIMIENTO TRES ESTRELLAS DEL SUR DE LA ZONA BOCA COLORADO - MADRE DE DIOS

PLANO:

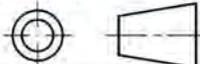
TOLVA

TESISTA: **TRONCOSO RICRA Jaison Fernando
TRUJILLO MEZA Denissa**

LAMINA:

01.04.02

PROYECCION:

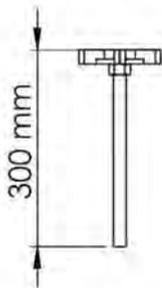
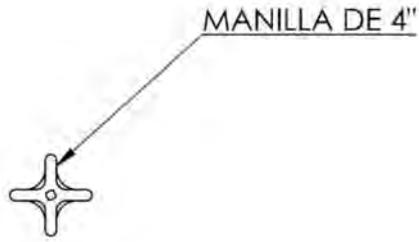


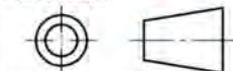
ESCALA:

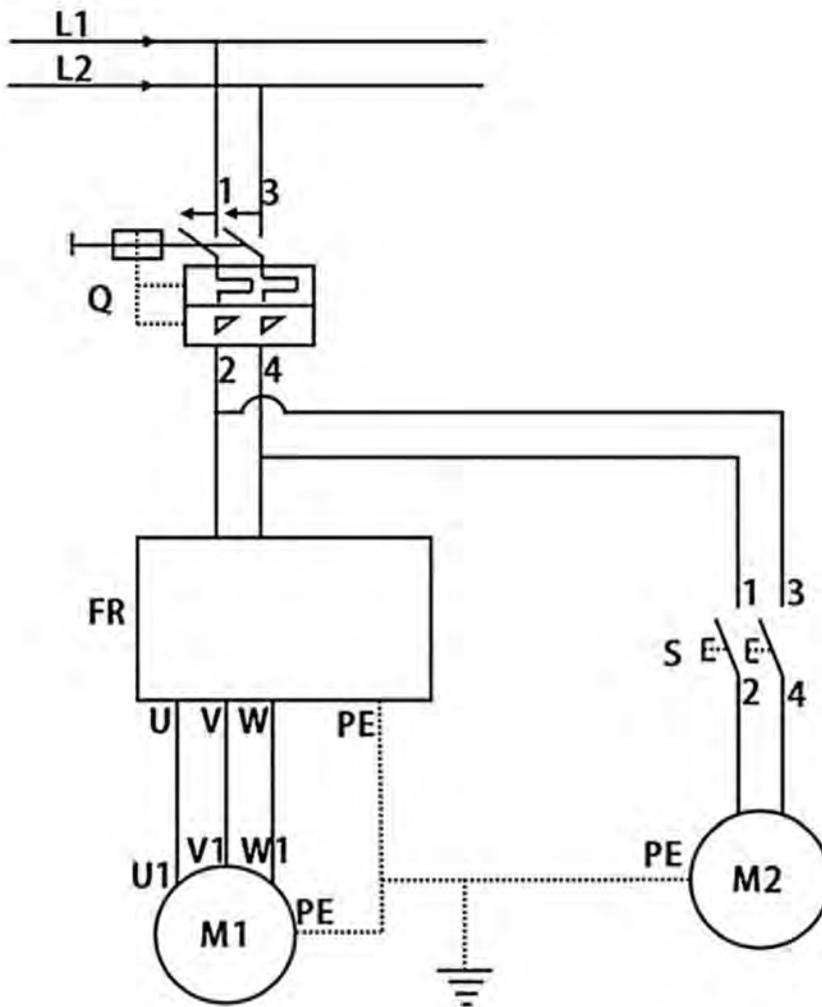
1/12

FECHA:

