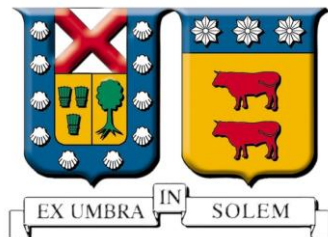


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

VALPARAÍSO – CHILE



**“DISEÑO Y CÁLCULO DE UN SISTEMA
MOTRIZ PARA UN REACTOR ROTATIVO
PARA LA CEMENTACIÓN DE COBRE, EN
CONJUNTO DE UNA VALORIZACIÓN DEL
SISTEMA.”**

FELIPE IGNACIO ROJAS BOZZOLO

**MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL MECÁNICO MENCIÓN PRODUCCION**

PROFESOR GUÍA: ING. RAFAEL MENA YANSSEN.

PROFESOR CORREFERENTE: ING. UDO RHEINSCHMIDT

FEBRERO 2019

I. RESUMEN

En la gran minería del cobre, para la recuperación de cobre es utilizado el proceso Brenda, una planta que desarrolla este proceso consta de las siguientes áreas:

- Recepción y Preparación
- Lixiviación y Enfriamiento
- Filtración y Lavado de Concentrado
- Secado, Almacenamiento y Envasado
- Cementación Cobre
- Cloración

Para el área de cementación de cobre, es necesario un reactor rotativo, en el cual se produce la reacción química para obtener el cemento de cobre.

En este trabajo de titulación se presenta el diseño y cálculo de un sistema motriz para un reactor rotativo para la cementación de cobre, cumpliendo las especificaciones solicitadas por la empresa Foster Wheeler, para recuperar de forma óptima el cobre presente en el líquido obtenido en la lixiviación.

En el proceso de diseño, se ajustara las dimensiones del sistema motriz a la disponibilidad de espacio físico presente en la planta, para que no interrumpa en el normal funcionamiento de las demás etapas desarrolladas en la planta.

A su vez, en el proceso de cálculo, se verá la factibilidad del diseño desarrollado en la etapa previa, escogiendo materiales adecuados al trabajo que desarrollara y siguiendo las especificaciones técnicas de la empresa Foster Wheeler.

Una vez finalizados ambos procesos, se enviran los cálculos y planos de fabricación a la empresa Foster Wheeler para que sean revisados. Con esta revisión de deberá rechazar o aprobar para comenzar la fabricación del reactor rotativo.

II. ABSTRACT

In the great copper mining, the Brenda process is used for the recovery of copper, a plant that develops this process consists of the following areas:

- Reception and Preparation
- Leaching and Cooling
- Filtration and Concentrate Wash Drying,
- Storage and Packaging Copper
- Cementation Chlorination

For the area of copper cementation, a rotary reactor is necessary, in which the chemical reaction to obtain the copper cement takes place.

This titration work presents the design and calculation of a motor system for a rotary reactor for the cementation of copper, fulfilling the specifications requested by the company Foster Wheeler, to recover optimally the copper present in the liquid obtained in the leaching.

In the design process, the dimensions of the motor system will be adjusted to the availability of physical space present in the plant, so that it doesn't interrupt the normal operation of the other stages developed in the plant.

Instead, in the calculation process, you will see the feasibility of the design developed in the previous stage, choosing materials appropriate to the work that developed and following the technical specifications of the company Foster Wheeler.

Once both processes are completed, the calculations and manufacturing drawings will be sent to Foster Wheeler for review. With this review you should reject or approve to begin manufacturing the rotary reactor.

III. INDICE

1.	INTRODUCCIÓN	11
2.	OBJETIVOS	13
2.1	OBJETIVOS GENERALES	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
3.	ESTADO DEL ARTE.....	14
3.1	CEMENTACIÓN DE COBRE.....	14
3.2	CEMENTACIÓN DE COBRE CON CHATARRA DE FIERRO	15
3.3	PRECIPITACIÓN CON BATEAS O CANALETAS GRAVITACIONALES.....	15
3.4	PRECIPITACIÓN CON EQUIPOS ROTATORIOS DISCONTINUOS	16
3.5	PRECIPITACIÓN CON EQUIPOS ROTATORIOS CONTINUOS	16
3.6	HISTORIA DE IMPLEMENTACIÓN EN CODELCO ANDINA.....	17
3.7	CEMENTACIÓN VIBRATORIA	19
	- <i>Filosofía Operacional</i>	20
	- <i>Esquema del equipo Cementador Vibratorio</i>	21
	- <i>Material de desgaste</i>	22
4.	PARTES DE UN CEMENTADOR	23
	4.1 <i>Sistema de carga para chatarra de hierro.</i>	23
	4.2 <i>Revestimiento interno</i>	24
	4.3 <i>Lifter de goma</i>	24
	4.4 <i>Perno de sujeción revestido en H.D.P.E.</i>	25
	4.5 <i>Pistas de rodado</i>	27
5	REACCIONES QUÍMICAS EN LA PRECIPITACIÓN DE COBRE	28
6	VELOCIDAD DE GIRO	30
7	CAPACIDAD DE LLENADO	32
8	CÁLCULOS DEL CEMENTADOR DE COBRE	33
	8.1 <i>Potencia de motor.</i>	23
	8.2 <i>Torque requerido.</i>	23
	8.3 <i>Fuerza sobre los descansos.</i>	23
	8.4 <i>Cadena motriz.</i>	23

9	DISEÑO DEL SISTEMA MOTRIZ.....	41
	9.1 Partes del sistema motriz.....	23
10	DIMENSIONAMIENTO.....	49
	10.1 Cálculo de reductor de velocidad.....	50
	10.2 Cálculo potencia de motor eléctrico.....	51
11	VALORIZACIÓN DE UN CEMENTADOR DE COBRE.....	74
	11.1 Costos de fabricación del sistema motriz.....	23
12	PLAN DE MANUFACTURA.....	83
13	CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS.....	87
14	REFERENCIAS.....	889
15	ANEXOS.....	91
	15.1 Anexo 1: Velocidad de giro.....	91
	15.2 Anexo 2: explosión en cementador.....	92
	15.3 Anexo 3: Armado.....	93
	15.4 Anexo 4: Pistas de rodado.....	99
	15.5 Anexo 5: Fuerzas sobre descansos.....	105
	15.6 Anexo 6: Pernos de sujeción.....	108

IV. INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Cementador de cobre	18
Figura 2: cementador vibratorio	20
Figura 3: diseño cementador vibratorio.	21
Figura 4: recubrimiento interno.....	22
Figura 5: Sistema de carga de chatarra del cementador de cobre	23
Figura 6: Anclaje del recubrimiento interno del cilindro y sujeción de lifter de goma.	24
Figura 7: Pernos recubiertos de H.D.P.E. con cabeza cuadrada para fijar lifter.	25
Figura 8: Interior de cementador de cobre, con recubrimiento interno y lifter instalados.	26
Figura 9: Descarga del cementador de cobre	27
Figura 10: Motor-reductor.....	42
Figura 11: Eje motriz.....	44
Figura 12: Polin.	44
Figura 13: Polin, eje, pillow block y base para anclar pillow block.	45
Figura 14: Pista de rodado.....	46
Figura 15: Sistema motriz sin pistas de rodado.....	47
Figura 16: Cementador de cobre.	48
Figura 17: Dimensiones del tambor del cementador de cobre.	49
Figura 18: Grafico k_2 VS número de cadenas.....	55
Figura 19: Grafico k_3 VS número de eslabones	56
Figura 21: Grafico para seleccionar cadena motriz.....	59
Figura 22: Grafico para seleccionar cadena motriz (con intersección de datos).....	60
Figura 23: fuerzas sobre el eje.....	65
Figura 24: fuerzas sobre el polín	67
Figura 25: diagrama de fuerzas horizontales en el plano XY.	68
Figura 26: Diagrama de momento flector en el plano XY.....	69

Figura 27: Diagrama de fuerzas horizontales en el plano XZ.	70
Figura 28: Diagrama de momento flector en el plano XZ.	71
Figura 29: Diagrama de momento combinados.	71
Figura 30: propiedades del acero utilizado para el eje.	72

V. INDICE DE TABLAS

Tabla 1: COEFICIENTE K4.....	57
Tabla 2: DATOS CADENA MOTRIZ.	61
Tabla 3: RESTICCIONES DE CADENA MOTRIZ.	62
Tabla 4: PISTA DE RODADO.....	74
Tabla 5: SISTEMA MOTRIZ.....	75
Tabla 6: CORAZAS MANTO.	76
Tabla 7: CORAZAS TAPA.....	76
Tabla 8: RECUBRIMIENTO INTERNO.....	77
Tabla 9: EXTRACCION DE GASES.....	78
Tabla 10: SISTEMA DE DESCARGA.....	78
Tabla 11: ESTRUCTURA.....	79
Tabla 12: LISTADO DE PERNOS.....	79
Tabla 13: EXTRAS DEL EQUIPO.....	80
Tabla 14: REPUESTOS.....	80
Tabla 15: MANO DE OBRA.....	81
Tabla 16: ESTADO RESULTADO.....	82
Tabla 17: PLAN DE TRABAJO GRUPO 1.....	83
Tabla 18: PLAN DE TRABAJO GRUPO 2.....	84
Tabla 19: PLAN DE COMPRA.....	85

VI. SIMBOLOGIA

[R.P.M.]: Revoluciones por minuto.

LR: Limpieza de molibdeno y Regeneración de reactivo.

H.D.P.E.: Polietileno de alta densidad.

[V]: Volt.

F.R.P.: Plástico reforzado con fibra de vidrio.

[Kg]: Kilogramo.

%: Porcentaje.

[H.P.]: Horse-power.

[Kg-m]: Kilogramos por metro.

[-]: Adimensional.

[KW]: Kilowatts.

[m/s]: Metro por segundo.

[N]: Newton.

[Kp]: Kilopondio.

[mm]: Milímetros.

Ø: Diámetro.

[ton]: Tonelada.

°: Grados.

F.S.: Factor de seguridad.

CuSO₄ : Sulfato de cobre (hidrocianita).

Fe⁰: Hierro metálico.

Cu⁰: Cobre metálico.

FeSO₄: Sulfato de hierro.

Fe₂(SO₄)₃: Sulfato anhídrido.

H₂SO₄: Ácido sulfúrico.

H₂: Hidrógeno.

CuCl₂: Cloruro (ericalquita).

FeCl₃: Cloruro (molisita).

Fe Cl₂: Cloruro férrico (laurencita).

HCl: Ácido clorhídrico.

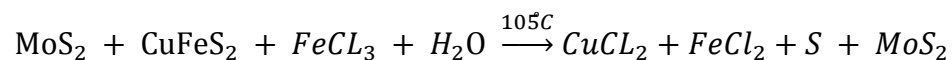
VS: Versus

1. Introducción

En la gran minería se obtienen diversos minerales entre los cuales se encuentra el cobre y el molibdeno. Luego de la etapa de chancado el mineral pasa por una etapa de flotación colectiva en la cual se separa el mineral cobre-molibdeno del relave que es enviado a un tranque. Al obtener el mineral cobre u molibdeno es enviado a la etapa de flotación selectiva en la cual se separa el cobre del molibdeno, por la parte inferior de esta etapa obtenemos MoS_2 además de CuFeS_2 que es una impureza para el molibdeno, cabe señalar que ambos se encuentran en estado sólido.

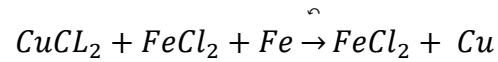
El molibdeno se ocupa como materia prima en la industria del acero para obtener aceros aleados, con mejores propiedades de resistencia a la temperatura, resistencia a la corrosión y por su durabilidad. En otra aplicación, en la que se necesita una muy alta pureza del concentrado de molibdeno, que se puede encontrar es en las industrias que fabrican lubricantes y aditivos de aceite, por lo que el reto es esencialmente la remoción de toda la ganga y la pirita, los que es un reto, ya que las concentraciones de mineral molibdeno son muy bajas.

Dado que se necesita un mineral de molibdeno de alta pureza, el mineral obtenido en la flotación selectiva es enviado a unos reactores en los cuales se le agrega cloruro férrico con agua, ambos en estado líquido y se eleva la temperatura a unos 105°C produciéndose la siguiente reacción.



En esta reacción obtenemos cloruro cúprico en fase líquida, cloruro ferroso en fase líquida, también llamado PLS, en fase sólida podemos encontrar hiposulfito de molibdeno y azufre. Esta mezcla es enviada a un proceso de filtrado en donde se obtiene el molibdeno sin la presencia de cobre lo que conlleva una mayor pureza del molibdeno.

Por otro lado el líquido obtenido en esta reacción que es llamado PLS es enviado a la etapa de cementación de cobre, la cual se realiza en un reactor giratorio al cual se le agrega el PLS más chatarra de fierro produciendo la siguiente reacción.



En la reacción obtenemos cobre en estado sólido y cloruro ferroso en estado líquido estos son enviados a un filtro en el cual se recupera el cobre, el cloruro ferroso obtenido se puede enviar a cloración para obtener cloruro férrico y poder ocuparlo nuevamente en el proceso para la limpieza del molibdeno.

El giro que se le aplica es para poder mejorar la reacción ya que las dendritas de cobre que se pegan a la chatarra de fierro, tienen un efecto pasivante, lo que genera que los tiempos de residencia en el reactor aumenten, debido a esto se le aplica movimiento para lograr soltar las dendritas de la chatarra de fierro.

Molyb una filial de Codelco ubicada en mejillones solicitó a Foster Wheeler fabricar un cementador de cobre giratorio, el cual será desarrollado por la empresa EQIIP LTDA siguiendo los siguientes requerimientos:

- Velocidad angular 4 R.P.M.
- Diámetro 3,1[m].
- Largo 5,1[m].
- 15% de llenado.
- Reactor de fibra de vidrio.
- Recubrimiento de desgaste de H.D.P.E.
- Motor a prueba de explosión.

2. Objetivos

2.1 Objetivos generales

- Estudiar los conceptos básicos del proceso de cementación
- Estudiar las características técnicas del equipo.
- Estudiar las características técnicas establecidas por el fabricante.

2.2 Objetivos específicos

- Analizar el estado del arte del mercado
- Cumplir las características técnicas solicitada.
- Diseño de cadena cinemática
- Cálculo de cadena cinemática
- Valorización del equipo.

3. Estado del Arte

3.1 Cementación de cobre

La cementación es un proceso de precipitación química que permite retirar iones en solución agregando un reactivo precipitante. En el caso de iones metálicos disueltos la reacción se favorece agregando un metal más activo, según la serie electroquímica, como reactivo para formar un precipitado conocido como cemento. En este proceso el metal precipitado usualmente se deposita o "cementa" sobre el metal añadido causando una pasivación del material agregado para que se produzca la precipitación química.

El proceso se basa en el potencial de electrodo que tengan los metales involucrados. El metal con potencial de electrodo más alto, tiene mayor tendencia a la oxidación, y pasará a la solución desplazando al metal que tenga un menor potencial positivo.

En general, mientras mayor sea el potencial de celda de la reacción de cementación, mayor será la tendencia a precipitar impurezas, ya que éstas se encontrarán comprendidas con mayor probabilidad, en cierto rango de potenciales, por lo que se verán favorecidas para precipitar en conjunto.

Por ejemplo, en el caso de la cementación de cobre mediante fierro, junto al cobre precipitan el plomo, estaño, níquel y cobalto que se encuentran presentes en solución, contaminando el producto. De igual modo, cualquier impureza insoluble presente en el fierro, como los carburos, también contaminará el producto. En la cementación de platino y paladio con zinc, es mayor la amenaza de precipitaciones y de posterior contaminación del precipitado. En estos casos, la selectividad del proceso es más baja y la contaminación puede resultar inaceptable

La cementación en fase líquida presenta las siguientes ventajas:

- La reacción se produce con gran rapidez.
- El precipitado puede separarse con facilidad sin contaminación.
- Se puede reciclar la solución gastada final y proceder a devolverla a su estado reducido anterior con algún otro proceso sencillo.

- Presenta una gran economía de espacio y de costos de operación.

Como precaución, debe mantenerse siempre alejado el ingreso de oxígeno al reactor de cementación, para evitar reacciones competitivas que reduzcan la efectividad del agente precipitante.

3.2 Cementación de cobre con chatarra de fierro

La cementación del cobre con chatarra es una técnica muy utilizada en la industria minera de mediana y pequeña escala para recuperar el metal que se encuentra en las soluciones acuosas ricas provenientes de la lixiviación.

Una vez obtenidas las soluciones de lixiviación ricas en cobre, éstas son sometidas al proceso de cementación con hierro haciendo uso de las técnicas y alternativas que se indican a continuación.

3.3 Precipitación con bateas o canaletas gravitacionales

Este es el sistema más antiguo para la cementación de cobre y se basa en el uso de recipientes o bateas hechas de hormigón con fondo de madera. La base de estas bateas tiene una pendiente de 2%, lo que permite el escurrimiento de las soluciones desde una punta hacia la otra.

En cada una de las bateas se adiciona permanentemente chatarra de hierro, y desde el extremo de mayor altura, se alimentan en forma continua las soluciones ricas en cobre.

De esta forma y por efecto de la pendiente de la batea, las soluciones escurren hacia el extremo de menor altura, manteniendo un contacto permanente con la chatarra, logrando que se produzca la cementación.

Cabe recordar que por efectos de eficiencia del sistema, se requiere un flujo continuo y una velocidad de escurrimiento suficiente para que el consumo de chatarra no aumente, ya que a mayor tiempo de cementación, aumenta considerablemente los requerimientos de chatarra.

La recuperación de cobre mediante este sistema alcanza alrededor de un 80 – 85%, obteniéndose un producto bastante sucio, debido a la contaminación con chatarra. Además de la pasivación de la chatarra de hierro debido a la acumulación de cemento de cobre en la superficie del hierro en contacto con la solución acuosa.

3.4 Precipitación con equipos rotatorios discontinuos

Estos equipos fueron desarrollados en Alemania en la década del 60, y se les conoce como "fall-trommels". En Chile, fueron utilizados en la Mina La Cascada entre los años 1972 y 2000, y en Mantos Blancos desde 1991 a 1996.

Cada reactor de estos equipos está formado por una botella de acero cilíndrica, cerrada y con un extremo semi-esférico. Su capacidad alcanza a los 33 metros cúbicos y tiene un eje inclinado a unos 25 grados por encima de la horizontal. A su vez, el reactor cuenta con los mecanismos necesarios para rotar lentamente sobre el eje a unas 0,3 [R.P.M.], similar a la rotación que mantienen los camiones que transportan cemento.

La gran ventaja de estos reactores en relación al uso de las bateas, es que logran mantener la chatarra en movimiento permanente, con lo que el cobre depositado se despegga continuamente, generando nuevas superficies de precipitación y pudiendo así alcanzar grandes rendimientos.

3.5 Precipitación con equipos rotatorios continuos

A partir de los diseños originales de los alemanes, en los años 60 se desarrolló en Chile una serie de reactores cilíndricos, pero horizontales, de diversas dimensiones, inicialmente hechos de madera y con sistemas de movimiento similares a los de un molino de bolas, que giran sobre su eje a una frecuencia muy baja, correspondiente a una vuelta por cada 3 a 5 minutos.

En su interior, los cilindros presentan un sistema de protección basado en tacos de madera de fibra larga, similar a la del eucalipto, colocados uno al lado del otro, con el sentido de la fibra orientada hacia el interior del reactor.

Al humedecerse, la madera se hincha, generando un sello perfecto para el líquido contenido. En el manto del cilindro se ubica una compuerta para efectuar el relleno de chatarra cada vez que se inicia un nuevo turno.

3.6 Historia de implementación en CODELCO Andina

En el año 1978 comenzó a operar el proceso Brenda en División Andina de Codelco, destinado a descobrizar los concentrados de molibdeno con contenidos de calcopirita, este proceso fue dejado de operar a fines del año 1991 por los altos costos en tratamiento de RILES y del reactivo mismo utilizado, el cloruro férrico.

Desde el año 1992 hasta 1996 se trabajó en el desarrollo del proyecto LR (Limpieza de molibdeno y Regeneración de reactivo), similar al proceso Brenda, pero con regeneración del reactivo agotado.

El año 1997 se construye y se comienza a operar la planta LR con un sistema de precipitación o cementación de cobre por agotamiento en piscinas, operación batch que resultó ser extremadamente deficiente y mantuvo el proyecto LR con serias dudas en su continuidad. Esta situación motivó la creación del primer cementador construido en fibra de vidrio, polímeros y gomas de recubrimiento interno.

Este equipo fue desarrollado por Eqiip en el año 2000 para reemplazar el uso de piscinas de cementación, su implementación fue exitosa desde el principio y mejoró totalmente la planta LR, permitiendo beneficios adicionales como el aumento de recuperación de molibdeno en la flotación selectiva por corte del producto en celdas de limpiezas más primarias.

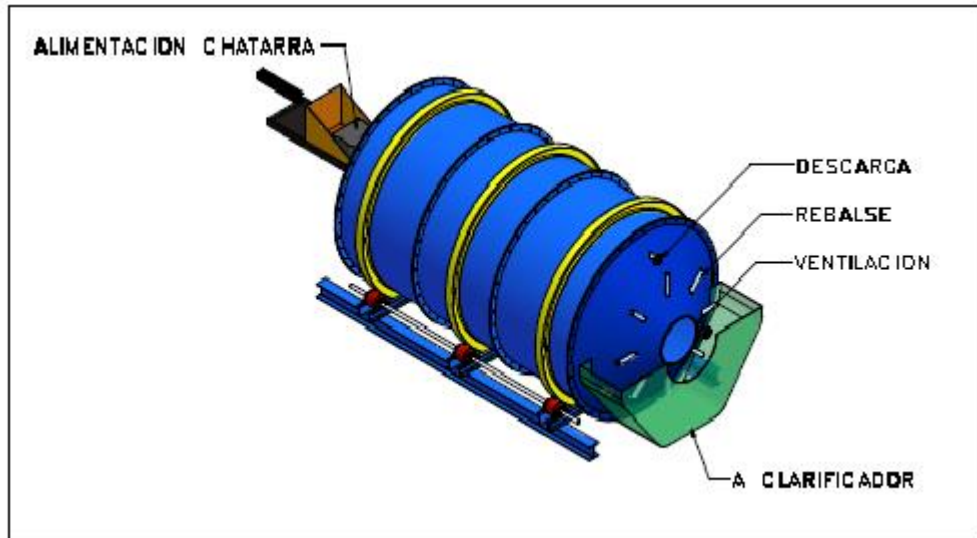


Figura 1: Cementador de cobre

3.7 Cementación vibratoria

En el año 2016 se desarrolla la patente de invención del cementador de cobre dicha patente fue desarrollada por Eqiip a causa de la gran cantidad de fallas y detenciones que presentan los cementadores de cobre giratorios en su operación.

