

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**“CAMBIO DE RODAMIENTO CENTRAL DE UN ESPESADOR DE
RELAVES EN PLANTA CONCENTRADORA DE COBRE”**

**Memoria para optar al Título de:
INGENIERO CIVIL MECÁNICO**

**ALUMNO : CLAUDIO NAVARRO BERMÚDEZ
PROFESOR GUÍA : GUSTAVO MORALES PAVEZ**

2019

AGRADECIMIENTOS.

Quiero dedicar este trabajo a mi querida familia, que me dieron el ánimo, soporte y las fuerzas para poder sobreponerme a todas las dificultades, justamente en el periodo donde debía cumplir con mis estudios y con la entrega de este trabajo.

Dar las gracias especiales a mi esposa, por darme su incondicional apoyo y amor, sacrificando parte de nuestra vida familiar, para poder obtener un nuevo logro profesional.

A mis hijos, ya que ellos me motivan a demostrarles que, para una persona que se propone algo, nada es imposible.

A mi madre y mi padre, que con su ejemplo y apoyo siempre me impulsaron a entregar lo mejor de mí, que con dedicación y responsabilidad se pueden alcanzar las metas y una superación permanente.

A la Escuela de Ingeniería Mecánica de PUCV. Por los conocimientos entregados, valores éticos y las relaciones humanas, que a veces con una simple conversación nos aportan mucho.

Marisol

Matías

Constanza

RESUMEN.

La memoria de título se basa en el trabajo solicitado por la falla catastrófica del Espesador de Relaves N° 8, realizado por el equipo de Mantenimiento Mayor Planta de Minera Escondida Ltda., el equipo se encuentra instalado en la planta concentradora llamada Laguna Seca. Esta mina a rajo abierto, está ubicada a 170 kilómetros al sur-este de la ciudad de Antofagasta.

El presente trabajo tiene como fin, determinar la secuencia de pasos para cambiar el rodamiento central del espesador, además, analizar la causa que provoca la falla en el rodamiento del espesador de relaves n° 8. Considerando que la mantención y/o reparación, que en estos equipos de gran envergadura principalmente es por condición, y que en manuales de montaje y operación no esta considerado una reparación de este nivel.

El trabajo se compone de 6 partes fundamentales, donde se presentarán los siguientes puntos

- Plan de cambio del rodamiento
- Desarme del espesador de relaves
- Análisis de la falla del rodamiento
- Armado del espesador de relaves
- Pruebas operacionales del espesador
- Costo de la reparación.

Cabe destacar que este tipo de falla no se había dado antes en algún espesador de relaves de estas dimensiones.

En sud américa existen: 3 en Perú y 11 en Chile, y en minera Escondida hay 7. De los cuales sólo 2 han fallado por rotura de rodamiento.

INDICE.

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.	1
1.1 Introducción.....	2
1.2 Objetivos del trabajo	3
1.2.1 Objetivo General	3
1.2.2 Objetivo Específico.....	3
2. UBICACIÓN, DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ESPESADOR DE RELAVES Y DESCRIPCIÓN DE FALLA.	4
2.1 Ubicación Minera Escondida Ltda.	5
2.2 Descripción General de Espesador de Relaves.....	6
2.3 Principios de Operación del Espesador.....	12
2.4 Descripción de la Falla del Espesador.....	13
3. PLAN DE CAMBIO DE RODAMIENTO CENTRAL	16
3.1 Organización del equipo de trabajo.....	17
3.2 Cronograma.....	19
3.3 CartaGantt.....	20
3.4 Lay – Out del trabajo.....	22
3.5 Diseño soportes para desmontaje espesador N° 8.....	24
3.5.1 Diseño soporte desmontaje estructura puente acceso.....	25
3.5.2 Diseño soporte estructura Feedwell.....	29
3.5.3 Diseño soportes tubos mezcladores E-Duc.....	32
3.6 Diseño muro y terraplen soporte grúa móvil Ac 350 Demag.....	33
3.6.1 Bases de diseño.....	34
3.6.2 Cargas.....	35
3.6.3 Desarrollo.....	35

3.7	Cálculo de maniobras mayores de izaje.....	39
3.7.1	Cálculo de maniobra de izaje sección Puente.....	39
3.7.2	Cálculo de maniobra de izaje Jaula.....	41
4.	DESARME DEL ESPESADOR, EVALUACIÓN CONDICIONES ESTRUCTURALES Y EVALUACIÓN DE RODAMIENTO.....	42
4.1	Desarme del espesador N°8.....	43
4.1.1	Tareas responsabilidad de MEL.....	43
4.1.2	Preparación para el desmontaje.....	45
4.1.3	Desmontaje de último sector del puente.....	52
4.1.4	Desmontaje de Jaula.....	53
4.2	Evaluación de condiciones y falla de rodamiento central.....	55
4.2.1	Descipción de falla.....	55
4.2.2	Descripción de daños y posibles causas.....	56
4.3	Evaluación de condiciones estructurales de partes del espesador.....	60
4.3.1	Evaluación de condiciones de equipos línea de alimentación.....	60
4.3.2	Evaluación de condiciones de equipos descarga relave en tunel.....	63
4.3.3	Evaluación de condiciones Estructurales de Puente, rastra y columna.....	65
5.	CORRECCIONES Y MEDIDAS PARA MONTAJE DE NUEVO RODAMIENTO CENTRAL.....	66
5.1	Correcciones.....	67
5.2	Medidas tomadas para montaje de nuevo rodamiento centraldel espesador.....	68
6.	ARMADO DEL ESPESADOR.....	76
6.1	Secuencia de armador del espesador.....	77
6.2	Up Grade (mejoras).....	80