22/01/2019

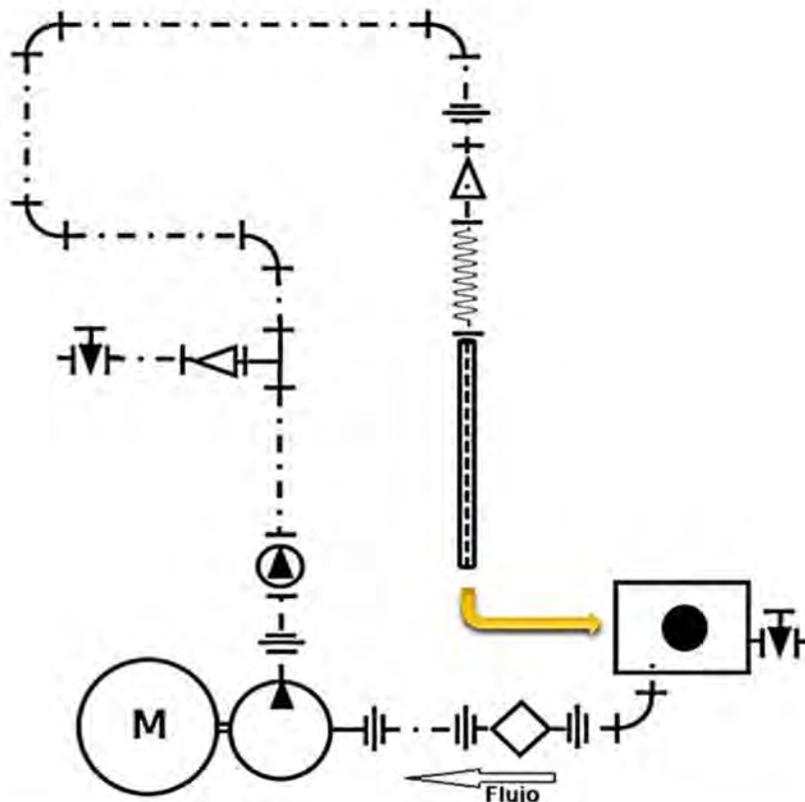


	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD EL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA UNSAAC	
	TESIS: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACION DE UNA MESA VIBRATORIA IDRAGO NGU PARA TRATAR PRE CONCENTRADO DE ORO DEL YACIMIENTO TRES ESTRELLAS DEL SUR DE LA ZONA BOCA COLORADO - MADRE DE DIOS	
	PLANO: MANILLA	
	TESISISTA: TRONCOSO RICRA Jaison Fernando TRUJILLO MEZA Denissa	LAMINA: 01.04.03
PROYECCION: 	ESCALA: 1/12 FECHA: 22/01/2019	



8	U, V y W, conectores AWS 12	
7	S, pulsante normalmente abierto	1
6	Q, interruptor termomagnético c 63	1
5	PE, conexión a tierra	1
4	M2, electrobomba monofásica 0.5 HP monofásica	1
3	M1, motor eléctrico 0.5 HP trifásico	1
2	L1 y L2, conductores de energía 220v AWS 12	2
1	FR, variador de frecuencia entrada monofásica 220v	1
N° elemento	N° de pieza	Cantidad

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD EL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA UNSAAC	
	TESIS: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACION DE UNA MESA VIBRATORIA IDRAGO NGU PARA TRATAR PRE CONCENTRADO DE ORO DEL YACIMIENTO TRES ESTRELLAS DEL SUR DE LA ZONA BOCA COLORADO - MADRE DE DIOS	
	PLANO: SISTEMA ELÉCTRICO	
PROYECCION: 	TESISTA: TRONCOSO RICRA Jaison Fernando TRUJILLO MEZA Denissa	LAMINA: <div style="font-size: 2em; font-weight: bold; text-align: center;">A</div>
	FECHA: 22/01/2019	



13		Válvula de compuerta 1"	2
12		Válvula check 1"	1
11		Unión universal 1"	5
10		Tubería flexible 1"	1
9		Tubería de agua 1"	1
8		Tubería con juego de válvulas 2"	1
7		Tee 1"	1
6		Reducción 1" a 1/2" y ampliación 1" a 2"	1
5		Motor eléctrico 0.5 HP monofásico	1
4		Filtro de agua 1"	1
3		Depósito de agua	1
2		Codo de 90° 1"	5
1		Bomba de flujo unidireccional	1
N° elemento		N° de pieza	Cantidad

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD EL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA UNSAAC	
	TESIS: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UNA MESA VIBRATORIA IDRAGO NGU PARA TRATAR PRE CONCENTRADO DE ORO DEL YACIMIENTO TRES ESTRELLAS DEL SUR DE LA ZONA BOCA COLORADO - MADRE DE DIOS	
	PLANO: SISTEMA HIDRÁULICO	
	TESISITA: TRONCOSO RICRA Jaison Fernando TRUJILLO MEZA Denissa	LAMINA: B
PROYECCION: 	FECHA: 22/01/2019	



Laboratorios Analíticos del Sur
Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa - Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdel sur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-MN-20-00208

Fecha de emisión:10/01/2020 00:00:00

Página 1 de 1

Señores: TRUJILLO MEZA DENISSA
Dirección: CUSCO
Atención: TRUJILLO MEZA DENISSA
Recepción: 9/01/2020
Realización: 9/01/2020
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

Métodos ensayados

- *551 Método de Ensayo a fuego para Oro por reconocimiento Absorción atómica
*552 Método de Ensayo a fuego para Oro por reconocimiento Gravimetría

Codigo interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*551 Au		*552 Au	
				g/TM	oz/TC	g/TM	oz/TC
MN20000320	CONCENTRADO CABEZA PESO : 170 gr	BOCA COLORADO MADRE DE DIOS	Concentrado	--	--	62,05	1,8102
MN20000322	CONCENTRADO MIXTO PESO: 180.2 gr	BOCA COLORADO MADRE DE DIOS	Concentrado	--	--	75,42	2,2004
MN20000323	RELAVE PESO: 225 gr	BOCA COLORADO MADRE DE DIOS	Relave	0,674	0,01967	--	--