En un principio esta técnica contemplaba el funcionamiento batch, lo que provoca la necesidad de gran cantidad de equipos, ya que al ser un funcionamiento batch se utilizaba un 45% del tiempo del equipo.

Para poder mejorar la capacidad de este equipo se acondiciono el equipo para que funcionara en forma continua, con lo que se logra una ocupación del tiempo del equipo de 100%.

Eqiip en el año 2017 en conjunto a Cicitem realizaron pruebas de validación de la técnica en los laboratorios de la Universidad de Antofagasta, con el fin de poder implementar esta nueva tecnología en Mina Francisca en Caleta del Cobre. En estas pruebas se concluyó que para el cementador vibratorio no se necesitan quipos complementarios como extracción de gases y clarificador para obtener el cemento de cobre.

Eqiip en el año 2017 fabricó el equipo cementador de cobre vibratorio que fue instalado en Mina Francisca en el año 2018.

- Filosofía Operacional

El equipo trabaja en operación continua, el licor rico en Cu^{+2} se deposita en un embudo de alimentación en la parte superior y se conduce hacia el cono inferior a través de un doble fondo. Luego la solución sube y pasa a través de toda la chatarra para descargar por rebalse, garantizando el tiempo de residencia requerido. Ver Figura 2.

El licor pobre en Cu^{+2} se obtiene con cierta cristalinidad debido a que el equipo trabaja de forma similar a un decantador, donde la chatarra existente realiza un efecto similar a las placas decantadoras. La dendrita de cobre en la medida que se va generando se suelta de la superficie de hierro por la vibración y decanta hacia el fondo del estanque.

El cemento de cobre se descarga mediante la apertura programada de una válvula de manguito o pinch (normalmente cerrada) ubicada en el cono inferior y se realiza a intervalos programados.

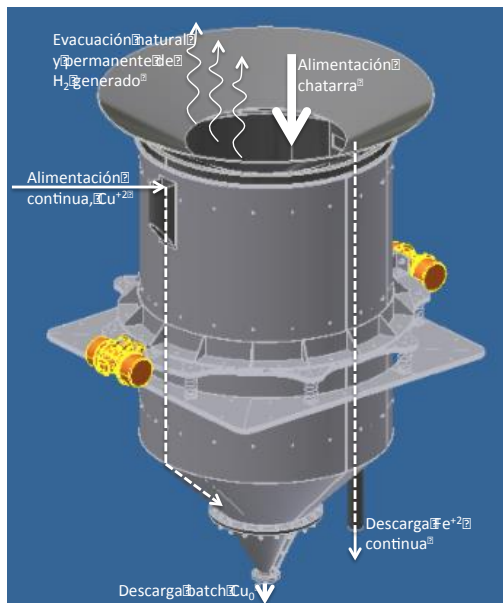


Figura 2: Cementador vibratorio

- Esquema del equipo Cementador Vibratorio

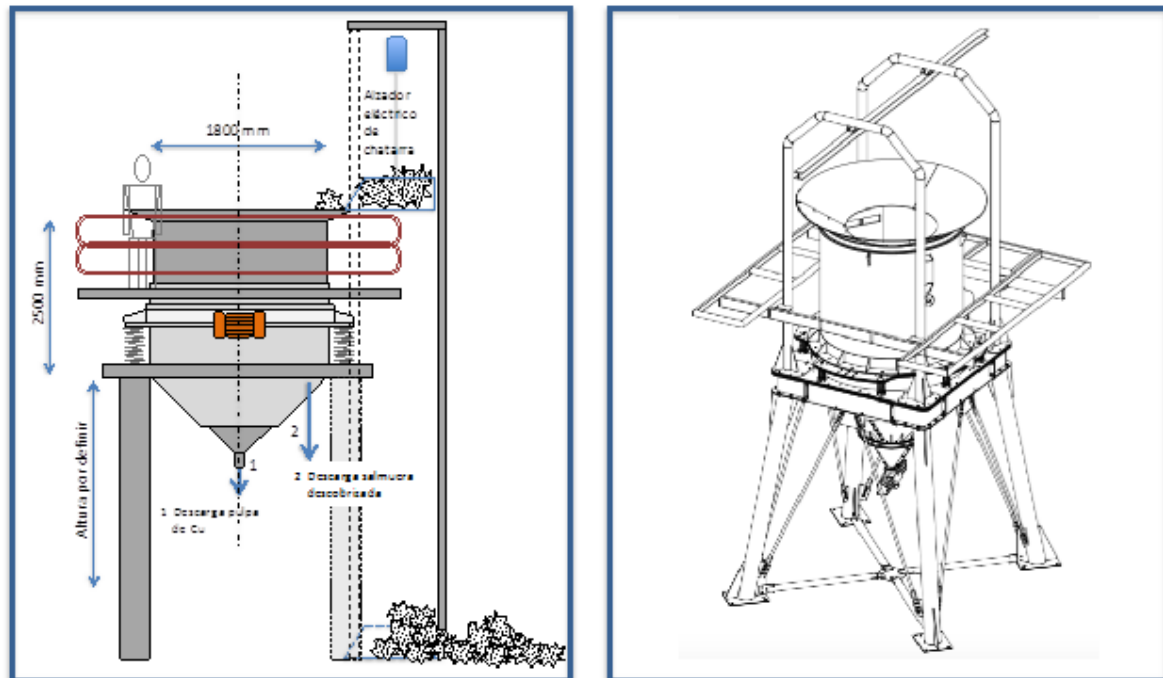


Figura 3: diseño cementador vibratorio.

En la figura 3 se puede ver el diseño de un cementador vibratorio, en este se aprecia un gran cambio en relación a la tecnologías anteriores, al crecer en altura se necesita una menor área en las plantas para el proceso de cementación.

Al ser un reactor vertical se aumenta el volumen de tratamiento ya que se puede llenar entre un 80% o 90% lo que genera ventajas de capacidad y ventajas en la cinética de reacción.

- **Material de desgaste**

El diseño del recubrimiento del cementador vibratorio, material HDP, es similar al señalado en la figura 4 donde se muestra la instalación de la placa de desgaste y la instalación de la tapa que se encaja en el equipo, su forma es un cono invertido de modo que la chatarra escurra hacia el interior, este cono invertido lleva en su parte superior un plato de sacrificio, material acero carbono, para permitir que la chatarra deslice con facilidad.

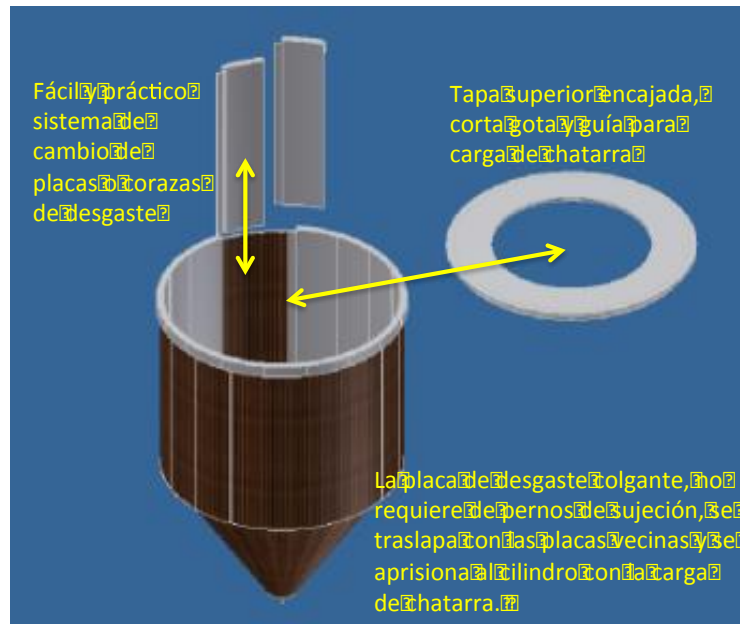


Figura 4: recubrimiento interno

4. Partes de un cementador

El cementador de cobre está compuesto por distintos elementos y sistemas.

4.1 Sistema de carga para chatarra de hierro.

En la siguiente figura se detalla el sistema de carguío de chatarra de hierro. Consta con una mesa de carga que es construida totalmente de H.D.P.E. estructurado con perfiles de acero ocultos, con este tipo de material no se necesitan polines evitando totalmente la corrosión y una posible falla en el sistema de carguío, se recomienda utilizar color negro para minimizar el daño por la luz solar.

El roce entre dos planos de H.D.P.E. es de muy baja, porque existe entre ambas caras un efecto similar al auto lubricación.

El sistema debe contemplar un monorriel con teche eléctrico (220[V]) para subir al cucharón los cubos de chatarra prensada y una balanza portátil digital para el pesaje de la carga, tal como muestra la figura 5.

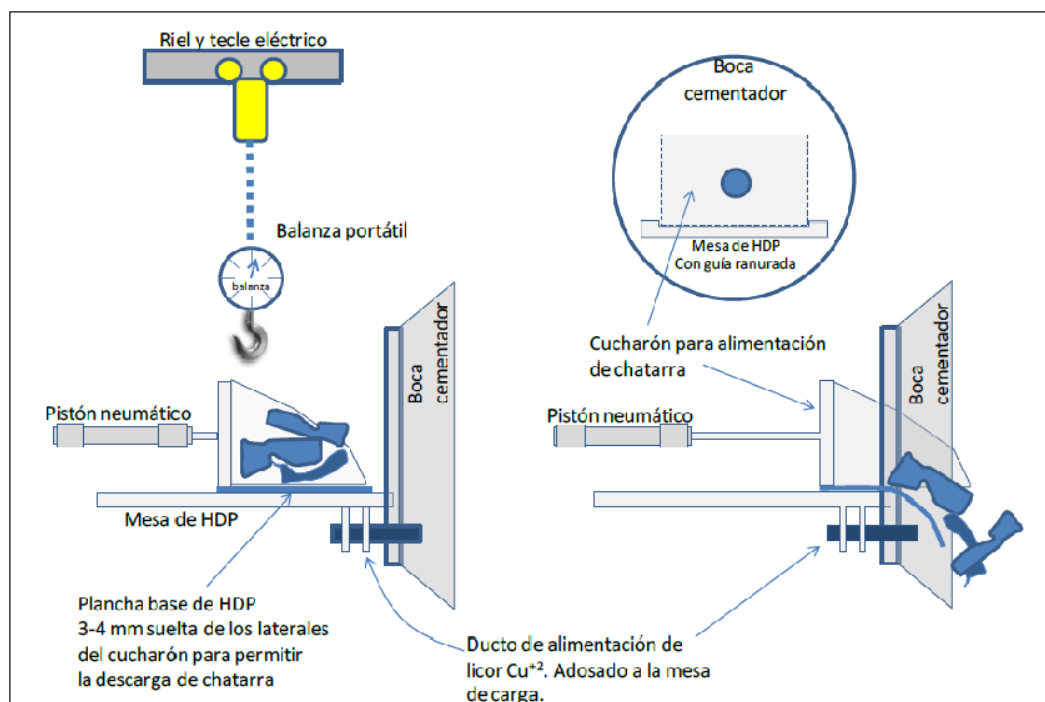


Figura 5: Sistema de carga de chatarra del cementador de cobre

4.2 Revestimiento interno

La parte principal del equipo cementador es el revestimiento interno, el equipo contempla placas o corazas de H.D.P.E., estas son de igual duración que la goma, son más livianas y de menor costo por unidad volumétrica, además permite prolongar la vida del revestimiento, incluso a más del doble, simplemente soldando trozos de H.D.P.E. en las partes de mayor desgaste de la placa, sin necesidad de retirar la placa desde el interior.

4.3 Lifter de goma

El lifter de levante de chatarra se contempla en goma natural de alta dureza, sobre 80 shore, el diseño del lifter permite amarrar al cilindro el extremo de 2 placas, tal como se muestra en la figura 6:

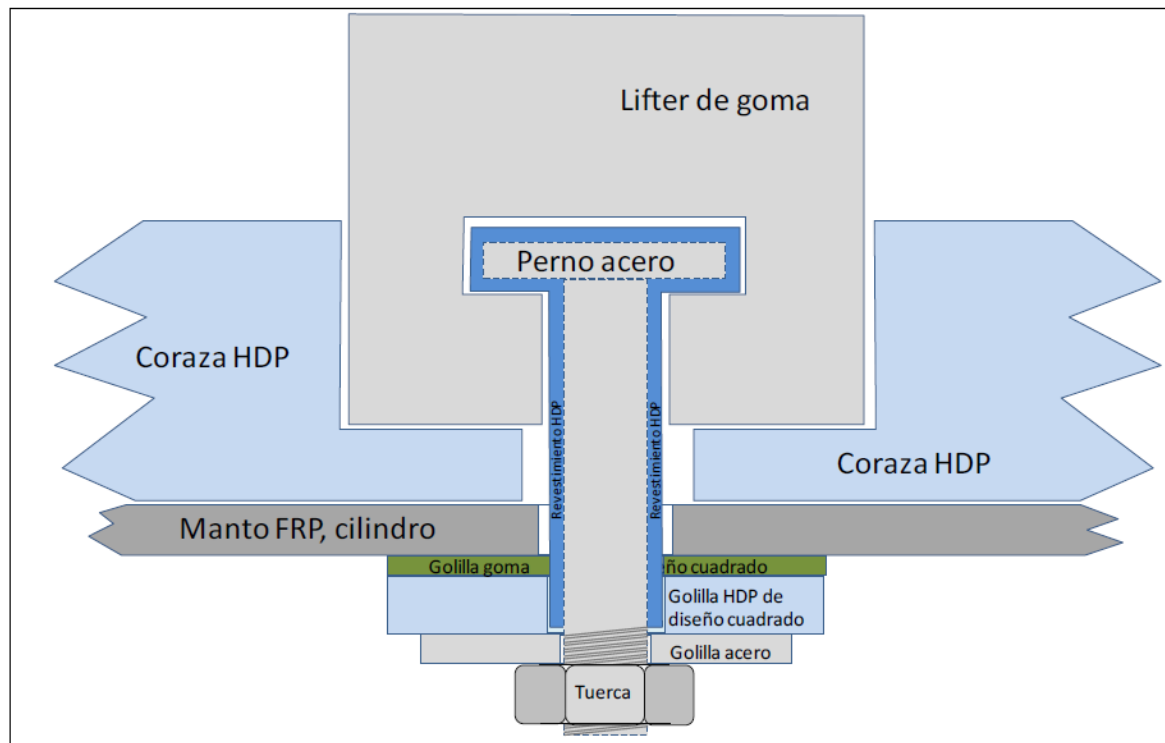


Figura 6: Anclaje del recubrimiento interno del cilindro y sujeción de lifter de goma.

4.4 Perno de sujeción revestido en H.D.P.E.

El perno de sujeción revestido en H.D.P.E. asoma hacia el exterior del cilindro, donde se instala una golilla de goma blanda ajustada al perno, esta es aplastada por una golilla de H.D.P.E. que no se permite hacer girar durante la instalación, empujada por una golilla metálica y la tuerca. De esta forma se produce un buen sellado carente de goteos al exterior. Durante el montaje el perno no gira porque es de cabeza cuadrada, como se muestra en la figura 7.



Figura 7: Pernos recubiertos de H.D.P.E. con cabeza cuadrada para fijar lifter.

En la figura 8 se puede ver el interior del cementador con el recubrimiento interno encargado de proteger de los golpes producidos por la chatarra de hierro.

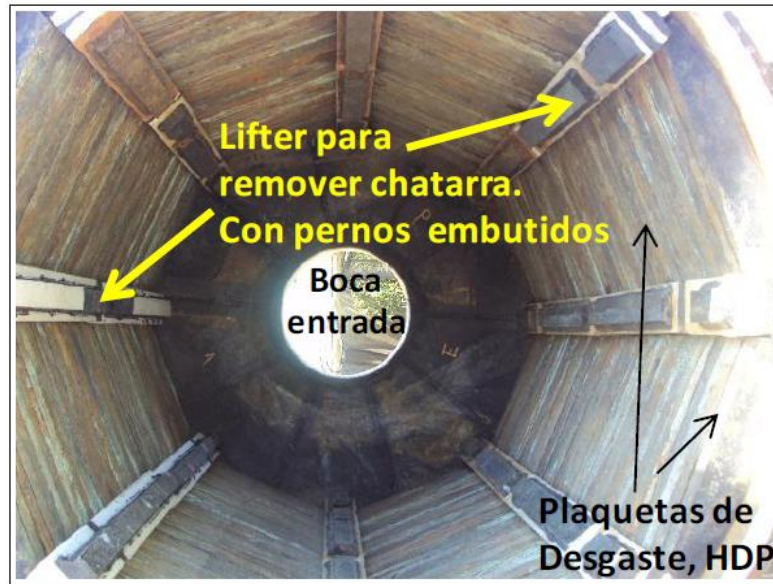


Figura 8: Interior de cementador de cobre, con recubrimiento interno y lifter instalados.

4.5 Pistas de rodado

Las llantas de giro o pistas de rodado se consideran dependiendo del largo del cilindro del cementador, se contempla su fabricación en acero inoxidable calidad 304 para soportar la cercanía del ambiente marino, estas llantas se fabrican con placas de acero cortadas con láser, las cuales al unirse entre sí van formando una circunferencia perfecta. En la figura 9 se aprecia una llanta construida con sistema laser.



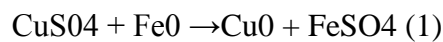
Figura 9: Descarga del cementador de cobre.

5 Reacciones químicas en la precipitación de cobre

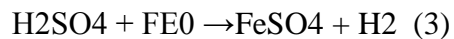
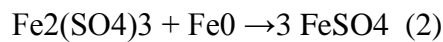
El proceso de cementación de cobre, se evalúan según su eficiencia de recuperación de cobre en comparación a su consumo de hierro.

El hierro precipita al cobre presente en la solución, de acuerdo a las siguientes reacciones, dependiendo si se encuentran en un sistema a base de sulfuros o a base de cloruros.

Mostramos las siguientes reacciones de cementación en los sistemas Sulfatante:

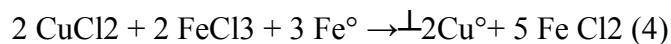


El hierro metálico también es consumido para la reducción de hierro férrico y por reacción con el ácido sulfúrico, de acuerdo a las siguientes reacciones:

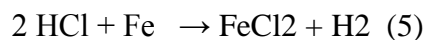


Cabe señalar que para el proceso de cementación de cobre en un sistema sulfurante, se puede ocupar acero inoxidable 316L para la fabricación de piezas, recipientes, tambores y cualquier parte del equipo que este en contacto con la solución acuosa.

Mostramos las siguientes reacciones de cementación en los sistemas clorurante:



Al igual que en el caso anterior hay otras reacciones que consumen hierro metálico:



Para el proceso de cementación de cobre en un sistema clorurante, no se puede ocupar acero inoxidable 316L para la fabricación de piezas como en el caso anterior, para la fabricación de las piezas que se encontraran en contacto con la solución acuosa se utilizara: F.R.P., H.D.P.E. o materiales que soporten este sistema acuoso.

En ambos casos hay que tener mucha precaución en el diseño de los equipos, ya que podemos notar en las reacciones (3) y (5) encontramos formación de hidrogeno, estas reacciones se generan dentro de un tambor, lo que se puede considerar como un espacio confinado, dentro de este tambor se puede acumular hidrogeno gaseoso y encontrándose en su interior chatarra de hierro en movimiento que puede provocar una chispa que detone una explosión si no se cuenta con una ventilación correcta.

Con las ecuaciones químicas mencionadas anteriormente, que se producen en la precipitación de cobre, se puede llegar a una relación ideal para calcular el hierro necesario para realizar el proceso de precipitación del cobre, tanto en el caso de un sistema clorurante o sulfurante. En la industria de la cementación de cobre, ya que se encuentran excesos de reactivos, se ha llegado a una relación entre el hierro y el cobre de: $Cu/Fe= 0,8$ (esto quiere decir que, para recuperar 0,8 [Kg] de cobre es necesario añadir 1 [Kg] de hierro)

6 Velocidad de giro

Teniendo en cuenta los distintos tipos de cementación de cobre podemos decir que hay una diferencia notoria e indiscutible de realizar la cementación en estado de reposo o en estado continuo con una cinética del fluido y chatarra de hierro mayor, sabiendo que en el segundo caso se alcanza una recuperación mayor del cobre presente en la solución acuosa en un tiempo, ya que, se aumenta la cinética de reacción. Teniendo en cuenta esto es necesario determinar la velocidad de giro de tambor del cementador, para poder optimizar la recuperación de cobre sin tener que sobredimensionar el equipo.

Para optimizar la velocidad de giro del cementador de cobre se realizaron pruebas variando la velocidad de giro del cementador y viendo la recuperación en un tiempo determinado. Lo cual no arrojó una diferencia notoria en la recuperación de cobre, ya que se varió la velocidad de giro entre [0,2- 4] R.P.M., del desgaste no se puede decir lo mismo ya que al subir la velocidad de giro de 1 R.P.M y acercarse a 4 R.P.M. se produce un gran desgaste en las piezas interiores que están enfocadas en mover la carga para poder desprender las dendritas de la superficie de la chatarra de hierro, los pernos de sujeción que amarran a los lifter no soportan los golpes provocados por los bloques de chatarra, provocando que se desprendan los lifter y por consecuencia de esto se desprendan los corazas de H.D.P.E. dejando al desnudo el tambor de fibra de vidrio lo que conlleva una detención inmediata del cementador de cobre.