7. PRUEBAS OPERACIONALES DEL ESPESADOR	82
7.1 Pruebas Operacionales del espesador.....	83
7.2 Protocolo final.....	85
8. COSTO DE LA REPARACIÓN DEL ESPESADOR.....	86
8.1 Costos de la reparación del espesador.....	87
9. CONCLUSIONES.....	90
9.1 Conclusiones.....	91
10. BIBLIOGRAFÍA.....	93
10.1 Bibliografía.....	93
10.2 Nomenclatura.....	95
11. ANEXOS.....	97
11.1 Anexo 1: Propiedades de acero ASTM A-36.....	98
11.2 Anexo 2: Temperatura interpasada según norma AWS D 1.1.....	99
11.3 Anexo 3: Eléctrodos recomendados según norma AWS D1.1.....	100
11.4 Anexo 4: Dimensiones de Grúa Ac 350 Demag.....	101
11.5 Anexo 5: Rango de trabajo de Grúa Ac 350 Demag.....	102
11.6 Anexo 6: Capacidad izaje, con 142 t contrapeso de Grúa Ac Demag.....	103
11.7 Anexo 7: Plano BAP 0099 101.3 Arreglo General Espesador.....	104
11.8 Anexo 8: Plano BAP 0099 151.1 Elevación General Espesador.....	105
11.9 Anexo 9: Plano BAP 0099 105.2 Detalle Columna Espesador.....	106
11.10 Anexo 10: Plano BAP 0099 158.1 Montaje Columna Central Superior.....	107
11.11 Anexo 11: Plano BAP 0099 152.2 Elevación estructura sumergida.....	108
11.12 Anexo 12: Plano BAP 0099 153.2 Elevación estructura espesador $\frac{1}{2}$	109
11.13 Anexo 13: Plano BAP 0099 153.2 Elevación estructura espesador $\frac{2}{2}$	110
11.14 Anexo 14: Plano BAP 0099 100.1 Diagrama superestructura Camber.....	111
11.15 Anexo 15: Plano BAP 0099 154.1 Elevación alimentación Feedwell $\frac{1}{2}$	112
11.16 Anexo 16: Plano BAP 0099 154.1 Elevación alimentación Feedwell $\frac{2}{2}$	113
11.17 Anexo 17: Plano BAP 0099 157.1 Elevación tuberías floculante.....	114

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Mapa II Región, Ubicación Minera Escondida Ltda.	5
Figura N° 2: Planta concentradora Laguna Seca, vista planta y espesadores.	8
Figura N° 3: Vista general para montaje espesador relaves 125 m diámetro.	8
Figura N° 4: Vista general para montaje. Jaula soporte central y rastras.	11
Figura N° 5: Vista general espesador. Ubicación rodamiento central de soporte.....	13
Figura N° 6: Rodamiento central de la columna del espesador.	14
Figura N° 7:Rieles toma corriente deslizantes.	15
Figura N° 8: Organigrama de administración planta concentradora de cobre.	17
Figura N° 9: Organigrama administración proyecto cambio rodamiento central.	18
Figura N° 10: Carta Gantt del proyecto cambio rodamiento central espesador.....	21
Figura N° 11: Lay-out de ubicación rastra, grúa 350 ton., y soportes auxiliares.....	23
Figura N° 12: Elevación para desmontaje super estructura (puente) y contención feedwell y tubos E-duc.	24
Figura N° 13: Soporte estructura puente acceso, canaleta alimentación y tambor de Presión.....	28
Figura N° 14: Diagrama de carga en los soportes SP 2.....	29
Figura N° 15: Configuración soldadura en soportes SP 2.....	30
Figura N° 16: Plano soportes SP 2 de estructura Feedwell.....	31
Figura N° 17: Plano soporte SP 3 de tubos mezcladores E-Duc.....	32
Figura N° 18: Planta general emplazamiento que soporta grúa de 350 ton.....	33
Figura N° 19: Elevación general emplazamiento que soporta grúa de 350 ton.....	34
Figura N° 20: Distribución de carga sobre terraplen, por pata de grúa.....	36
Figura N° 21: Carga sobre muro contención terraplen.....	37