Fin del informe

Sixto
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Sixto Vicentio Juárez Neira
Gerente General
Ing. Químico C.I.P. 19474

"<Valor numérico">=Límite de detección del método, ">Valor Numérico">=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

ANEXO 32 Tabla de materiales, herramientas y equipos para fabricar una mesa vibratoria IDRAKO NGU

N°	Denominación	N°	Denominación
1	Soldador tipo SMAW	31	Maquina Cepilladora regruesadora
2	Torno	32	Máquina de perforar
3	Plegadora	33	Máquina de rebanado
4	Fresadora	34	Cierra circular
5	Cortadora de plasma	35	Cepillo eléctrico
6	Taladro de pedestal	36	Lijadora de banda
7	Taladro de mano	37	Cinta métrica
8	Dobladora	38	Formón
9	Esmeril	39	Compas
10	Amoladora	40	Llave loro
11	Pulidora	41	Llave Stillson
12	Cizalla	42	Tarraja
13	Arco de sierra	43	Aditamentos (cola, terocal, silicona, soldimix, adex, etc.)
14	Vernier	44	Alicate
15	Oxi-Corte	45	Juego de llaves (hexagonales)
16	Tijeras	46	Cúter
17	Cautíl	47	Regla metálica
18	Tuercas, Brocas y Arandelas.	48	Pintura
19	Martillos, destornilladores, escuadra, nivel.	49	Poliéster parafínico
20	Fresadora para madera.	50	Catalizador
21	Tornillo de banco	51	Thiñer
22	Lijadora	52	Franela
23	Barrilla de acero	53	Filtro
24	Tubería	54	Motor eléctrico 0.5 HP
25	Plancha de acero	55	Madera
26	Accesorios de tubería	56	Cables eléctricos
27	Variador de frecuencia	57	Termo magnético
28	Válvulas	58	Resortes
29	Mangueras	59	Embaces
30	Varillas de aluminio	60	Grasa para maquina

ANEXO 33 Desplazamiento lineal del acero sometido a vibraciones

Fotograma	Tiempo	Sistema de coordenadas de ref.:
1	0.000	-1.7567E+03
2	0.040	-1.7522E+03
3	0.080	-1.7436E+03
4	0.120	-1.7428E+03
5	0.160	-1.7509E+03
6	0.200	-1.7567E+03
7	0.240	-1.7522E+03
8	0.280	-1.7436E+03
9	0.320	-1.7428E+03
10	0.360	-1.7509E+03
11	0.400	-1.7567E+03
12	0.440	-1.7522E+03
13	0.480	-1.7436E+03
14	0.520	-1.7428E+03
15	0.560	-1.7509E+03
16	0.600	-1.7567E+03
17	0.640	-1.7522E+03
18	0.680	-1.7436E+03
19	0.720	-1.7428E+03
20	0.760	-1.7509E+03
21	0.800	-1.7567E+03
22	0.840	-1.7522E+03
23	0.880	-1.7436E+03
24	0.920	-1.7428E+03
25	0.960	-1.7509E+03
26	1.000	-1.7567E+03
27	1.040	-1.7522E+03
28	1.080	-1.7436E+03
29	1.120	-1.7428E+03
30	1.160	-1.7509E+03
31	1.200	-1.7567E+03
32	1.240	-1.7522E+03
33	1.280	-1.7436E+03
34	1.320	-1.7428E+03
35	1.360	-1.7509E+03
36	1.400	-1.7567E+03
37	1.440	-1.7522E+03
38	1.480	-1.7436E+03
39	1.520	-1.7428E+03
40	1.560	-1.7509E+03
41	1.600	-1.7567E+03
42	1.640	-1.7522E+03
43	1.680	-1.7436E+03
44	1.720	-1.7428E+03

45	1.760	-1.7509E+03
46	1.800	-1.7567E+03
47	1.840	-1.7522E+03
48	1.880	-1.7436E+03
49	1.920	-1.7428E+03
50	1.960	-1.7509E+03
51	2.000	-1.7567E+03
52	2.040	-1.7522E+03
53	2.080	-1.7436E+03
54	2.120	-1.7428E+03
55	2.160	-1.7509E+03
56	2.200	-1.7567E+03
57	2.240	-1.7522E+03
58	2.280	-1.7436E+03
59	2.320	-1.7428E+03
60	2.360	-1.7509E+03
61	2.400	-1.7567E+03
62	2.440	-1.7522E+03
63	2.480	-1.7436E+03
64	2.520	-1.7428E+03
65	2.560	-1.7509E+03
66	2.600	-1.7567E+03
67	2.640	-1.7522E+03
68	2.640	-1.7522E+03