Tomando en cuenta que la velocidad final de 4 R.P.M. solicitada en el anexo 1, es la velocidad a que el equipo debe operar, carece de todo respaldo técnico, si se considera que se solicitó la fabricación del cementador de cobre con materiales resistentes a la alta agresividad química de las soluciones tratadas, como lo son la fibra de vidrio para el cuerpo principal, gomas y polímeros para el revestimiento interior, que el equipo es sometido a trabajar con cargas de 2 a 3 toneladas de fardos de chatarra de fierro y masas de hasta 9 toneladas de material, y que en el proceso mismo se generan temperaturas que cambian severamente la forma del equipo por los altos coeficientes de dilatación de la fibra de vidrio y polímeros respecto al acero. En esas condiciones, no puede técnicamente sostenerse ni pretenderse una velocidad operacional de 4 R.P.M., pues en una velocidad como esa, inevitablemente un equipo como el requerido, es altamente vulnerable al deterioro prematuro y fallas de diverso tipo. Lo natural, es que la velocidad máxima pueda llegar a 4 R.P.M., cual es el caso, se defina técnicamente una velocidad de operación tan lenta como sea posible para asegurar el máximo rendimiento en calidad y cantidad del producto deseado, la que ciertamente se encuentra por debajo de 1 rpm

Lo anterior, tan es así, que según puede verse en publicaciones propias de CODELCO, que la velocidad óptima operacional para estos equipos está definida en 0,2 a 0,35 rpm (1 giro o vuelta por cada 3 a 5 minutos). Tal publicación la efectúa CODELCO atendiendo su vasta experiencia, a fin de difundir aspectos técnicos básicos que puedan así ser contemplados en distintos y futuros proyectos (ver anexo 1).

7 Capacidad de llenado

Otro punto que debemos tener en cuenta es el llenado que tendrá el tambor del cementador de cobre, ya que es un punto indispensable para el dimensionamiento del equipo, en este caso especial se trabajará con un llenado del 15% exigido por la empresa que solicita la construcción del equipo.

Para el cálculo del peso dentro del reactor se considerará 3 toneladas de chatarra y 6,6 toneladas de licor. Para los cálculos se tomará un resguardo debido al cambio de densidad de chatarra y el aumento del volumen de chatarra por lo que se considerarán 7,8 toneladas de chatarra, en el caso del licor se considerará un peso de 10,9 toneladas este peso se obtiene por un aumento en el caudal a procesar y por un cambio de densidad del licor.

8 Cálculos del cementador de cobre

8.1 Potencia de motor

Para lograr que el cementador gire es necesario constar con un motor acorde con los requisitos del cementador de cobre. Para calcular la potencia necesaria se ocupara la siguiente formula:

$$Pm = \frac{Mt * nc}{726,13 * nt}$$

Dónde:

- Pm: potencia de motor [H.P.]
- Mt: momento de torque en [Kg-m]
- nc: velocidad de giro en [R.P.M.]
- nt: eficiencia del motor [-]

8.2 Torque requerido

A su vez, para calcular el torque requerido ocuparemos la siguiente formula.

$$Mt = \frac{2 * WC * Rc}{dr} \left(u * \frac{der}{2} + Fr \right)$$

Dónde:

- Mt: Torque para vencer el roce.
- WC: Peso del convertidor.
- Rc: Radio Primitivo de la rodaduras.
- dr: Diámetro del rodillo.
- u: Coeficiente de roce.
- der: Diámetro del eje del polín.
- Fr: Coeficiente de rodadura.

8.3 Fuerzas sobre los descansos

Para calcular la fuerza sobre los descansos ocuparemos la siguiente formula:

$$FD = \frac{WC}{4 \cos(\&)}$$

Dónde:

- FD: Fuerza sobre el descanso.
- WC: Peso del convertidor.
- &: Angulo de los descansos (ver anexo 5).

Cabe señalar que para calcular el peso del convertidor se debe tomar en cuenta el peso del tambor de fibra de vidrio con el recubrimiento de corazas, las pistas de rodado, la chatarra de hierro en el interior del cementador que es necesaria para que se realice la precipitación química del cobre y del cilindro lleno a una capacidad de un 15% de su volumen total.

8.4 Cadena motriz

Para la transmitir el giro del motor al eje motriz tenemos dos alternativas la primer es hacer una transmisión por correas y la segunda es una transmisión por cadena, para asegurar que no haya resbalamiento y una pérdida de velocidad de giro se realizara una transmisión por cadena. Para hacer el cálculo de la cadena se utilizara las siguientes formulas:

- Potencia corregida

$$P_c = K_1 * K_2 * K_3 * K_4 * K_5 * P$$

Dónde:

- P_c : es la potencia corregida en [KW].
- P = es la potencia que transmite la máquina conductora en [KW].

El coeficiente K_1 se puede obtener de la siguiente expresión:

$$K_1 = 19 / z_1$$

Siendo (z_1) el número de dientes de la rueda pequeña o piñón.

El coeficiente K_2 es el coeficiente de multiplicidad que tiene en cuenta el número de cadenas empleadas en la transmisión.

El coeficiente K_3 tiene en cuenta el número de eslabones o enlaces que conforman la cadena. En esta primera iteración del cálculo, al carecer de información sobre la longitud que saldrá de la cadena, se va a suponer una cadena de 60 eslabones, con lo que el coeficiente toma el valor unidad.

$$K_3 = 60/60 = 1$$

Posteriormente, y una vez que se calcule la distancia real que resulta entre centros de ruedas y obtenidos sus diámetros se podrá conocer la longitud exacta de la cadena, con lo que habrá que volver a este punto para obtener el coeficiente (K_3) con más exactitud.

El coeficiente K_4 es el factor de servicio. En este caso al tratarse de un motor eléctrico como máquina conductora o motriz, y de un eje, de tabla resulta un coeficiente de servicio de valor:

$$K_4 = 1,8$$

El coeficiente K_5 es el coeficiente de duración en función de la vida útil prevista para la cadena. En este caso, se supone una duración de 15000 horas, por lo que de la tabla 5 resulta un coeficiente de:

$$K_5 = 1$$

La selección del tipo de cadena se realiza utilizando la tabla y entrando en ella con los siguientes valores:

- Potencia corregida de cálculo (P_c).
- Cadena doble.
- Velocidad de giro del piñón.

- **Cálculo de la longitud de la cadena (L)**

Mediante la siguiente expresión se puede calcular la longitud total (L) de la cadena:

$$\frac{L}{p} = \frac{z_1 + z_2}{2} + (z_2 - z_1) \frac{\beta}{\pi} + 0,102 \cdot \cos\beta \frac{2}{p}$$

Dónde:

- L: es la longitud total de la cadena, en [mm].
- P: es el paso de la cadena, en [mm].
- z_1 : es el número de dientes del piñón.
- z_2 : es el número de dientes de la rueda mayor.
- O_1O_2 : es la distancia entre centros de las ruedas, en [mm];
- β : es el ángulo de contacto, en radianes. Analíticamente se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$\beta = \text{sen}^{-1}\left(\frac{R_1 - R_2}{O_1O_2}\right)$$

Siendo R_2 y R_1 los respectivos radios de las ruedas mayor y piñón.

La expresión L/p (longitud/paso de la cadena) indica el número de eslabones con que cuenta la cadena, y debe ser un número entero, por lo que habrá que ajustar la distancia entre centros O_1O_2 para que esto se cumpla.

Cabe señalar que en este diseño se tomara z_1 igual a z_2 , por un tema de repuestos, que al ser iguales en vez de tener en bodega repuesto para dos ruedas dentadas diferentes, se necesitara repuesto para una sola rueda dentada.

- **Velocidad lineal**

Luego de tener los cálculos anteriores de debe comprobar la velocidad lineal de la cadena. Se puede obtener el valor de la velocidad lineal promedio (v) de la cadena a partir de la siguiente expresión:

$$v = \frac{p * Z_i * N_i}{60}$$

Dónde:

- P : es el paso de la cadena.
- Z_i : es el número de dientes de la rueda i considerada.
- N_i : es la velocidad de giro en [R.P.M.] de la rueda i considerada.

La velocidad línea promedio debe cumplir que sea menor a 16 [m/s].

- **Esfuerzo útil**

También se debe comprobar el esfuerzo total que soporta la cadena, se puede obtener el valor del esfuerzo útil (F_u) que desarrolla la cadena a partir de la siguiente expresión:

$$F_u = \frac{P}{v}$$

Dónde:

- F_u : es el esfuerzo útil que desarrolla la cadena en [N]
- P : es la potencia transmitida en [KW].
- V : es la velocidad lineal promedio.

- **Fuerza centrífuga**

Otro componente del esfuerzo, es el que se genera a causa de la fuerza centrífuga de la cadena (F_c), viene determinado por la siguiente expresión:

$$F_c = M * v^2$$

Dónde:

- F_c : Fuerza centrífuga en [N].
- M: masa de la cadena en [Kg/m].
- V: velocidad lineal en [m/s].

- **Coefficiente de seguridad**

Con estos resultados podemos calcular el coeficiente de seguridad, con la siguiente formula:

$$C_s = \frac{R}{F_0}$$

Dónde:

- C_s : coeficiente de seguridad
- R: carga de rotura en [Kp]
- $F_0 = F_u + F_c$

Se considera de buena práctica disponer de un coeficiente de seguridad de al menos $C_s > 1.2$.

- **Presión de contacto**

Por último se debe comprobar la presión máxima de contacto, la presión de contacto (P_s) que ejerce la cadena sobre el flanco del diente de la rueda se puede calcular a partir de la siguiente expresión:

$$P_s = \frac{F_0}{d * l}$$

Dónde:

- F_0 : es el esfuerzo total que transmite la cadena
- d : es el diámetro del perno (bulón o eje) de la cadena
- l : es la longitud del casquillo de la cadena.

La presión máxima de contacto debe ser menor a la que se puede extraer de la tabla con las presiones máximas admisibles en las articulaciones.

9 Diseño del sistema motriz

Para realizar el diseño del sistema motriz partiremos de uno de sus extremos del sistema motriz que es el tambor giratorio, que a el tambor giratorio van ancladas tres pistas de rodado, cada pista de rodado va apoyado en dos polines, por esto el sistema motriz constara con seis polines, de los cuales dos de ellos serán polines motrices y cuatro polines conducidos, ambos polines motrices se encontraran uno al lado del otro y estarán unidos por un eje mediante acoplamientos de ejes, el sistema motriz constara con dos acoplamientos de eje, además posee una rueda dentada para poder conectar a través de cadena el eje motriz al motor-reductor que posee una rueda dentada similar a la instalada en el eje motriz, con esto el sistema motriz cuenta con dos ruedas dentadas conectada con una cadena, llegando al otro extremo del sistema motriz que es el motor-reductor.

9.1 Partes del sistema motriz

- Motor-reductor

En la figura 10 se muestra el motor-reductor encargado de entregar la potencia necesaria para generar el movimiento del cilindro donde se generara la cementación, el motor esta ensamblado a un reductor de velocidad, que es el encargado de reducir las [R.P.M.] que entrega el motor para controlar la velocidad de giro del cilindro, ambas piezas son soportadas por una base de acero que debe ir anclada al suelo para reducir vibraciones.



Figura 10: Motor-reductor.

El movimiento generado por el motor-reductor se transmite a través de una cadena al eje motriz.

En la figura 11 se muestra el eje motriz que consta con las siguientes partes:

- **Rueda dentada**

El sistema motriz consta con dos ruedas dentadas, una anclada al eje del motor-reductor y otra anclada al eje motriz, la rueda dentada recibe el movimiento generado por el motor-reductor para impulsar el eje motriz, este movimiento es transmitido por una cadena.

- **Pillow block**

El eje motriz consta con cuatro pillow block, es un elemento mecánico encargado de reducir la fricción entre el eje y la pieza, sirve como apoyo y facilita el desplazamiento.

- **Polín motriz**

El eje motriz consta con dos polines motriz, es un elemento mecánico encargado de transmitir el movimiento del eje a las pistas de rodado y de soportar el peso del tambor.

- **Eje de transmisión**

El eje de transmisión es un elemento mecánico encargado de transmitir el movimiento o potencia, es de sección circular.

- **Acoplamiento de eje**

El eje motriz consta con dos acoplamiento de eje, es un elemento mecánico encargado de unir dos segmentos de ejes, absorbiendo alguna diferencia entre la colinealidad de las líneas de ejes de ambos segmentos unidos.

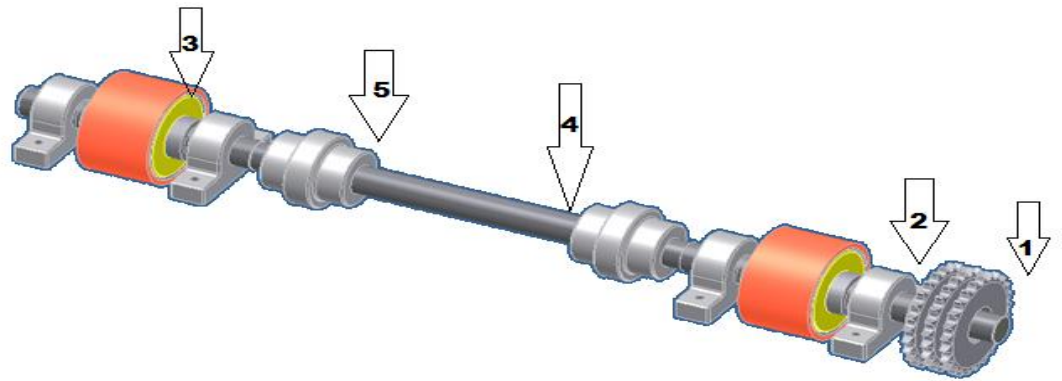


Figura 11: Eje motriz

- Polin

El sistema motriz cuenta con seis polines, dos polines motrices que se muestran en la figura 12. Y cuatro polines de apoyo que podemos ver en la figura 13. Estos polines son encargados de ayudar a soportar el peso del tambor.

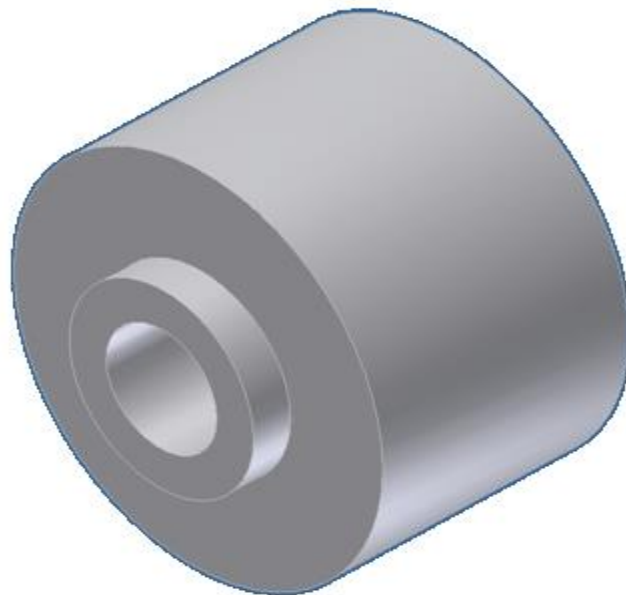


Figura 12: Polin.

- **Ensamble de polin**

El sistema motriz consta con doce pillow block, dos por cada polin unidos entre si por un eje, los pillow block estan anclados a una base de acero, la base de los pillo block estan ancladas a las vigas principales (ver anexo 3).

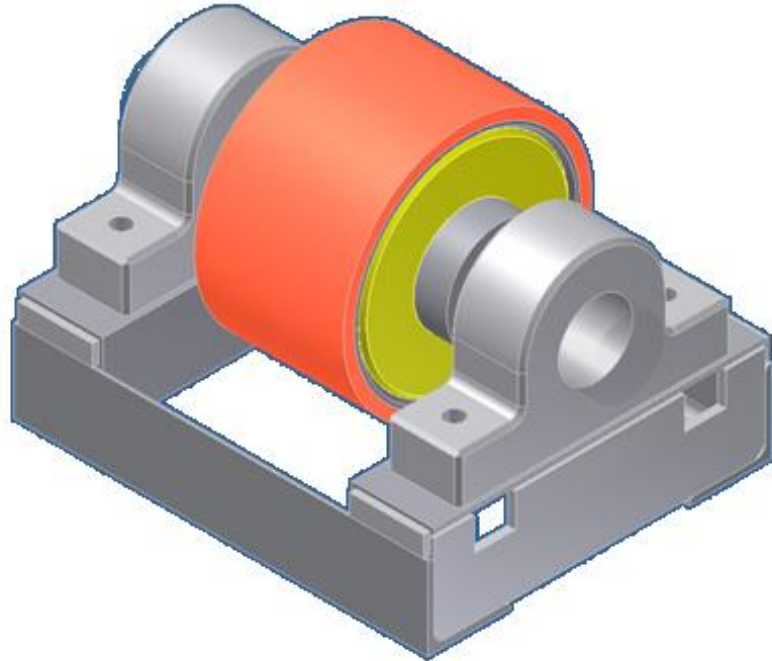


Figura 13: Polin, eje, pillow block y base para anclar pillow block.

- **Pista de rodado**

El tambor donde se genera la reacción química se encuentra rodeado por tres pistas de rodado, las pistas de rodado son de acero inoxidable, cortadas con láser y posteriormente soldadas para lograr un círculo perfecto. Son encargadas de ayudar a mantener la forma cilíndrica del tambor, disminuyendo deformaciones que se puedan ocasionar por el peso del líquido y chatarra dentro del tambor (ver anexo 4).

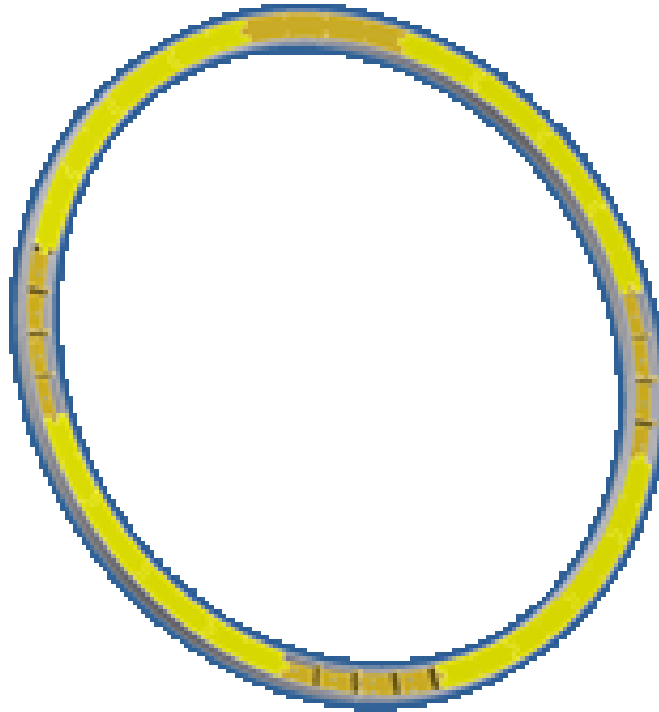


Figura 14: Pista de rodado

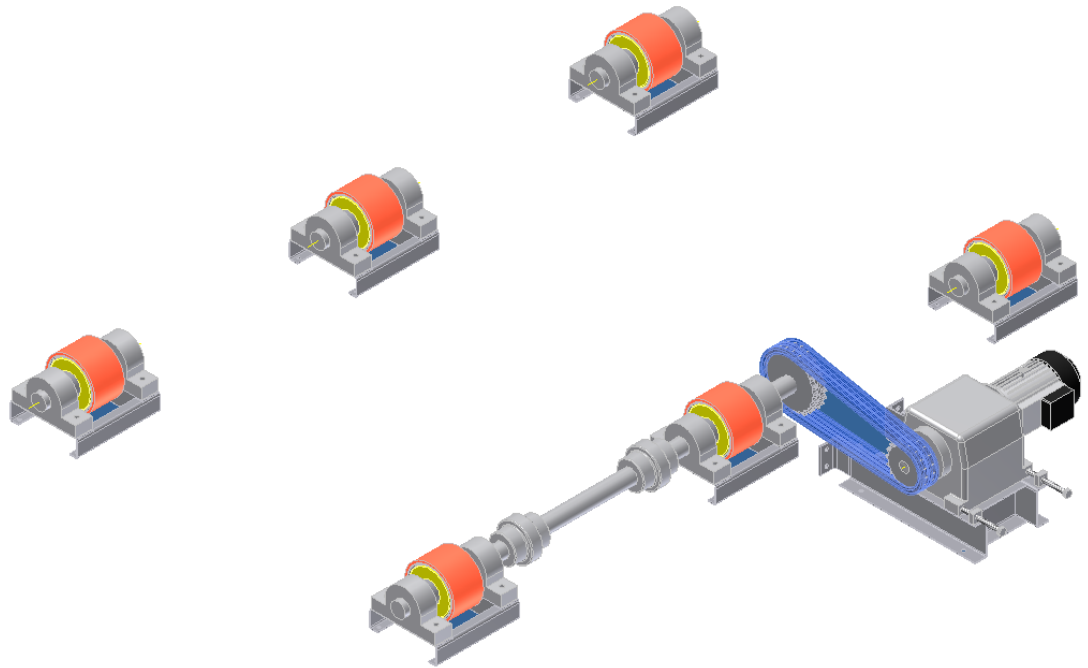


Figura 15: Sistema motriz sin pistas de rodado.

En las figuras 15 se puede ver el diseño del sistema motriz, sobre el cual descansará el tambor giratorio en el cual se produce la reacción química (ver anexo 3). .



Figura 16: Cementador de cobre.

En la figura 16 se puede ver el tambor del cementador de cobre con las pistas de rodado instaladas, que se encuentra sostenido por los polines que están sujetos a una estructura metálica. La estructura metálica debe ir anclada al piso.

10 Dimensionamiento

Para realizar el dimensionamiento del sistema motriz necesitamos tener en cuenta distintas restricciones, una de ellas es que el tambor giratorio debe tener una velocidad máxima de 4 [R.P.M.], el largo mínimo del tambor giratorio debe ser 5.100 milímetros, un diámetro de 3.100 [mm], la transmisión de potencia debe ser a través de cadena y el eje debe tener un diámetro de 90 [mm].

Para comenzar el dimensionamiento partiremos con el tambor giratorio, lo primero que fijaremos será la distancia entre cada pista de rodado, el tambor giratorio está dividido en tres secciones de 1.700 [mm], se instalará una pista de rodado en el centro de cada sección del tambor rotativo a 850 [mm] de cada extremo, de esta forma las pistas de rodado estarán a una distancia de 1.700 [mm] entre ellas y a 850 [mm] de los extremos de la parte cilíndrica del tambor giratorio. Esto se aprecia en la figura 17.

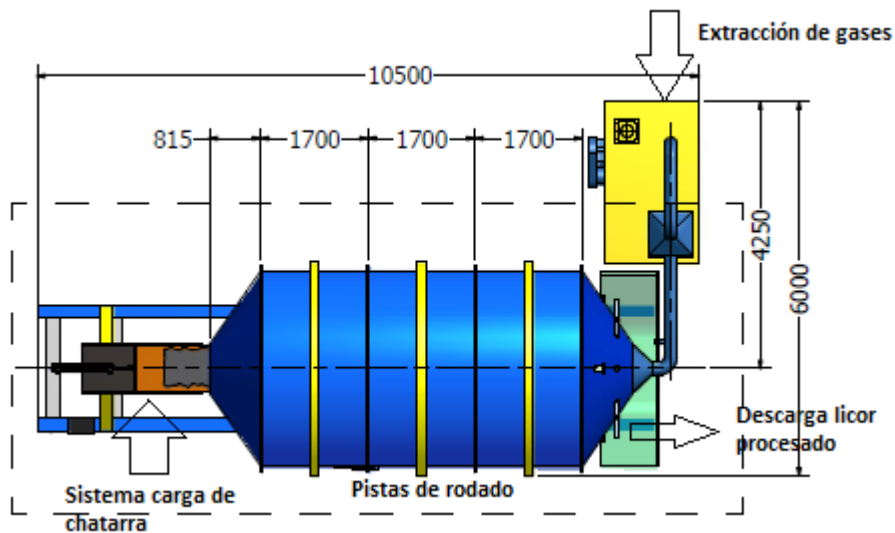


Figura 17: Dimensiones del tambor del cementador de cobre.

Ya que el diámetro del tambor giratorio está fijado en 3.100 [mm], el diámetro interior de las pistas de rodado será de 3.300 [mm] y el diámetro exterior de las pistas de rodado será de 3.560 [mm]. La pista de rodado tendrá un ancho de 100 [mm]. Fabricada en acero inoxidable de espesor ocho milímetros.

Los polines sobre los que girara las pistas de rodado tendrán un diámetro exterior de 300 [mm], con un ancho de 180 [mm].

Para necesitar menos repuestos los piñones del sistema motriz tendrán el mismo número de dientes, con esto la relación de transmisión de la cadena será de uno es a uno.

Con estas dimensiones que fijamos podemos obtener un factor de reducción de reductor de velocidad que lleva el motor. Puesto que el tambor debe girar a 4 [R.P.M.] y el motor gira a 1470 [R.P.M.]

10.1 Calculo de reductor de velocidad

Para calcular el reductor de velocidad partiremos de la velocidad máxima de giro del tambor que está definida como 4 [R.P.M.]. Lo relacionaremos con la diferencia de diámetro entre las pistas de rodado y los polines, para calcular las revoluciones por minuto que debe girar el eje para obtener una velocidad de 4 [R.P.M.] del tambor.

$$\text{RPM}_{\text{tambor}} = 4 \text{ [R.P.M.]}$$

$$\varnothing_{\text{pista de rodado}} = 3560 \text{ [mm]}$$

$$\varnothing_{\text{polin}} = 300 \text{ [mm]}$$

$$R.P.M. \text{ eje} = \frac{4 * 3560}{300} = 47,46$$

Para que el tambor giratorio tenga la velocidad requerida de 4 [R.P.M.], considerando la relación del diámetro entre la pista de rodado y el polín obtenemos una velocidad de eje de 47,46 [R.P.M.]. Teniendo en consideración que la relación de

transmisión de la cadena es de uno es a uno, se solicitará que la velocidad de salida del motor-reductor sea 48 [R.P.M.].

Para poder calcular la cadena de transmisión es necesario calcular y establecer la potencia del motor eléctrico.

10.2 Cálculo potencia de motor eléctrico.

Recuperación de cobre a lo largo del equipo para la cementación de cobre con una velocidad de giro de 4 [R.P.M.].

- Fuerza sobre los descansos

Para calcular la fuerza sobre los descansos se sumara el peso del tambor giratorio, el cemento de cobre, la chatarra de fierro y el licor proveniente de la lixiviación. Teniendo en cuenta un quince por ciento de llenado del tambor giratorio. Además se aplicara un factor de seguridad de 1,7 por una posible sobrecarga y utilización de variador de frecuencia. Lo que da un peso aproximado de veintidós toneladas. Los puntos de apoyo entre el polín y la pista de rodado forma un ángulo de treinta grados (ver anexo 5).

$$FD = \frac{WC}{4 \cos \alpha}$$

Datos

- WC= 22 [ton]
- $\alpha = 30^\circ$

$$FD = \frac{22}{4 \cos(30)} = 6,35081 \text{ [ton]}$$

Con los datos nombrados anteriormente obtenemos una fuerza sobre los descansos de 6,351 [ton] aproximadamente. Con este resultado podemos calcular el torque requerido para vencer el roce.

- **Torque requerido para vencer el roce**

$$M_{rr} = \frac{2 * WC * Rc}{dr} \left(u * \frac{der}{2} + Fr \right)$$

Datos

- WC= 22 [ton]
- Rc= 1780 [mm]
- dr= 300 [mm]
- u= 0,19
- der= 90 [mm]
- Fr= 0,005 [mm]

$$M_{rr} = \frac{2 * 22.000 * 1,780}{0,3} \left((0,19 * \frac{90}{2} + 0,005)/1000 \right) = 2.233,43 \text{ [Kg - m]}$$

Reemplazando las dimensiones del cementador en la formula obtenemos un torque requerido para vencer el roce de 2.233,43 [Kg-m], a este torque obtenido aplicaremos un factor de seguridad del diez por ciento (F.S. = 1.1), con lo cual obtenemos un torque para vencer el roce de 2.456,77 [Kg-m]. Al conocer el torque requerido para vencer el roce podemos calcular la potencia requerida por el cementador de cobre para salir del reposo.

- **Potencia requerida**

La potencia requerida se calculara en función del torque necesario para vencer el roce, las revoluciones máximas a la que girara el tambor y eficiencia. Como podemos ver en la siguiente formula.

$$Pm = \frac{Mrr * nc}{726,13 * nt}$$

Datos:

- $Mrr=2.456,77$ [Kg-m]
- $nc= 4$ [R.P.M.]
- $nt= 0.8$

$$Pm = \frac{2.456,77 * 4}{726,13 * 0.8} = 16,91[HP]$$

Podemos ver que con el cálculo realizado se determina que la potencia requerida para el motor eléctrico es de 16,91 [HP], al buscar potencias de motor cercanas en catálogo, encontramos que la potencia más cercana que sea superior a la potencia calculada es de 20[HP].

Ya que tenemos definida la potencia del motor y la velocidad de giro del eje calcularemos la cadena de transmisión y fijaremos las dimensiones de las ruedas dentadas.

- Cadena de transmisión

Siguiendo con los cálculos anteriores, estamos en condiciones de hacer el cálculo de la cadena de transmisión, que transmitirá la potencia generada por un motor eléctrico de 20 [HP] y el eje del sistema motriz. Para esto contamos con las siguientes especificaciones técnicas como datos de entrada, estará accionada mediante un motor eléctrico conectado a un reductor de velocidad que posee un eje de salida que gira a una velocidad de 48 [R.P.M.] y la distancia entre centros de eje de ambas ruedas dentadas se fijara en 700 [mm] (esta es una distancia aproximada ya que al realizar los cálculos y dependiendo del paso que tenga la cadena de transmisión puede variar)

- Cálculo de la potencia corregida de cálculo (Pc)

La potencia que entrega el motor-reductor que en los cálculos previos la definimos como 15 [KW], se modificara según unos coeficientes para poder obtener la potencia corregida de cálculos que se ocupara posteriormente, los coeficientes modificaran a la potencia entregada por el motor de la siguiente forma:

$$P_c = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot P$$

Los coeficientes correctores se calculan de tablas.

El coeficiente K_1 se puede obtener de la siguiente expresión:

$$K_1 = \frac{19}{z_1}$$

Siendo (z_1) el número de dientes de la rueda dentada o piñón. En este caso fijaremos el número de dientes en 25 dientes.

$$K_1 = \frac{19}{25} = 0.76[-]$$

Con este valor fijado tenemos calculado el valor de nuestro primer coeficiente que tiene un valor de 0,76 [-].

El coeficiente K_2 se refiere a la multiplicidad, tiene en cuenta el número de cadenas empleadas en la transmisión de potencia, en este caso se calcula para una cadena triple, obteniendo de tabla un coeficiente K_2 de 0,4.

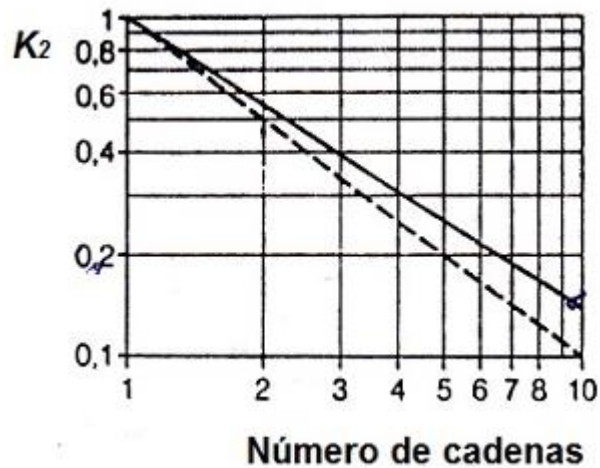


Figura 18: Gráfico k_2 VS número de cadenas.

El coeficiente k_3 tiene en cuenta el número de eslabones o enlaces que conforman la cadena. En esta primera iteración del cálculo, al carecer de información sobre la longitud que saldrá de la cadena, se va a suponer una cadena de 60 eslabones, con lo que el coeficiente toma el valor unidad.

$$K_3 = 2$$

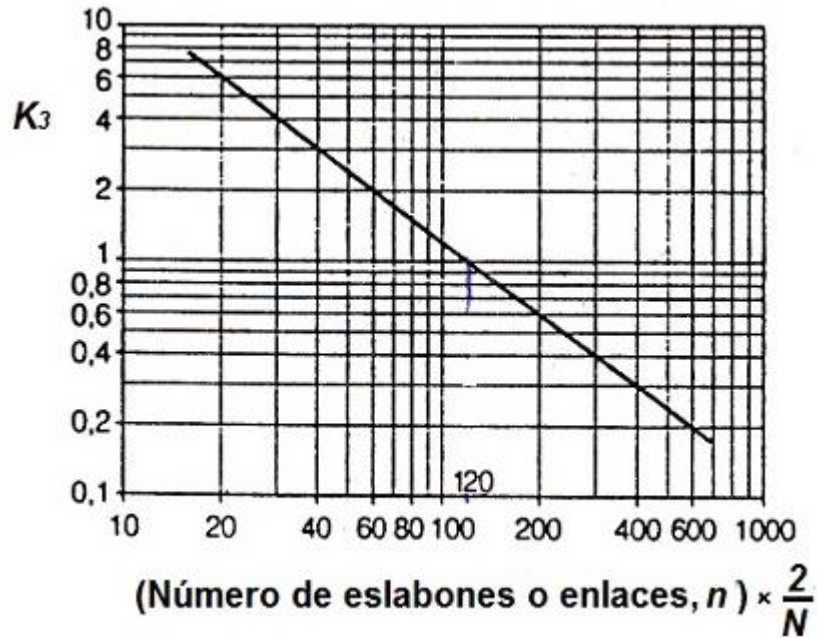


Figura 19: Grafico k_3 VS número de eslabones.

Posteriormente, y una vez que se calcule la distancia real que resulta entre centros de ruedas y obtenidos sus diámetros se podrá conocer la longitud exacta de la cadena, con lo que habrá que volver a este punto para obtener el coeficiente (K_3) con más exactitud.

El coeficiente k_4 el factor de servicio. En este caso al tratarse de un motor eléctrico como máquina conductora o motriz, y de un eje, de tabla resulta un coeficiente de servicio de valor:

$$K_4 = 1,8$$

Tabla 1: COEFICIENTE K4

Coeficiente K_4 , Factor de servicio				
Charges	Machines motrices	Moteur à combustion interne & transmission mécanique		
		hydraulique Moteur électrique et Turbine	4 cylindres et plus	moins de 4 cylindres
Régulières	Machines d'imprimerie Pompes et compresseurs centrifuges Calandreuses pour papier Escaliers roulants Agitateurs de liquides	1,00	1,10	1,30
Irégulières	Malaxeurs à béton Broyeurs à boulets Pompes et compresseurs à 3 pistons ou plus Presses, cisailles Agitateurs de solides Tamis vibrants	1,40	1,50	1,70
À-coups	Excavatrices Raboteuses Broyeurs à marteaux et à cylindres Pompes et compresseurs à 1 piston Forage pétrolier	1,80	1,90	2,10

Coeficiente K_5 es el coeficiente de duración en función de la vida útil prevista para la cadena. En este caso, se supone una duración de 15.000 horas, por lo que de la figura 20 resulta un coeficiente de:

$$K_5 = 1$$

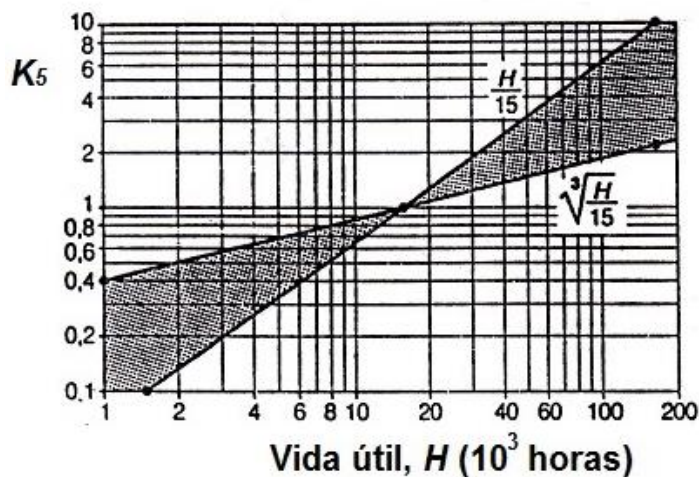


Figura 20: Gráfico k_5 VS vida útil.

Una vez calculados todos los coeficientes ya se puede obtener la potencia corregida de cálculo (P_c):

$$P_c = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot P = 0,76 \cdot 0,4 \cdot 2 \cdot 1,8 \cdot 1 \cdot 15 = 16,42 [KW]$$

- Selección del tipo de cadena

La selección del tipo de cadena se realiza utilizando la tabla y entrando en ella con los siguientes valores:

- Potencia corregida de cálculo (P_c): 16,42 [kW];
- Cadena triple
- Velocidad de giro del piñón: 49 [R.P.M.]

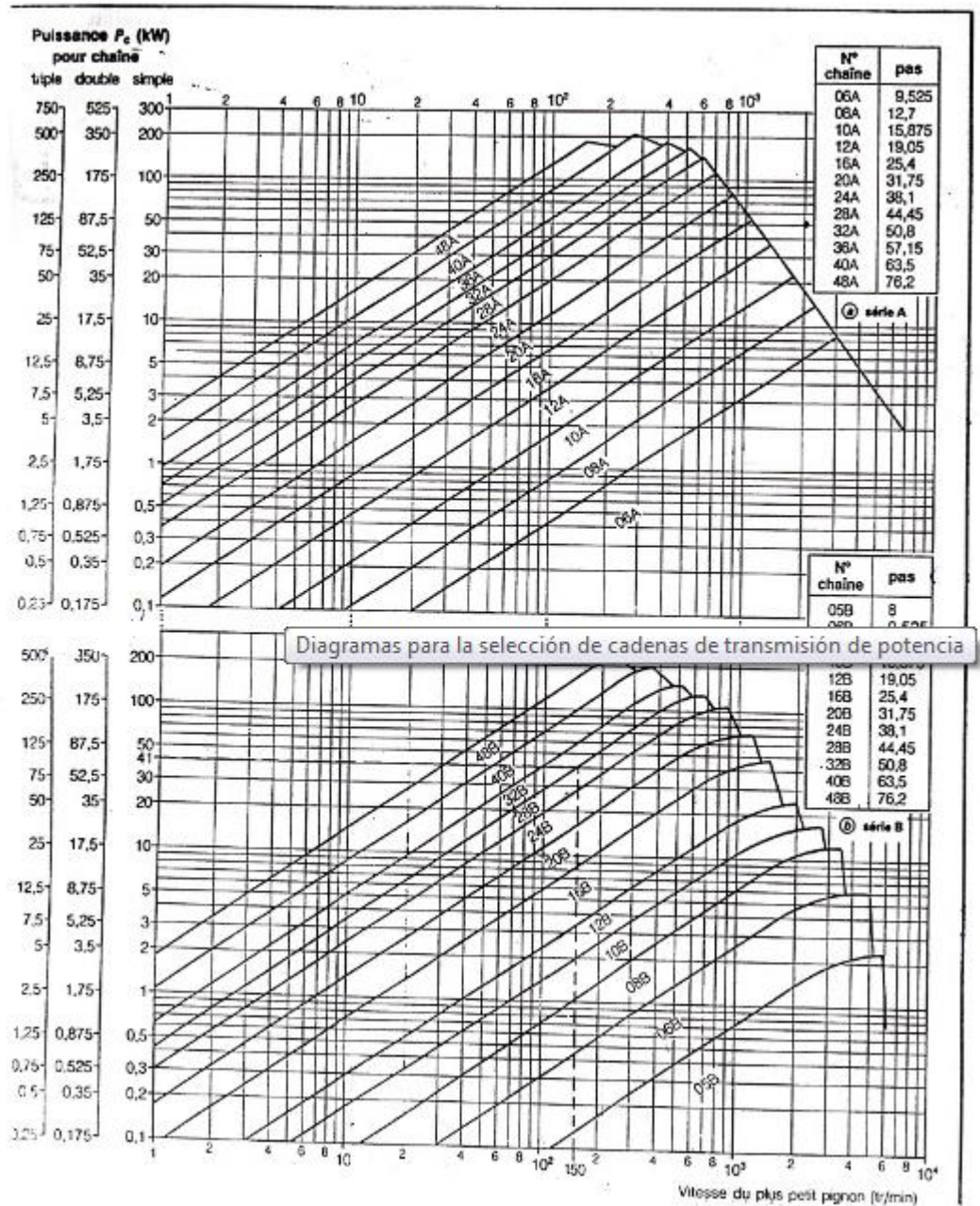


Figura 21: Grafico para seleccionar cadena motriz.

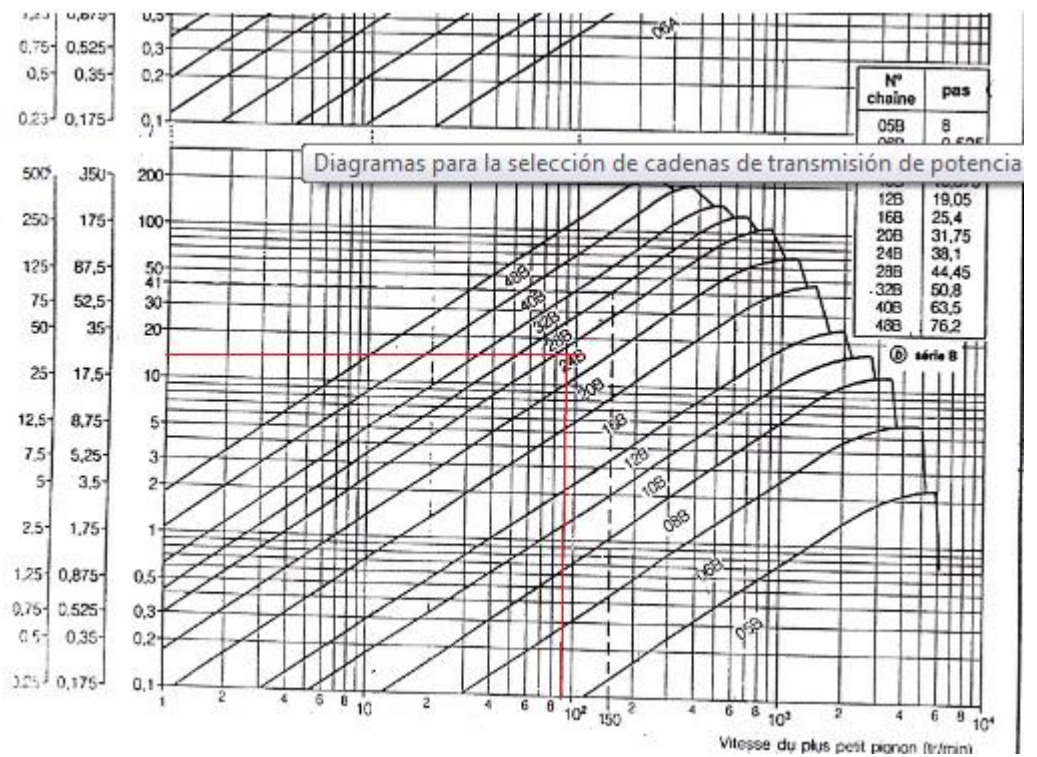


Figura 22: Grafico para seleccionar cadena motriz (con intersección de datos).

Con estos valores resulta una cadena Tipo 24B; de paso,

$$p = 38,1 \text{ [mm]}.$$

Si reemplazamos en la fórmula para obtener el largo de la cadena tenemos:

$$\frac{L}{38.1} = \frac{(25 + 25)}{2} + \frac{704.8 * \cos(0) * 2}{38.1}$$

Que el largo de la cadena es de 2.362,1 [mm], si calculamos el número de eslabones obtenemos 61,997 eslabones en la cadena, por lo tanto la cadena debe tener 62 eslabones y debemos recalcular la distancia entre ejes y el largo de la cadena final.

La expresión L/p (longitud/paso de la cadena) indica el número de eslabones con que cuenta la cadena, y debe ser un número entero, por lo que habrá que ajustar la distancia entre centros O_1O_2 para que esto se cumpla. En la siguiente tabla se indican los resultados de aplicar la expresión anterior en un proceso que es iterativo:

Tabla 2: DATOS CADENA MOTRIZ.

O_1O_2 <i>mm</i>	β <i>radianes</i>	L/p <i>(n° de eslabones)</i>
704,8	0	62

Por lo tanto, se obtiene una cadena de las siguientes características:

Longitud total (L): 2.362,2 [mm], que se obtiene multiplicando el número de eslabones obtenidos (62) por el paso (38,1 [mm].)

Distancia entre centros de las ruedas (O_1O_2): 704,8 [mm].

Con la longitud real de la cadena ($L = 2.362,2 [mm]$) y su número de eslabones ($n = 62$) se recalcula el coeficiente K_3 que tiene en cuenta el número de eslabones o enlaces que conforman a la cadena. Quedando el factor igual ya que se estimó para 60 eslabones y el factor no varía.

- **Comprobación de la velocidad lineal (v)**

Se puede obtener el valor de la velocidad lineal promedio (v) de la cadena a partir de la siguiente expresión:

$$v = \frac{p * Z_i * N_i}{60}$$

En este caso que nos ocupa, si se toma la rueda piñón se tiene que:

- $p = 38,1$ [mm] o $0,0381$ [m]
- $z_1 = 25$ [dientes];
- $N_1 = 49$ [R.P.M.].

Por lo que la velocidad lineal de la cadena resulta ser de:

$$v = \frac{0,0381 \cdot 25 \cdot 49}{60} = 0,7778 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

Este valor es inferior a los **16 m/s** que marca como límite máximo la tabla de velocidades máximas en cadenas, que para una cadena de paso *38,1mm* marca los siguientes valores límites:

Tabla 3: RESTICCIONES DE CADENA MOTRIZ.

Paso de la cadena (mm)	Velocidad de giro máxima (r.p.m.)	Velocidad lineal máxima (m/s)
38,1	1.300	16

- **Comprobación del esfuerzo total soportado por la cadena**

Se puede obtener el valor del esfuerzo útil (F_u) que desarrolla la cadena a partir de la siguiente expresión:

$$F_u = \frac{P}{v}$$

Donde sabemos que la potencia del motor es de 15.000 [W] y la velocidad lineal promedio fue calculada anteriormente $0,7778 \text{ [m/s]}$

Sustituyendo valores resulta un esfuerzo útil de:

$$F_u = \frac{15.000}{0,7778} = 19.285,2 \text{ [N]}$$

El otro componente del esfuerzo, el debido a la fuerza centrífuga de la cadena (F_c), viene determinado por la siguiente expresión:

$$F_c = M \cdot v^2$$

Siendo M la masa unitaria [kg/m] de la cadena.

De la tabla de características técnicas para cadena triple se puede obtener que para una cadena Tipo 24B y paso 38,1 [mm] resulten las siguientes características:

- **Peso unitario (M): 22,79 [kg/m]**
- **Carga de Rotura (R): 53.200 [kp]**

Sustituyendo valores para el caso que nos ocupa resulta un esfuerzo debido a la fuerza centrífuga de la cadena de:

$$F_c = M \cdot v^2 = 22,79 \cdot 0,7778^2 = 13,8 \text{ [N]}$$

Por lo tanto el esfuerzo total que soporta la cadena es:

$$F_0 = F_u + F_c = 19.299 \text{ [N]} \text{ (1.967,4 [kp])}$$

Por lo que resulta un coeficiente de seguridad de:

$$C_s = \frac{R}{F_0} = \frac{36.100}{1.967,4} = 18,34$$

Se considera de buena práctica disponer de un coeficiente de seguridad de al menos $C_s > 1,2$, por lo que se cumple con la cadena seleccionada.

- **Comprobación de la presión máxima de contacto**

La presión de contacto (P_s) que ejerce la cadena sobre el flanco del diente de la rueda se puede calcular a partir de la siguiente expresión:

$$P_s = \frac{F_0}{d * l}$$

De nuevo, de la tabla de características técnicas para cadena doble se puede obtener para una cadena Tipo 24B y paso 38,1 [mm] los parámetros anteriores:

- **Diámetro del perno o eje (d): 14,64 [mm]**
- **Longitud del casquillo o anchura del eslabón interior (l): 25,4 [mm]**

Sustituyendo, resulta una presión o tensión de contacto de:

$$P_s = \frac{19.299}{14,64 * 25,4} = 51,9 [MPa]$$

Valor que es inferior a la $P_{sMáx} = 53,2 [MPa]$, según se puede extraer de la tabla con las presiones máximas admisibles en las articulaciones.

Tomando en consideración los cálculos previos, se puede señalar que la cadena seleccionada cumple con las exigencias a las cual será sometida en el equipo.

- En resumen las características de la cadena serán

- Serie: 24B
- Paso: 38,1 mm
- Tipo: cadena triple de rodillos
- Desarrollo o longitud: 2.362,2 mm
- N° de eslabones o enlaces: 62
- Distancia entre centros de las ruedas: 704,8 mm

- Calculo de eje

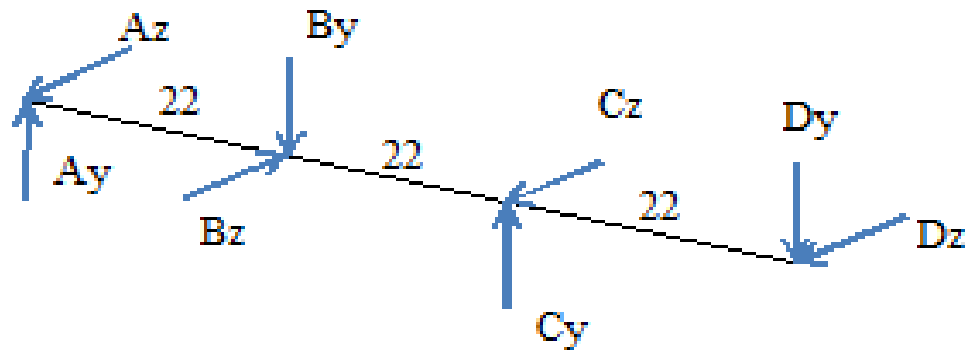


Figura 23: fuerzas sobre el eje

Pot= 20 [HP]

Vel Ang =48 [RPM]

$\varnothing B=30$ [cm]

$\varnothing D=31,9$ [cm]

$$T1/T2= 2$$

$$F.S. = 2,5$$

- **Momento torsor (Mt)**

Para calcular el momento torsor ocuparemos la siguiente formula

$$Mt = \frac{Pot * 63000}{RPM}$$

Donde Pot es la potencia del motor y RPM es la velocidad angular que gira el eje.

$$Mt = \frac{20 * 63000}{48} = 26250[Lb * in]$$

El momento torsor que obtuvimos esta en [Lb*in] y para nuestros cálculos lo ocuparemos en [Kg*cm] al hacer la conversión llegamos a que:

$$Mt = 30.203 [Kg * cm]$$

- **Fuerzas en el punto D**

Para calcular las fuerzas sobre el punto D ocuparemos la siguiente formula

$$Mt = (T1 - T2)Rd$$

Donde T1 y T2 es el lado tenso y el lado flojo respectivamente y Rd es el radio en el punto D. además ocuparemos la relación T1/T2= 2.

$$30.203 = (T1 - T2)15,95$$

De estas dos ecuaciones se obtiene que:

- **T1= 3.787 [Kg]**
- **T2=1.894 [Kg]**
- **T= 5.681 [Kg]**

Como la fuerza se aplica con un ángulo de 45° Ty y Tz son iguales

$$T_z = T_y = 4.017 \text{ [Kg]}$$

- **Fuerzas en el punto B**

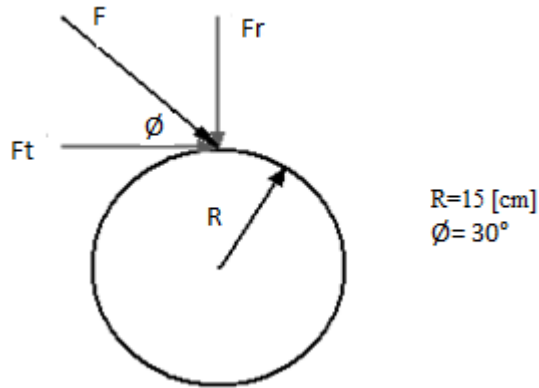


Figura 24: fuerzas sobre el polín

Para calcular la fuerza tangencial ocuparemos la siguiente formula

$$Ft = \frac{Mt}{R}$$

Al reemplazar los datos en la formula obtenemos:

$$Ft = \frac{30.203}{15} = 2.013,5 \text{ [Kg]}$$

Para calcular la fuerza radial ocuparemos la siguiente formula

$$Fr = Ft * \tan\phi$$

Al reemplazar los datos en la formula obtenemos:

$$Fr = 1.162,5 \text{ [Kg]}$$

En el punto B también descansa el peso del tambor para los cálculos se ha tomado un peso de 22.000[kg] que descansa sobre 6 polines

Descomponiendo la fuerza en la dirección Z e Y obtenemos:

$$Ft' = \frac{22.000 * \text{sen}(30)}{6} = 1.833[\text{Kg}]$$

$$Fr' = \frac{22.000 * \text{cos}(30)}{6} = 3.175[\text{Kg}]$$

Con estos cálculos ya podemos obtener las fuerzas By y Bz.

$$Fz = Ft + Ft' = 3.846,5$$

$$Fy = Fr + Fr' = 4.337,5$$

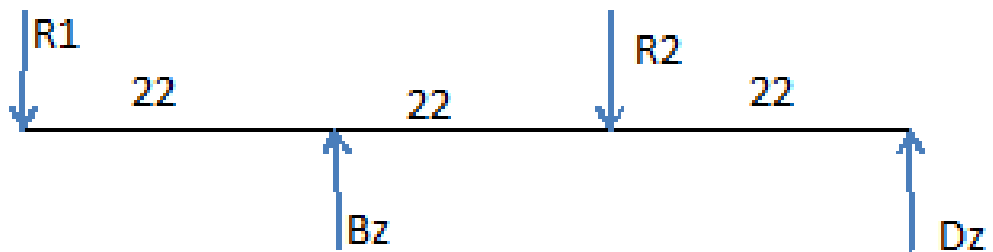


Figura 25: diagrama de fuerzas horizontales en el plano XY.

$$Bz=3.846,5 [\text{Kg}]$$

$$Dz=4.017 [\text{Kg}]$$

Para obtener R2 haremos sumatoria de momentos en A igual a cero

$$\sum MA = 0 = 22 * Bz + 3 * 22 * Dz - 2 * 22 * R2$$

$$R2 = \frac{22(3846,5 + 3 * 4017)}{2 * 22} = 7.948,75[Kg]$$

Para obtener R2 haremos sumatoria de fuerzas en Z igual a cero

$$\sum FZ = 0$$

$$R1 = 3.846,5 - 4.017 + 7948.75 = 1.938,25[Kg]$$

Momentos flectores en los puntos B y C

$$Mb = 24.134[Kg * cm]$$

$$Mc = 88.374[Kg * cm]$$

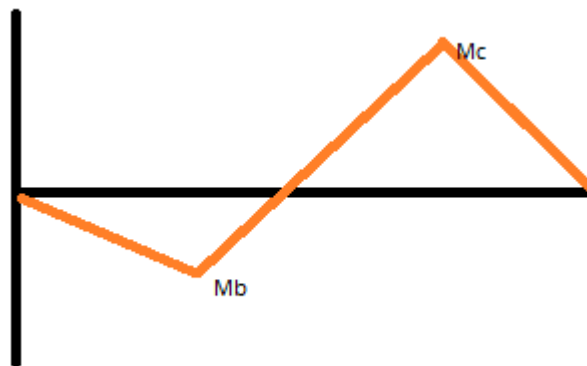


Figura 26: Diagrama de momento flector en el plano XY.

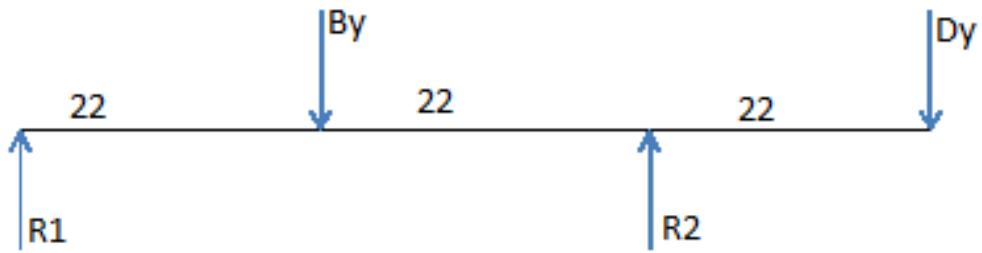


Figura 27: Diagrama de fuerzas horizontales en el plano XZ.

$$By = 4.337,5 [\text{Kg}]$$

$$Dy = 4.032 [\text{Kg}]$$

Para obtener R2 haremos sumatoria de momentos en A igual a cero

$$\sum MA = 0 = 2 * 22 * R2 - 22 * By - 3 * 22 * Dy$$

$$R2 = \frac{22(4.337,5 + 3 * 4.032)}{2 * 22} = 8.216,75 [\text{Kg}]$$

Para obtener R1 haremos sumatoria de fuerzas en Y igual a cero

$$\sum FY = 0$$

$$R1 = 4.337,5 + 4.032 - 8.216,75 = 152,75 [\text{Kg}]$$

Momentos flectores en los puntos B y C

$$Mb = 3.360 [\text{Kg} * \text{cm}]$$

$$Mc = 88.704 [\text{Kg} * \text{cm}]$$

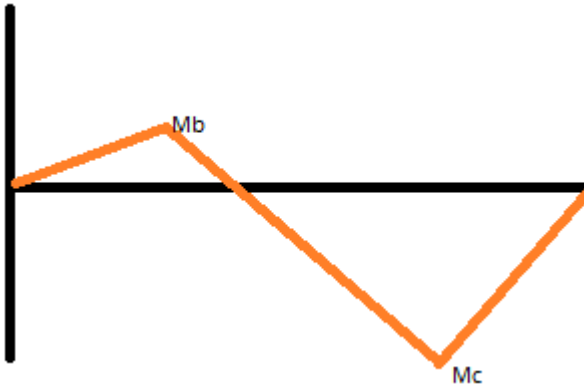


Figura 28: Diagrama de momento flector en el plano XZ.

Ahora podemos calcular los momentos combinados en los puntos B y C

$$M_b = \sqrt{M_{b1}^2 + M_{b2}^2}$$

$$M_b = \sqrt{(24.134)^2 + (3.360)^2} = 24.367[\text{Kg} * \text{cm}]$$

$$M_c = \sqrt{M_{c1}^2 + M_{c2}^2}$$

$$M_c = \sqrt{(88.374)^2 + (88.704)^2} = 125.213[\text{Kg} * \text{cm}]$$

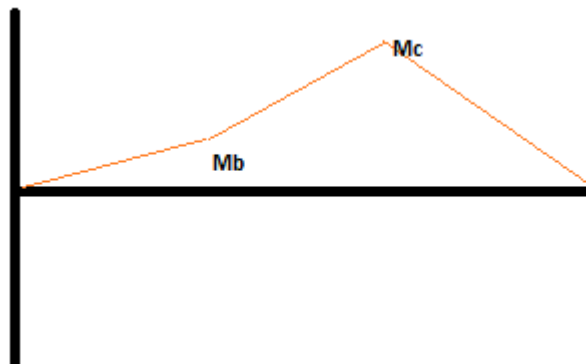


Figura 29: Diagrama de momento combinados.

En este diagrama se puede ver que en el punto c es donde los esfuerzos sobre el eje son máximos, por esta razón calcularemos el diámetro de eje en el punto c.

Este eje será construido en acero SAE4340 según los datos del proyecto. Las propiedades mecánicas utilizadas serán las del catálogo 2014 de aceros Otero.

BARRAS DE ACEROS ALEADOS

AISI / SAE 4340

Características
 Acero de baja aleación al Cromo Níquel Molibdeno. Posee gran templabilidad, tenacidad y resistencia a la fatiga. Se suministra con tratamiento térmico de bonificado (temple y revenido). Se utiliza en piezas que están sometidas a grandes exigencias de dureza, resistencia mecánica y tenacidad. Su maquinabilidad es regular y posee baja soldabilidad.

Aplicaciones
 Se utiliza en la fabricación y reparación de partes y repuestos que están sometidos a muy altos esfuerzos dinámicos tales como cigüeñales, ejes de levas, árboles de transmisión, barras de torsión, ejes, vástagos, componentes oleohidráulicos, poleas, barras de parrillas para hamero, componentes de barras de perforación, discos de freno, piñones, pernos y tuercas sometidos a grandes esfuerzos. En general, es recomendado en aplicaciones de piezas de gran sección con elevadas exigencias mecánicas.

Formas	Color
○	

Estado de Suministro	Rango de Medidas
Laminado con tratamiento térmico de bonificado, tolerancia DIN 1013	140mm - 580mm
Forjado con tratamiento térmico de bonificado	5/8 a 330mm

Propiedades Mecánicas Acero Bonificado (Valores típicos)			
Dureza Estado Bonificado (HRc)	Esfuerzo Fluencia (mín.) (Kg / mm ²)	Esfuerzo Tracción (Kg / mm ²)	Elongación %
28 - 34	60 - 74	90 - 105	10 - 18

Composición Química							
% C	% Mn	% Si	% Cr	% Ni	% Mo	% P	% S
0,38 - 0,43	0,60 - 0,80	0,15 - 0,35	0,70 - 0,90	1,65 - 2,00	0,20 - 0,30	≤ 0,035	≤ 0,04

Figura 30: propiedades del acero utilizado para el eje.

Para calcular el diámetro de eje ocupando la fórmula de esfuerzos cortantes máximos

$$D^3 = \frac{16}{\pi * \tau_{adm}} \sqrt{(Mf)^2 + (Mt)^2}$$

$$\tau_{adm} = \frac{S_y}{2n}$$

Donde

- $S_y=6000$

- $n=2,5$

$$\tau_{adm} = \frac{6.000}{2 * 2,5} = 1.200$$

$$D^3 = \frac{16}{\pi * 1.200} \sqrt{(125.213)^2 + (30.203)^2}$$

$$D = 8.17 [cm]$$

El diámetro de eje calculado es de 81,7[mm] para el diseño del equipo se ocupó un diámetro de 90 [mm] ya que el diámetro requerido es menor al diámetro de diseño se mantendrá el diámetro de diseño.

11 Valorización de un cementador de cobre

En los capítulos anteriores realizamos el diseño del sistema motriz para un cementador de cobre, el objetivo de este capítulo es desarrollar la valorización para el cementador de cobre con el fin de cuantificar los costos de fabricación de este equipo, cabe destacar que todos los valores que mencionaremos son valores netos.

Tomando en cuenta que es un equipo que se fabrica a pedido, bajo varias especificaciones técnicas entregadas por el comprador, solo en modalidad de venta en forma directa se efectuara un análisis de costo de fabricación y no de viabilidad del proyecto, con esto dejaremos fuera los costos de mantención y operación del equipo.

Por otro lado, podremos realizar el flujo de caja de la construcción de un cementador de cobre.

11.1 Costos de fabricación del sistema motriz

En el sistema motriz hay un componente que no es comercial y que debe ser fabricado, los cuales son las 3 pistas de rodado que son hechas en acero inoxidable cortado con corte laser, armadas y soldadas en maestranza.

En la tabla 4 podemos ver el detalle de los componentes de las pistas de rodado, el precio unitario de cada componente y el costo total por componente.

Tabla 4: PISTA DE RODADO

pista de rodado			
Componente	cantidad	Precio	total
acero inoxidable	1.252	\$ 1.950	\$ 2.441.400
acero inoxidable	428	\$ 2.500	\$ 1.070.000
corte laser	1	\$ 983.801	\$ 983.801
Ensamble	3	\$ 400.000	\$ 1.200.000
Total			\$ 5.695.201

Las 3 pistas de rodado tienen un costo neto de \$ 5.695.201 pesos chilenos como se muestra en la tabla 4.

A continuación, en la tabla 5 podemos ver las partes del sistema motriz, también encontramos la cantidad de componentes que necesita el cementador de cobre, el precio unitario de cada componente y el total por componente.

Tabla 5: SISTEMA MOTRIZ

sistema motriz			
Componente	Cantidad	Precio	Total
motor-reductor	1	\$ 1.497.262	\$ 1.497.262
piñón triple	2	\$ 546.000	\$ 1.092.000
cadena triple	1	\$ 224.953	\$ 224.953
unión de cadena	1	\$ 5.040	\$ 5.040
pillow block	12	\$ 441.562	\$ 5.298.744
Polín	6	\$ 125.000	\$ 750.000
ejes SAE- 4340	3	\$ 122.820	\$ 308.278
unión de eje	2	\$ 462.303	\$ 924.606
pista de rodado	3	\$ 1.898.400	\$ 5.695.201
estanque fibra de vidrio	1	\$ 20.283.940	\$ 20.283.940
total			\$ 36.080.024

El sistema motriz del cementador de cobre tiene un costo neto de \$ 36.080.024 pesos chilenos como se detalla en la tabla 5

Como se puede apreciar en la tabla 5 el componente de costo más elevado es el estanque de fibra de vidrio, que debe ser en este material por sus propiedades químicas que lo protegen del licor ácido que reacciona en su interior, pero si revisamos sus propiedades mecánicas, nos daremos cuenta que es un material muy frágil, para cuidar el estanque de fibra de vidrio se fabricará un recubrimiento de desgaste, para este recubrimiento de desgaste se utilizara HDPE que al igual que la fibra de vidrio resiste el ataque químico del licor ácido pero posee mejores cualidades mecánicas, ya que tenemos que tener en cuenta que dentro del estanque de fibra de vidrio habrá chatarra de fierro en movimiento.

En la tabla 6 y en la tabla 7 se puede ver los componentes, cantidad y precio de los dos tipos de corazas que podemos encontrar en el recubrimiento de desgaste. Estos valores serán utilizados posteriormente en la tabla 8

Tabla 6: CORAZAS MANTO.

corazas manto			
Componente	cantidad	Precio	Total
HDPE	1	\$ 133.714	\$ 133.714
Soldadura HDPE	5	\$ 4.300	\$ 21.500
Total			\$ 155.214

Tabla 7: CORAZAS TAPA.

corazas tapa			
Componente	cantidad	Precio	Total
HDPE	1	\$ 35.143	\$ 35.143
Soldadura	1	\$ 4.300	\$ 4.300
Total			\$ 39.443

En la tabla 8 podemos ver el costo de los componentes del recubrimiento interno del estanque de fibra de vidrio.

Tabla 8: RECUBRIMIENTO INTERNO

recubrimiento interno			
Componente	cantidad	precio	total
coraza tapas	32	\$ 39.443	\$ 1.262.171
coraza manto	64	\$ 155.214	\$ 9.933.714
lifter 500 mm	48	\$ 68.980	\$ 3.311.040
lifter 820 mm	16	\$ 110.000	\$ 1.760.000
pernos recubierto en HDPE	128	\$ 9.300	\$ 1.190.400
Total			\$ 17.457.326

Como se puede ver en la tabla 8 el costo neto del recubrimiento interno es de \$ 17.457.326, este recubrimiento de desgaste alarga de forma considerable la vida útil del estanque de fibra de vidrio, ya que este recubrimiento absorbe la mayor parte del daño mecánico por el movimiento de la chatarra de fierro en su interior y al ser un recubrimiento dividido en secciones se puede reemplazar o reparar las secciones que presenten un daño considerable y pongan en riesgo el estanque de fibra de vidrio.

Para que un cementador de cobre giratorio cumpla con las normas de seguridad debe tener un sistema de extracción de gases. Debido a que en la reacción que se produce en el interior del cementador de cobre se produce hidrógeno (que es un gas que puede generar explosiones), se debe instalar un ducto de ventilación para evitar la acumulación de hidrogeno en el interior de tambor.

En las tabla 9 se puede ver los componentes, cantidad y precio del sistema de extracción de gases.

Tabla 9: EXTRACCION DE GASES

extracción de gases			
Componente	Cantidad	Precio	Total
Ventilador	1	\$ 3.200.000	\$ 3.200.000
Descarga	1	\$ 50.000	\$ 50.000
filtro de neblina	1	\$ 500.000	\$ 500.000
cañería HDPE 250	20	\$ 8.500	\$ 170.000
Estructura	312	\$ 2.000	\$ 624.000
Total			\$ 4.544.000

Podemos ver en la tabla 9 el costo neto del sistema de extracción de gases es de \$ 4.544.000, este valor es un precio bastante bajo, para las grandes ventajas que entrega el sistema de extracción de gases ya que minimiza una posible explosión, (la mayoría de las ocasiones que han sucedido estas explosiones han resultado muertos o con lesiones graves el personal de mantención del equipo), esta situación conlleva la detención de la faena de producción mientras se aclara los motivos de las explosión.

Para poder recuperar el cemento de cobre que se produce dentro del reactor, se necesita una estructura que reciba el PLS agotado mezclado con el cemento de cobre para un posterior filtrado. En la tabla 10 se puede ver los componentes, cantidad y precio del sistema de descarga de cemento de cobre.

Tabla 10: SISTEMA DE DESCARGA.

Sistema de descarga			
Componente	Cantidad	Precio	total
Estructura	152	\$ 2.000	\$ 304.000
Chute	1	\$ 500.000	\$ 500.000
rejilla HDPE	1	\$ 98.000	\$ 98.000
Total			\$ 902.000

El cementador giratorio descansa sobre una estructura metálica, al igual que el sistema de carga y de descarga. En la tabla 11 se puede ver los componentes, cantidad y precio de las estructuras que posee el cementador de cobre y no han sido consideradas en los ítem anteriores.

Tabla 11: ESTRUCTURA

Estructura			
Componente	cantidad	precio	total
carga de chatarra	1	\$ 753.000	\$ 753.000
Base	1.245	\$ 1.900	\$ 2.365.500
sistema de carga	521	\$ 1.900	\$ 989.900
Barandas	9	\$ 37.241	\$ 335.169
parrilla fibra de vidrio	2	\$ 95.164	\$ 190.328
Total			\$ 4.633.897

Para las uniones entre los componentes y la estructura del cementador vibratorio se ocuparan pernos grado 8 (no se tomara en cuenta los pernos de anclaje que son necesarios para evitar volcamiento). En la tabla 12 se puede ver los componentes, cantidad y precio de los pernos que se ocuparan en el equipo.

Tabla 12: LISTADO DE PERNOS

listado de pernos			
Componente	Cantidad	precio	total
perno 1/2"x5"	200	\$ 970	\$ 194.000
tuerca 1/2"	200	\$ 139	\$ 27.800
golilla plana 1/2"	200	\$ 41	\$ 8.200
perno 5/8"x2"	200	\$ 554	\$ 110.800
tuerca 5/8"	200	\$ 173	\$ 34.600
golilla plana 5/8"	200	\$ 88	\$ 17.600
Total			\$ 393.000

Otros gastos que no se han considerado en los ítem anteriores son asesorías externas, transporte de materiales, imprevistos, ETC. En la tabla 13 se puede ver los componentes, cantidad y precio de este ítem. Los imprevistos pueden ser a causa de

un atraso en la entrega, falta de materiales de parte de proveedores lo que provocara un costo extra en la compra, diferencias en el transporte cotizado y piezas que se fabrique en maestranzas externas en caso de atraso.

Tabla 13: EXTRAS DEL EQUIPO

Extras del equipo			
Componente	Cantidad	precio	total
transporte Santiago	6	\$ 130.000	\$ 780.000
Ingeniería	4	\$ 500.000	\$ 2.000.000
MAT instrumentación	1	\$ 1.850.000	\$ 1.850.000
pintura	3	\$ 315.880	\$ 947.640
Total			\$ 5.577.640

Por otra parte, el equipo ira provisto de repuestos de sus elementos críticos que son los elementos de desgaste interno y los elementos de desgaste externos por donde deslizan las pistas de rodado. En la tabla 14 se puede ver los componentes, cantidad y precio de los repuestos enviados con el equipo.

Tabla 14: REPUESTOS.

Repuestos			
Componente	Cantidad	Precio	total
coraza tapas	32	\$ 39.443	\$ 1.262.171
coraza manto	64	\$ 155.214	\$ 9.933.714
lifter 500 mm	48	\$ 68.980	\$ 3.311.040
lifter 820 mm	16	\$ 110.000	\$ 1.760.000
pillow block	4	\$ 441.562	\$ 1.766.248
Polín	2	\$ 125.000	\$ 250.000
Total			\$ 18.283.174

Cabe señalar que todos los valores que hemos ocupado son valores compra, en todos los ítem mencionados anteriormente no se ha incorporado la mano de obra en el costo de fabricación, para el cementador de cobre se tomara en cuenta un tiempo de fabricación en taller de 6 meses, también se considerará un mes extra, para supervisar en la instalaciones faena. En la tabla 15 se detalla el ítem de mano de obra para la fabricación de un cementador de cobre.

Tabla 15: MANO DE OBRA.

mano de obra			
Cargo	Sueldo	tiempo	total
soldador acero	800.000	7	5.600.000
soldador HDPE	700.000	7	4.900.000
Ayudante	500.000	6	3.000.000
Ayudante	500.000	6	3.000.000
Proyectista	800.000	6	4.800.000
instrumentista	700.000	6	4.200.000
jefe de proyecto	2.000.000	7	14.000.000
Dibujante	850.000	6	5.100.000
Total			44.600.000

Al sumar todos los ítems mencionados anteriormente, obtenemos que el valor neto de fabricación de un cementador de cobre de \$ 140.471.061.

Ya que tenemos el costo neto de fabricar un cementador de cobre estamos en condiciones de realizar un estado de resultado del proyecto, ya que se cuentan con todos los costos del proyecto, el valor de venta está fijado en \$ 312.000.000 pesos chilenos aprox. Y se tomara un costo de financiamiento de 1% mensual. En la tabla 16 podemos ver el estado resultado del proyecto.

Tabla 16: ESTADO RESULTADO.

Estado de resultado	
ingreso por venta	\$ 312.000.000
costo de la explotación	-\$ 132.471.061
margen de la explotación	\$ 179.528.939
gastos financieros	-\$ 8.149.640
resultado antes de impuesto	\$ 171.379.300
Impuesto a la renta (21%)	-\$ 35.989.653
utilidad del ejercicio	\$ 135.389.647

12 Plan de manufactura

Para la fabricación del equipo se formaran 2 grupos de trabajo a los cuales se le entregaran distintas actividades a desarrollar, el grupo 1 estará encargado de las piezas que se fabriquen con HDPE y el grupo 2 de estructuras y piezas de acero.

Tabla 17: PLAN DE TRABAJO GRUPO 1.

Actividad	duración	inicio	fin	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
recubrimiento interno																														
dimensionar HDPE	3	1	3	■	■	■																								
curvar HDPE	6	4	9				■	■	■	■	■	■																		
revisar dimensiones	1	10	10										■																	
pernos recubrimiento interno																														
hilo acero	1	11	11											■																
cabeza del perno	1	12	12												■															
HDPE	2	13	14													■	■													
Soldadura	2	15	16														■	■												
Prueba	1	17	17																	■										
descarga cemento																														
Chute	2	18	19																			■	■							
apoyar equipo 2	8	20	27																				■	■	■	■	■	■	■	

Tabla 18: PLAN DE TRABAJO GRUPO 2

Actividad	duración	inicio	fin	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
armar pistas de rodado	3	2	4		■	■	■																								
rematar pistas de rodado	3	5	7					■	■	■																					
revisar soldadura	1	8	8								■																				
polines																															
Fabricación	2	8	9								■	■																			
Engomar	1	10	10									■																			
base polines	2	11	12										■	■																	
motor-reductor																															
base motor-reductor	1	12	12												■																
pintura																															
pintar bases	1	13	13													■															
armado del equipo																															
estructura cadena cinemática	1	14	14														■														
instalar polines y alinearlos	1	15	15															■													
unir estanque con pistas de rodado	2	16	17																■	■											
recubrimiento interno	2	18	19																		■	■									
Chute	1	20	20																				■								
carga de chatarra	2	21	22																					■	■						
Ventilador	1	23	23																							■					
prueba seca	1	24	24																								■				
prueba húmeda	1	24	24																									■			
Embalaje	2	25	26																										■	■	
cargar camiones	1	27	27																											■	

Tabla 19: PLAN DE COMPRA

Actividad	duración	inicio	fin	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
compra materiales iniciales																														
planchas HDPE	1	1	1	■																										
soldadura HDPE	1	1	1	■																										
hilo pernos recubrimiento interno	1	1	1	■																										
planchas de acero	1	1	1	■																										
soldadura acero	1	1	1	■																										
fabricación piezas en corte laser	2	1	2	■	■																									
compra componentes para semana 12																														
lifter de goma	1	11	12											■	■	■														
ruedas dentadas	2	10	12										■	■	■															
cadena	1	11	12											■	■	■														
pillow block	1	11	12											■	■	■														
Ejes	1	11	12											■	■	■														
unión ejes	1	11	12											■	■	■														
Pernos	1	11	12											■	■	■														
estructura cadena cinemática	1	11	12											■	■	■														
estructura carga de chatarra	3	9	12										■	■	■															
Ventilador	2	10	12										■	■	■															
compra componentes iniciales 14																														
motor-reductor	9	5	14					■	■	■	■	■	■	■	■	■														
estanque de fibra de vidrio	2	12	14												■	■	■													

Equipo 1

Dimensionamiento HDPE: en esta etapa se cortara el HDPE para que tenga las dimensiones necesarias para formar una coraza.

Curvar HDPE: en esta etapa se curvara el HDPE para formar una coraza con el radio de curvatura similar a radio de curvatura interior del reactor.

Hilo acero: en esta etapa se cortaran el hilo para poder fabricar pernos a medida.

Cabeza de perno: en esta etapa se cortaran piezas rectangulares que calcen en los lifter para poder fabricar los pernos de sujeción.

Recubrimiento de HDPE: en esta etapa se dimensionara HDPE para cubrir el perno.

Soldadura de HDPE: en esta etapa se suelda todas las uniones para lograr un sellado total.

Prueba: en esta etapa se hace una prueba de soplado para revisar el sellado.

Chute: en esta etapa se hace una descarga en HDPE con una estructura metálica

Equipo 2

Armar pistas de rodado: en esta etapa se ensamblan piezas cortadas con láser para dar forma deseada fijando con soldadura

Rematar pistas de rodado: en esta etapa se suelda de forma definitiva las pistas de rodado

Revisar soldadura: en esta etapa verifica que no hayan poros es la soldadura y que las piezas no hayan perdido la forma.

Polines

Fabricación: en esta etapa se corta cañería a medida y poner tapa en los extremos.

Engomar: en esta etapa se recubre la parte del polín que estará en contacto con la pista de rodado.

Bases polines: en esta etapa se arma y suelda piezas cortadas con láser.

Bases motor-reductor: en esta etapa se arma y suelda piezas cortadas con láser.

Pintar bases: en esta etapa se arena, aplica anti oxidante y aplica pintura.

13 Conclusiones y sugerencias

Tomando en cuenta que la velocidad de giro de 4 R.P.M. es una velocidad muy elevada para que opere el equipo, ya que carece de todo respaldo técnico como se demostró anteriormente, ya que se solicitó la fabricación del cementador de cobre con materiales resistentes a la alta agresividad química, como lo son la fibra de vidrio para el cuerpo principal y el H.D.P.E. para el revestimiento interior, además teniendo en consideración las cargas señaladas anteriormente. Por lo que se recomienda bajar la velocidad de operación del equipo a un rango de 0,2 – 0,35 R.P.M. como se señala en los estudios y publicaciones hechas por CODELCO dueño de la patente del cementador de cobre. De qué forma se recomienda reducir la velocidad: hacer una reducción mecánica por medio de un reductor de velocidad o cambiando las ruedas dentadas para de esta forma llegar a una velocidad de giro que se encuentre entre 1 – 2 R.P.M., al llegar a esta velocidad de giro regular a la velocidad antes mencionada con un variador de frecuencia.

Cabe señalar que aunque con un variador de frecuencia se puede llegar directamente a las velocidades antes mencionadas, sin necesidad de una reducción mecánica, no se recomienda ya que el motor estaría funcionando a menos de un 10% de su capacidad lo que sobrecargara mucho su trabajo, lo que puede desencadenar que el motor se queme.

Para efectuar la reacción dentro del tambor de una forma eficiente se necesita chatarra de fierro con una alta superficie de contacto, por lo que los bloques de chatarra no deben ir muy prensados, o de otra forma que la densidad del cubo de chatarra no sea tan elevada, ya que se cargara el equipo con más peso para el que fue diseñado para obtener la recuperación deseada o si se carga con el peso correspondiente por diseño no se agotara el cobre disuelto en el PLS y al enviar el PLS a cloración tendremos un producto contaminado que entrara nuevamente en el proceso generando un círculo vicioso que ocasionará la necesidad de una planta de mayor capacidad. Además, cabe señalar que los bloques de chatarra se deben cortar para que desarme fácilmente la chatarra prensada, ya que si se forman dendritas en el interior del bloque no podrán salir, lo que ocasionara una pasivación de la chatarra de fierro ocasionando el mismo problema mencionado anteriormente.

El diseño del equipo es muy seguro, teniendo en mente los casos de explosiones por acumulación de hidrogeno que ha ocasionado víctimas fatales como se muestra en el anexo 2, ya que el estanque se encuentra abierto en ambos extremos, a su vez se cuenta con un sistema de extracción de gases, que elimina cualquier posibilidad se una explosión por acumulación de hidrogeno, por último el equipo está instalado en una estructura en altura al aire libre lo que aumenta la ventilación del equipo.

Ya que el cementador consta de tres secciones cada una con su pista de rodado correspondiente, pero en el diseño original consta con solo dos pistas de rodado motrices y una pista de rodado conductora, se recomienda prolongar el eje motriz para dejar las tres pistas de rodado motrices para así evitar el esfuerzo de torsión que debe soportar la fibra de vidrio en cada puesta en marcha del equipo, lo que puede llevar a un deterioro prematuro del tambor de fibra de vidrio.

Se recomienda hacer seguimiento a todos los elementos de desgaste para programar su mantención, en especial cuidado en el desgaste de los lifter ya que son los encargados de levantar la chatarra y asegurar la remoción de las dendritas adheridas a la chatarra de fierro, si los lifter no son cambiados a tiempo le interior del tambor quedara como un cilindro convencional lo que provocara una disminución del movimiento de la chatarra dentro del reactor lo que ocasionará una pasivación de la chatarra de fierro, ocasionando los problemas mencionados anteriormente debido a la pasivación de la chatarra de fierro.

14 Referencias

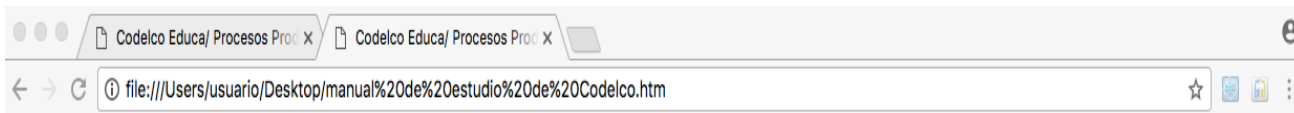
1. Biblioteca interna de proyectos EQIIP.
2. John H. Perry, "manual del ingeniero químico 1"
3. John H. Perry, "manual del ingeniero químico 2"
4. Richard G. Budynas, J.Keith Nisbett, "diseño en ingeniería mecánica de shigley", octava edición.
5. Serway, Beichner "Física" volumen 3.
6. CODELCO, codelcoeduca [en línea]
<https://www.codelcoeduca.cl/procesos_productivos/tecnicos_electroobtencion_proceso.asp> [consulta :julio 2017]
7. Uson [en línea] <<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/23104/Capitulo4.pdf>> [consulta: noviembre 2016]
8. Uson [en línea] <<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/3300/Capitulo3.pdf>> [consulta: noviembre 2016]
9. CODELCO, codelcoeduca [en línea]
<https://www.codelcoeduca.cl/procesos_productivos/tecnicos_lixivacion_extraccion.asp>[consulta :julio 2017]
10. Formulación química, [en línea] <<http://www.formulacionquimica.com>> [consulta: febrero 2018]
11. Danafloat [en línea]
<http://www.danafloat.com/es/mining_ores/copper_molybdenum> [consulta: agosto 2017]
12. CODELCO, codelcoeduca [en línea]
<https://www.codelcoeduca.cl/procesos_productivos/escolares_lixivacion.asp>[consulta :julio 2017]
13. CODELCO, codelcoeduca [en línea]
<https://www.codelcoeduca.cl/procesos_productivos/tecnicos_flotacion.asp>[consulta :julio 2017]

14. Instituto Nacional de Propiedad Intelectual, Chile [en línea]

<<http://inapi.cl/portal/institucional/600/w3-channel.html>> [consulta: marzo 2016]

15 Anexos

15.1 Anexo 1: Velocidad de giro



Precipitación con equipos rotatorios discontinuos

Estos equipos fueron desarrollados en Alemania en la década del 60, y se les conoce como "fall-trommels". En Chile, fueron utilizados en la Mina La Cascada entre los años 1972 y 2000, y en Mantos Blancos desde 1991 a 1996.

Cada reactor de estos equipos está formado por una botella de acero cilíndrica, cerrada y con un extremo semi-esférico. Su capacidad alcanza a los 33 metros cúbicos y tiene un eje inclinado a unos 25 grados por encima de la horizontal. A su vez, el reactor cuenta con los mecanismos necesarios para rotar lentamente sobre el eje a unas 0,3 rpm, similar a la rotación que mantienen los camiones que transportan cemento.

La gran ventaja de estos reactores en relación al uso de las bateas, es que logran mantener la chatarra en movimiento permanente, con lo que el cobre depositado se despega continuamente, generando nuevas superficies de precipitación y pudiendo así alcanzar grandes rendimientos.

Precipitación con equipos rotatorios continuos

A partir de los diseños originales de lo alemanes, en los años 60 se desarrolló en Chile una serie de reactores cilíndricos, pero horizontales, de diversas dimensiones, inicialmente hechos de madera y con sistemas de movimiento similares a los de un molino de bolas, que giran sobre su eje a una frecuencia muy baja, correspondiente a una vuelta por cada 3 a 5 minutos.

En su interior, los cilindros presentan un sistema de protección basado en tacos de madera de fibra larga, similar a la del eucalipto, colocados uno al lado del otro, con el sentido de la fibra orientada hacia el interior del reactor.

Al humedecerse, la madera se hincha, generando un sello perfecto para el líquido contenido. En el manto del cilindro se ubica una compuerta para efectuar el relleno de chatarra cada vez que se inicia un nuevo turno.

15.2 Anexo 2: explosión en cementador

De: Cristian Yutronic [<mailto:cristian.yutronic@semageomin.cl>]

Enviado el: jueves, 24 de mayo de 2012 10:54

Para: Jaime Guzmán Ocaño; Leopoldo Guerrero; hugo.herrera@teck.com; alfredo.balanda@teck.com; gdiparodi@mineradayton.cl; rbriceno@mineradayton.cl; eweber@cmp.cl; ylarraechea@cmp.cl; creinking@cmp.cl; mramos@cmp.cl; prendic@cmsq.cl; cvasquez@cmsq.cl; fquede@cmsq.cl; jorge.diaz@talcuna.cl; jcontreras1@ytr.net; montecinos@mineralinderos.cl; asalin@mineralinderos.cl; lautaro.manriquez@altospunitaqui.cl; cesar.ruiz@altospunitaqui.cl; ptobar@hmcgold.cl; raul.rojas.h@gmail.com; indioleo@gmail.com; dcruz@mineracruz.cl; eaquire@mineracruz.cl; carlos.roa@cmla.cl; jorge.vilches@cmla.cl; ramon.zuleta@almabal.cl; jminay@mineraatermas.cl; jreghez@gmail.com; lperez@scmtambillos.cl; ctaborga@scmtambillos.cl; ofeilu@enami.cl; criffoc@enami.cl; asominovale@hotmail.com; empresasvillalobos@gmail.com; patricio683@gmail.com; asominserena@hotmail.com; asominera2lahiguera@hotmail.com; asandacollo@terra.cl; asominera_punitaqui@yahoo.es; asomineracomba@hotmail.com; jlizana@minmineria.cl; lalfaro@minmineria.cl; amendez@enami.cl; ygonzalez@enami.cl

Asunto: RV: Accidente Fatal en Copiapó

Estimados:

Ante todo saldarles.

Les informo que, además del accidente grave que mantuvo atrapados a 2 mineros de la 8va. Región por casi 23 horas, los cuales salieron ilesos, tuvimos un nuevo accidente fatal. Esta vez, en la Compañía Minera Teresita Ltda., Sierra Las Pintadas, Tierra Amarilla, Región de Copiapó. El Trabajador accidentado es el señor René Inostroza Muñoz, 42 años, con una experiencia en minería de 10 años, pero 7 meses en el cargo de Operaciones Planta.

Conforme a la información del Informe Preliminar, "Mientras personal de Operaciones de la planta procedía al retiro de la tapa del precipitador N° 3 para cargar chatarra de fierro, al desapernar el último perno, por razones que se investigan, se genera una explosión que desprende abruptamente la tapa del precipitador la que golpea al trabajador, que (disparado a una distancia de 10 metros) cae sobre una estructura metálica contigua y después al piso. Inmediatamente, la tapa del precipitador cae sobre su cuerpo, aplastándolo. Compañeros de trabajo le auxilian rápidamente, retirándole la tapa desde su cuerpo, para luego, solicitar la ayuda respectiva. El trabajador fallece en el lugar." El análisis preliminar arroja que, faltan procedimientos de trabajo para esa operación.

Se adjunta fotos del lugar de los hechos.

Les solicitamos a Ustedes, quienes tienen el poder del cambio en sus organizaciones, difundan esta información entre sus supervisores, trabajadores y empresas contratistas, con el fin de tomar acciones preventivas en conjunto, respecto a los accidentes fatales ocurridos a la fecha.

Les informo además que el Servicio dentro de su programa de fiscalización, dará un especial hincapié a las acciones tomadas por la empresa respecto a la difusión de los accidentes, análisis de los accidentes, verificación de procedimientos aplicables en terreno, supervisión, entre otros.

Se adjunta además información enviada mail anterior.

Con este accidente, la estadística a esta fecha, queda como sigue:

Accidentes Víctimas

Mayo 2012 11 14

Mayo 2011 10 10

Mayo 2010 24 26

Mayo 2009 12 18

Agradeciendo su compromiso y solicitándole acusar recibo del presente mail, me despido atentamente.



Cristian Yutronic Miranda

Director Regional

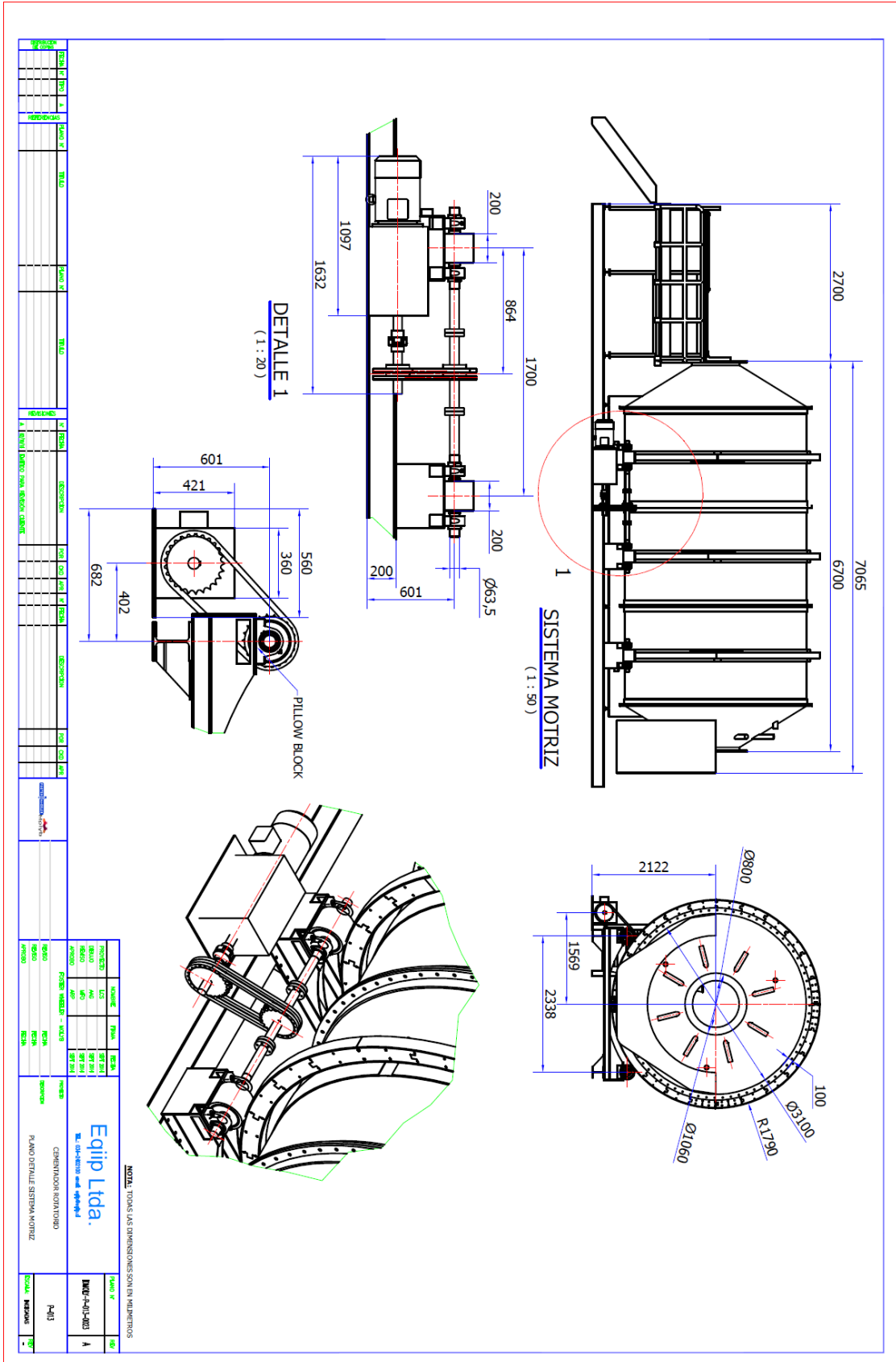
SERNAGEOMIN - Región de Coquimbo

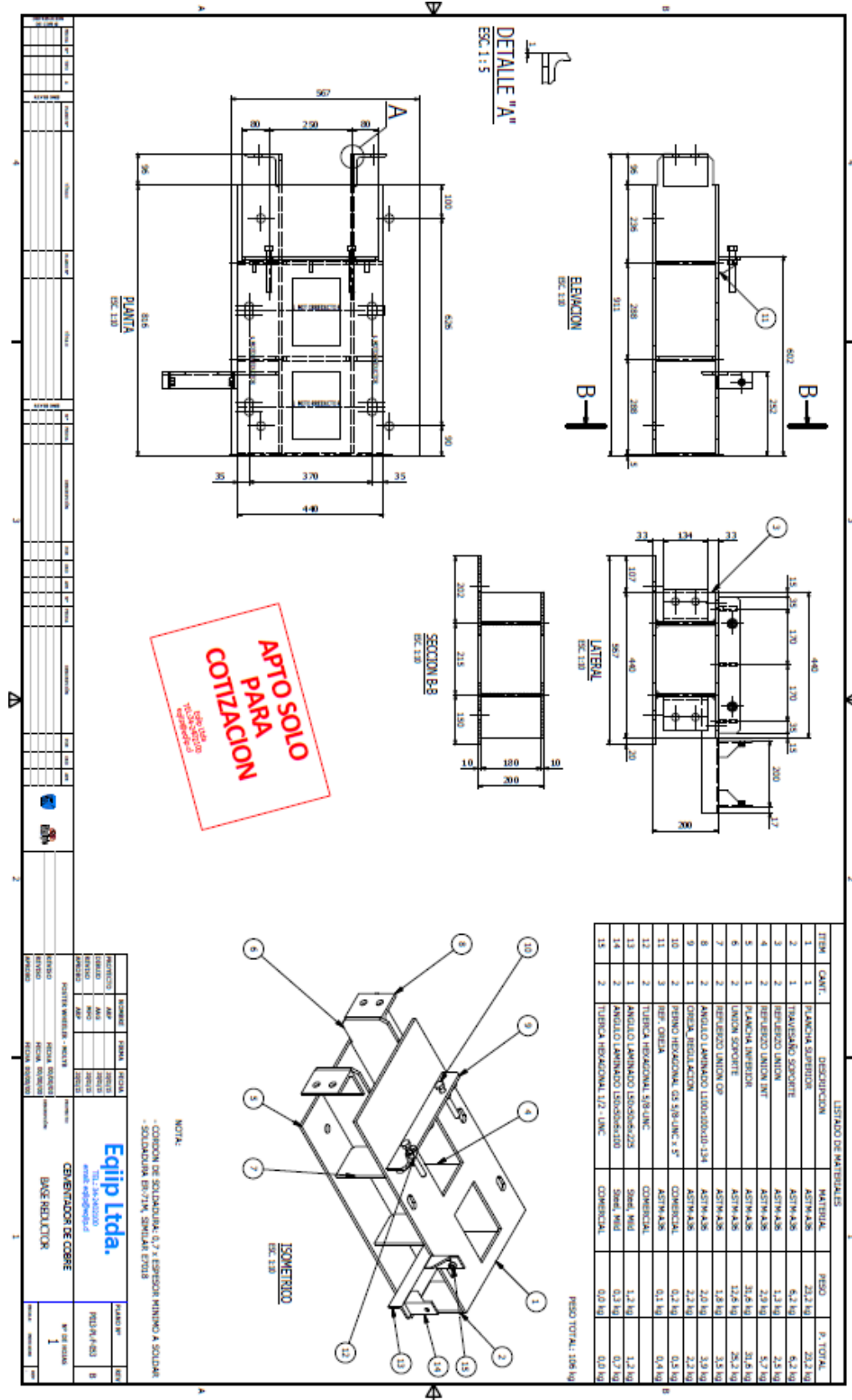
Servicio Nacional de Geología y Minería.

Almagro N° 402 - La Serena.

(56-51) 210043 - 219989 - 214103

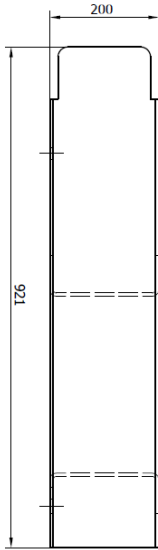
www.semageomin.cl



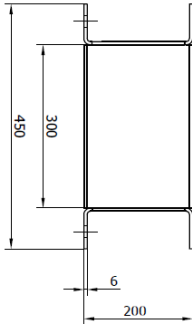


ITEM	CANT.	DESCRIPCION	MATERIAL	PESO	P. TOTAL
1	2	C 200 x 75 x 6	ASTM-A36	13,6 kg	27,2 k
2	2	C 200 x 75 x 6	ASTM-A36	4,7 kg	9,3 k

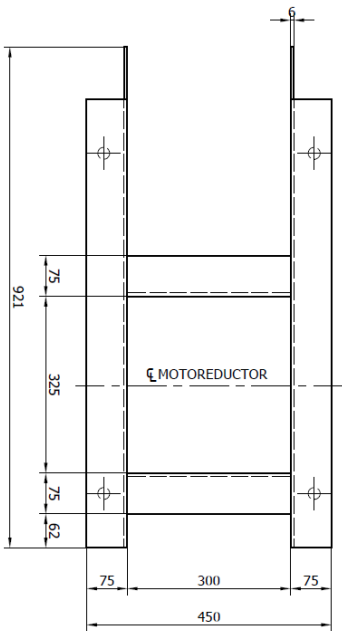
CONJUNTO PESO TOTAL: 36,5 k



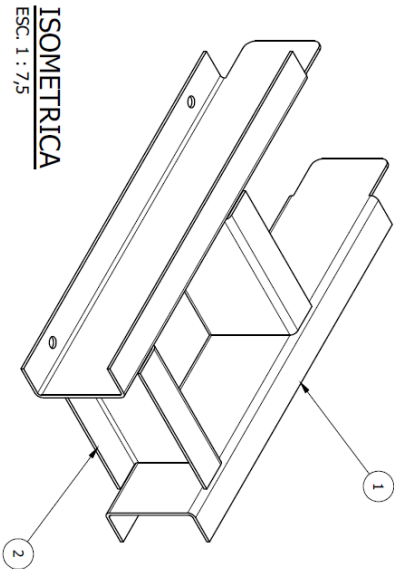
ELEVACION
ESC. 1 : 7,5
CANT.: FABRICAR 1 UNIDAD



LATERAL
ESC. 1 : 7,5



PLANTA
ESC. 1 : 7,5



ISOMETRICA
ESC. 1 : 7,5

NOTAS DE FABRICACION:

- 0) EL FABRICANTE DEBERA TENER A LA VEZ LOS DISEÑOS, SEÑALES SECUNDARIAS Y REQUERIMIENTOS.
- 2) EL FABRICANTE DEBERA HACER UN REPORTE EN TODAS LAS PIEZAS PARA VERIFICAR LA CORRECTA INSTALACION.

DISTRIBUCION DE COPIAS				REFERENCIAS				REVISIONES				REVISIONES							
FECHA	N°	TIPO	A	PLANO N°	TITULO	PLANO N°	TITULO	N°	FECHA	DESCRIPCION	PAJE	ORD	PAJE	N°	FECHA	DESCRIPCION	PAJE	ORD	PAJE

PROYECTO	FECHA	REVISOR	FECHA	APROBADO	FECHA

FECHA	N°	FECHA	N°	FECHA	N°

FECHA	N°	FECHA	N°	FECHA	N°

FECHA	N°	FECHA	N°	FECHA	N°

FECHA	N°	FECHA	N°	FECHA	N°

FECHA	N°	FECHA	N°	FECHA	N°

FECHA	N°	FECHA	N°	FECHA	N°

FECHA	N°	FECHA	N°	FECHA	N°

FECHA	N°	FECHA	N°	FECHA	N°

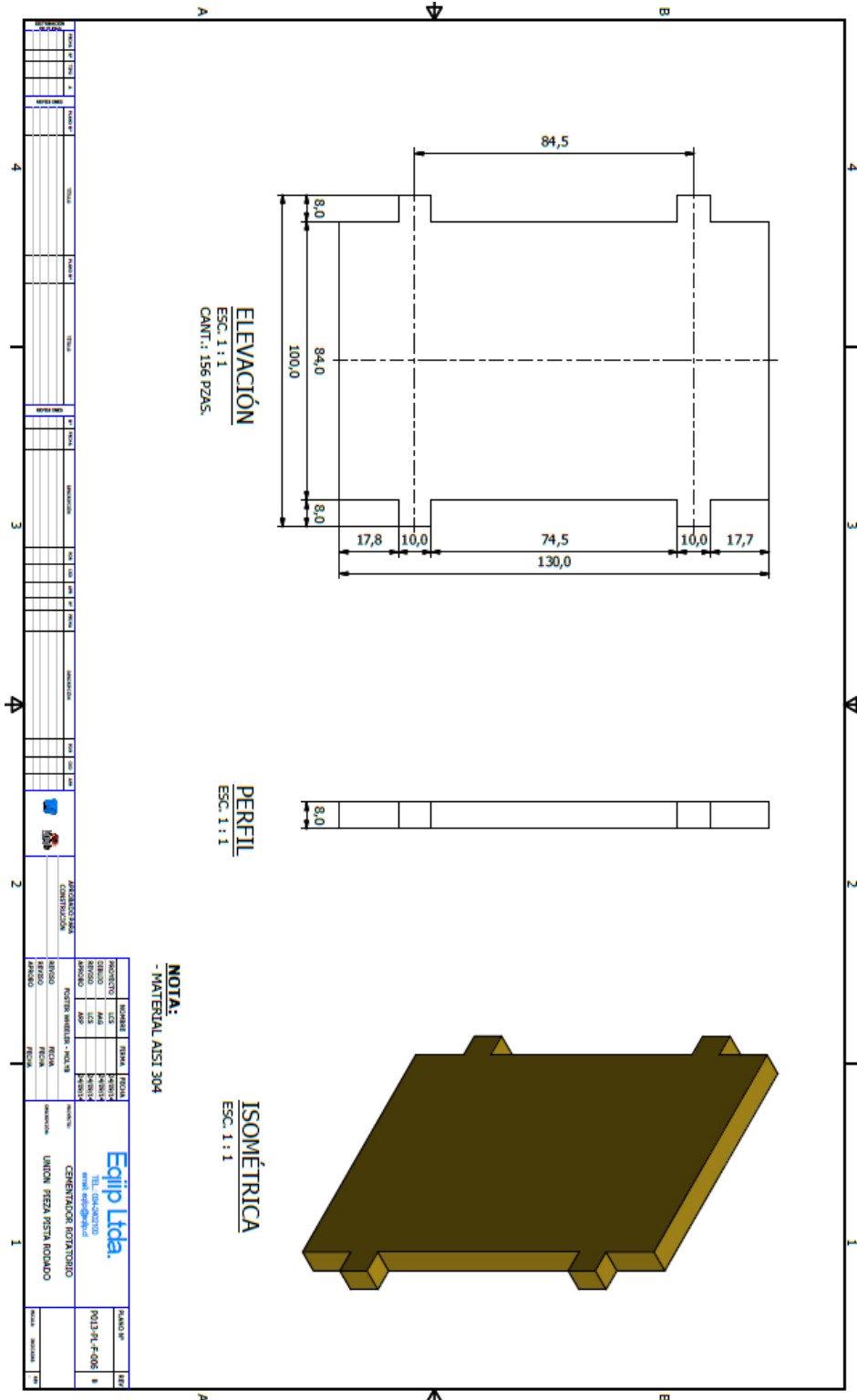
FECHA	N°	FECHA	N°	FECHA	N°

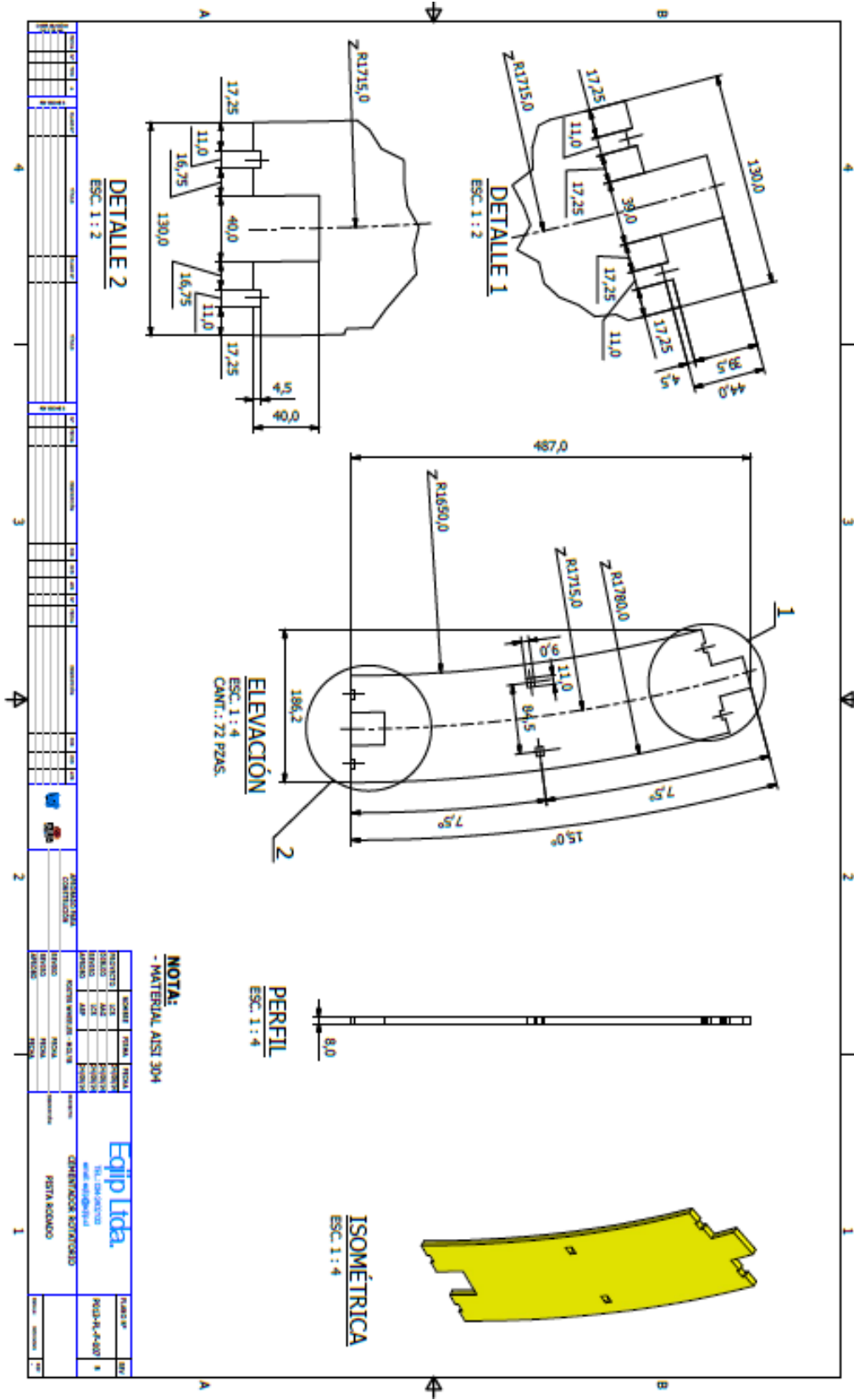
Equip Ltda.
El otro lado está siempre

CONSTRUCCION DE COPIE
PLANO DE FABRICACION BASE REDUCTOR

FECHA: 10/11/14
PLANO N°: R01-21-451
A

15.4 Anexo 4: Pistas de rodado.





NOTA:
- MATERIAL AISI 304

PROYECTISTA	REVISOR	APROBADO	FECHA	PROYECTO	FECHA

PROYECTISTA	REVISOR	APROBADO	FECHA	PROYECTO	FECHA

PROYECTISTA	REVISOR	APROBADO	FECHA	PROYECTO	FECHA

PROYECTISTA	REVISOR	APROBADO	FECHA	PROYECTO	FECHA

Equip Ltda

TEL: 56-9-12345678
WWW.EQUIP.LTD.A

CIENFERROS 30700000

PERVA SCLONDO

PROYECTO

FECHA

PROYECTO

FECHA

PROYECTO

FECHA

PROYECTO

FECHA

PROYECTO

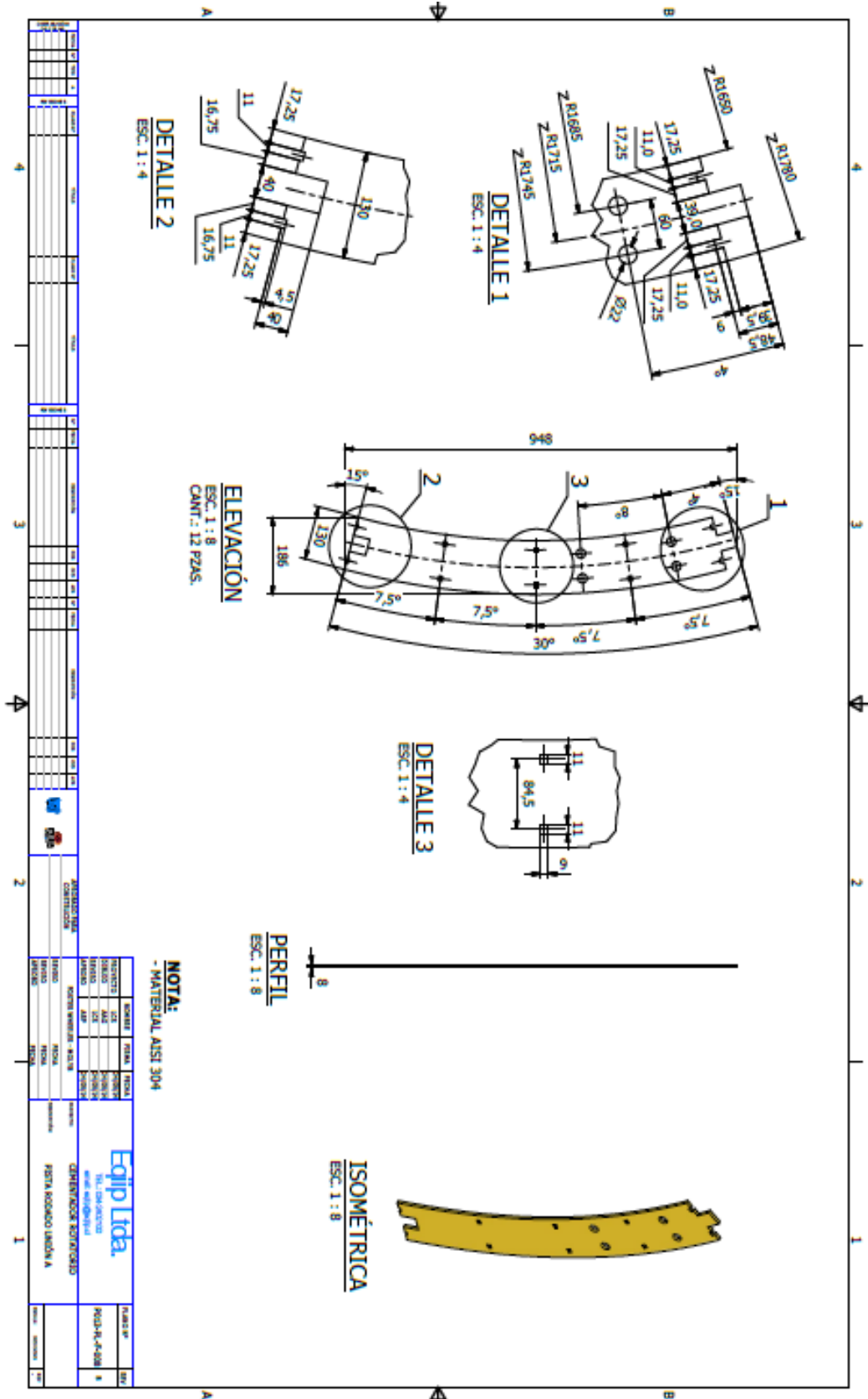
FECHA

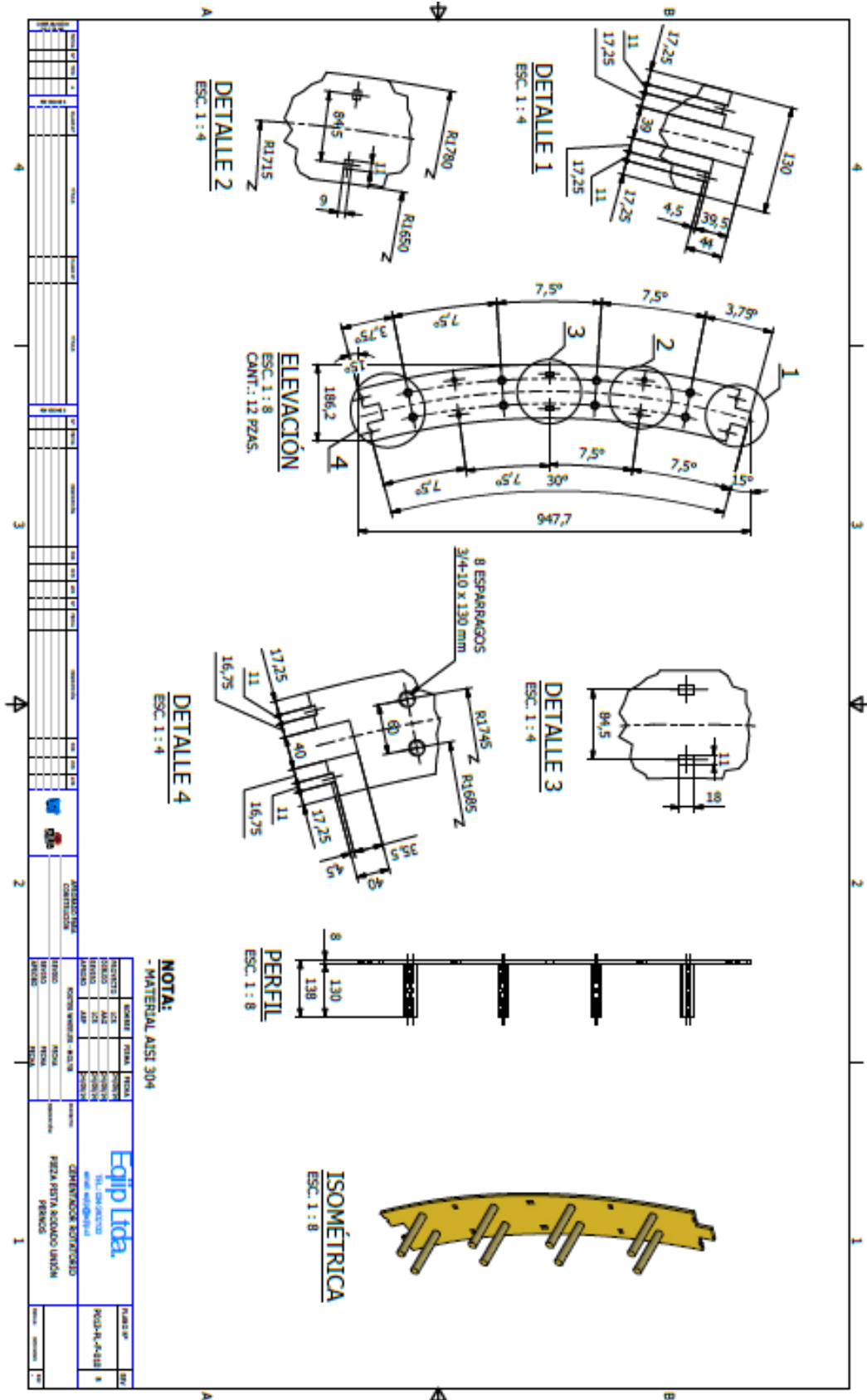
PROYECTO

FECHA

PROYECTO

FECHA



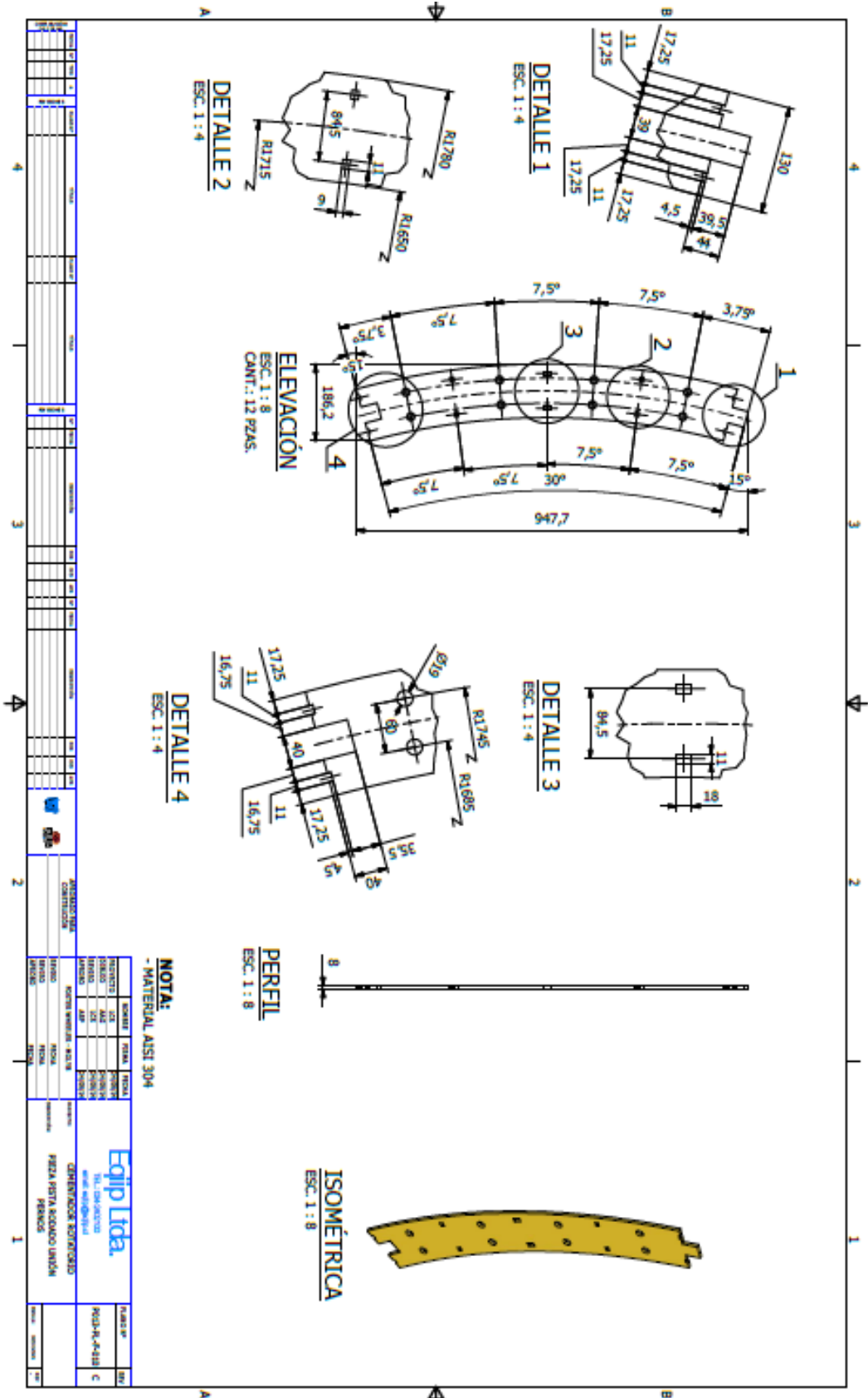


NOTA:
- MATERIAL AISI 304

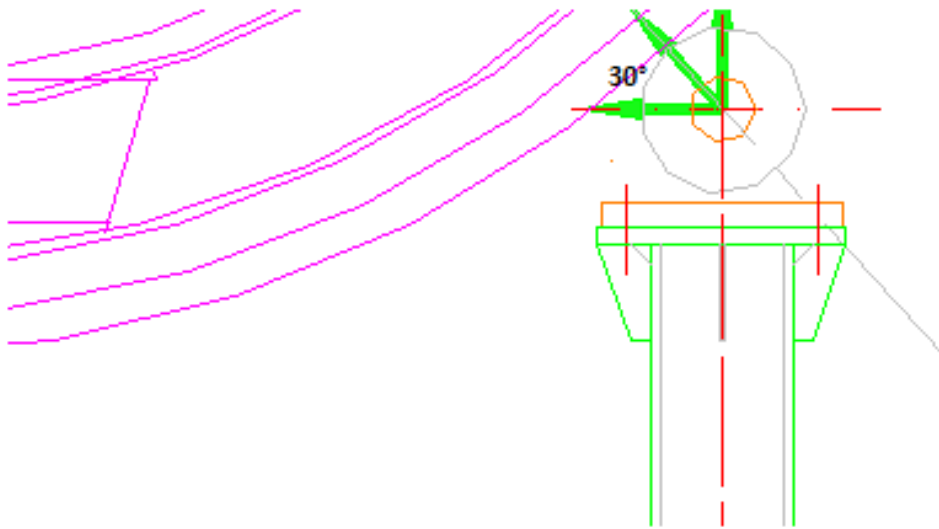
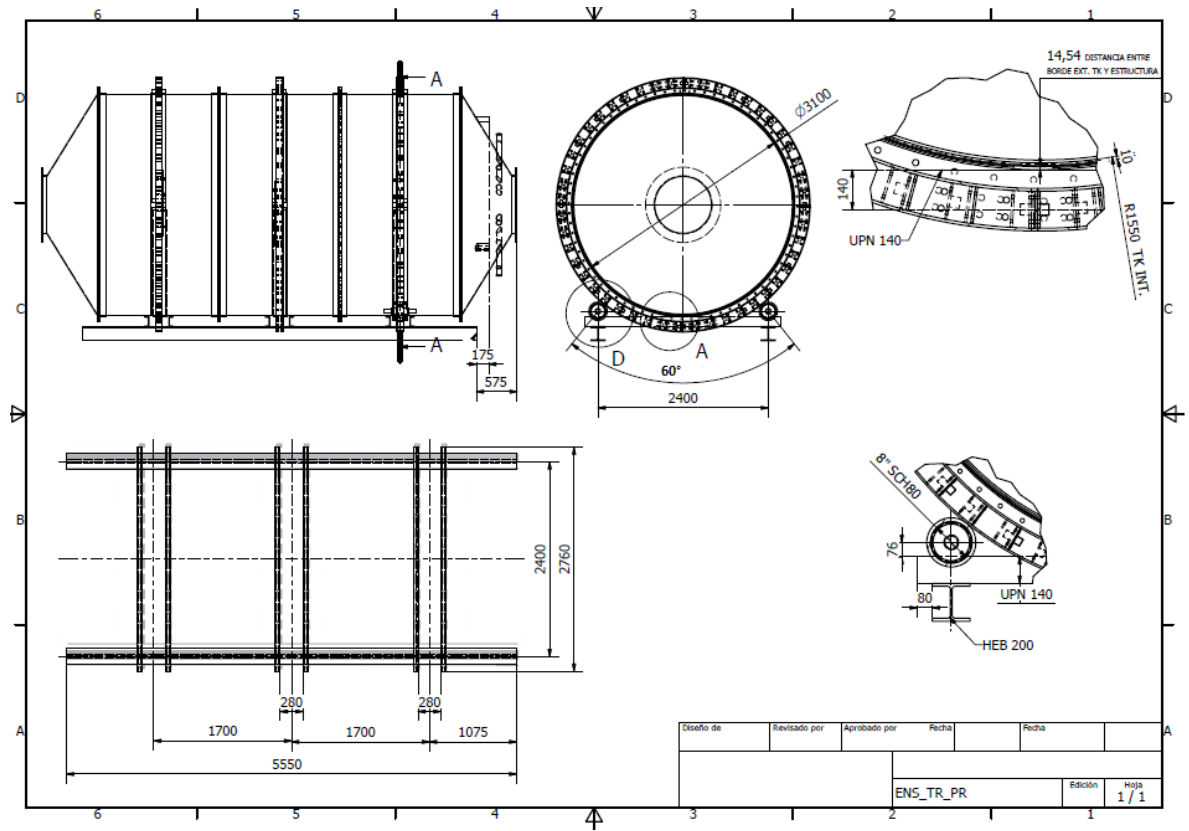
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR
1	PERFIL	1	M	1
2	ESPARRAGOS	8	UN	8

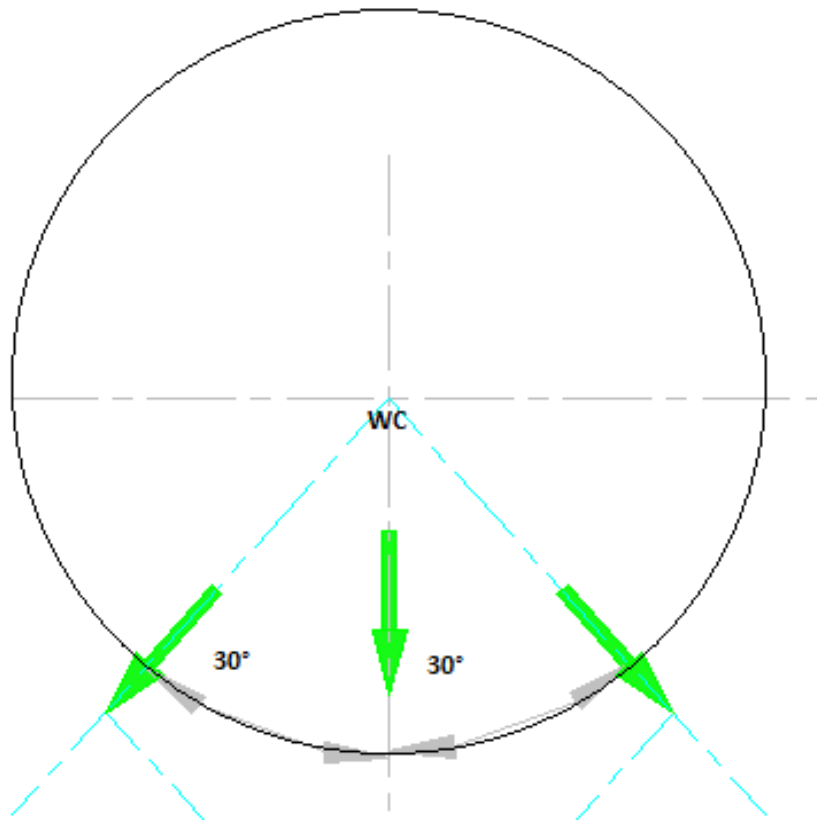
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR
1	PERFIL	1	M	1
2	ESPARRAGOS	8	UN	8

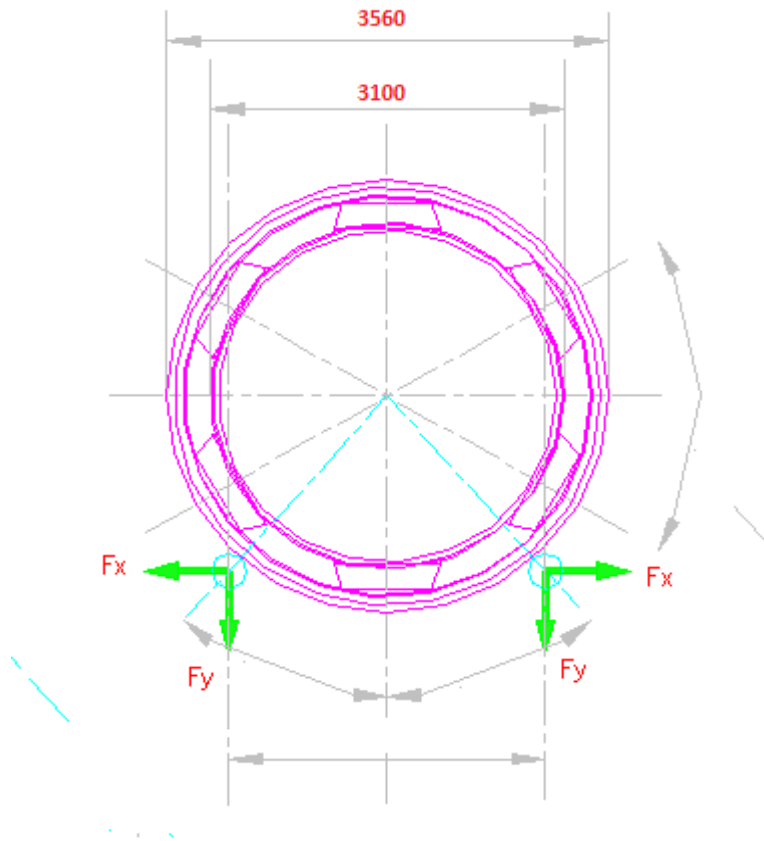
Equipe Ltda.
CARRANZA 10000 UNIDAD
PARRAL



15.5 Anexo 5: Fuerzas sobre descansos







15.6 Anexo 6: Pernos de sujeción