Figura N° 22: Diagrama de izaje sección puente acceso.....	39
Figura N° 23: Diagrama de izaje de Jaula central (cage).....	41
Figura N° 24: Retiro de relave desde interior espesador.....	43
Figura N° 25: Rampa de acceso de equipos a interior espesador.....	44
Figura N° 26: Ingreso de alzaprimas a espesador.....	44
Figura N° 27: Alzaprima de Feedwell.....	45
Figura N° 28: Andamios colgantes y equipos con desgaste.....	46
Figura N° 29: Muro de contención de relleno que soporta grúa Ac 350 Demag.....	47
Figura N° 30: Alzaprima soportante estructura de puente de acceso.....	48
Figura N° 31: Rastra larga o motriz, en proceso de anclaje a piso.....	49
Figura N° 32: Pernos flange de unión entre rastras y jaula.....	50
Figura N° 33: Rastras del espesador, para ver secuencia de desacople.....	51
Figura N° 34: Protección para y maniobras de izaje.....	52
Figura N° 35: Retiro de último sector del puente con estructura soporte feedwell.....	52
Figura N° 36: Retiro de jaula central.....	53
Figura N° 37: Rodamiento central del espesador, sobrecolumna superior.....	54
Figura N° 38: Plano de rodamiento central.....	55
Figura N° 39: Placa base donde se apoya rodamiento, perdida de material roce.....	56
Figura N° 40: Pasador y tapón de rodamiento, por donde se ponen y sacan bolas.....	57
Figura N° 41: Bolas dañadas del rodamiento.....	57
Figura N° 42: Cubeta interior de rodamiento, daño en pista de rodadura borde.....	58
Figura N° 43: Cubeta exterior de rodamiento, daño en pista de rodadura borde.....	59
Figura N° 44: Cajón de traspaso, cajón de presión, boquillas y tubos E-duc usados....	60
Figura N° 45: Cajón y ducto traspaso hacia cajón de presión.....	61
Figura N° 46: Cajón de traspaso, cajón de presión, boquillas y tubos E-duc nuevos....	62
Figura N° 47: Sección de feedwell donde llega tubo E-duc, almacenado en patio.....	62

Figura N° 48: Línea de descarga de relave en interior tunel.....	63
Figura N° 49: Flange superior de espigot y válvula de control de descarga	64
Figura N° 50: Unión de columna inferior con unidad de columna central superior.....	68
Figura N° 51: Soldadura interior de flange unión columna inferior y superior.....	69
Figura N° 52: Gráfico de manual de espesador indicando instalación de laines.....	70
Figura N° 53: Apoyo N°2 de jaula sobre tapa de rodamiento, se observa laina.....	70
Figura N° 54: Flange de unión de rastras con jaula central.....	71
Figura N° 55 Camber de la estructura del puente.....	72
Figura N° 56: Puente apoyado sobre columna central.....	73
Figura N° 57: Soldadura interior de punto N° 3 de Fig. N°54.....	73
Figura N° 58: Soldadura exterior de punto N° 3 de Fig. N° 54.....	74
Figura N° 59: Apoyo libre de la estructura del puente.....	75
Figura N° 60: Trabajos en sistema de alimentación.....	78
Figura N° 61: Entrada de drenaje de aceite a interior columna.....	80
Figura N° 62: Válvulas de adición de floculante.....	81

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Tabla de pesos de partes de espesador.....	25
--	----

INDICE DE PLANOS

Designación	Nº Plano
• Arreglo general Espesador Tipo "TXXT" Espesador 124.968 Ø SWD	BAP 0099 101.3105
• Elevación general Espesador Tipo "TXXT" 410	BAP 0099 151.1106
• Detalle columna Espesador Tipo "TXXT" 410	BAP 0099 105.2107
• Montaje de Columna central superior	BAP 0099 158.1108
• Elevación estructura sumergida, Rastras	BAP 0099 152.2109
• Elevación superestructura Espesador 1/2	BAP 0099 153.21110
• Elevación superestructura Espesador 2/2	BAP 0099 153.22111
• Diagrama curbatira superestructura Camber	BAP 0099 100.1112
• Elevación pozo alimentación Feedwell 1/2	BAP 0099 154.11113
• Elevación pozo alimentación Feedwell 2/2	BAP 0099 154.12114
• Elevación tuberías floculante Espesador	BAP 0099 157.1115

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción.

En la industria minera el agua es un bien escaso ypreciado. La mayor parte de los procesos utiliza cantidades sustanciales de agua, requiriéndose su recuperación mediante equipos que permitan etapas de separación de sólido – líquido. El agua que se recupera no se descarta y en su mayor parte, se recircula al proceso de conminución

En la gran minería actual existen equipos de tratamiento de residuos del proceso, (relaves). De las dimensiones del equipo, existen 11 en Chile, 3 en Perú, y aproximadamente 8 entre China, EE.UU y Australia. Los cuales presentan una alta disponibilidad. Por información del fabricante sólo 3 de estos han presentado fallas en rodamiento central, de los cuales 2 fueron en Minera Escondida.

Minera Escondida Ltda. Es la mayor minera privada productora de cobre del mundo, alcanzando una producción de 1,15 millones de toneladas anuales, 8% de la producción mundial. La que se encuentra en la región de Antofagasta a 175 km al sur-este de esta ciudad. Cuenta con tres plantas productoras de concentrado de cobre, las cuales en su proceso dispone de 7 espesadores de estas dimensiones, 125 m de diámetro y un flujo de diseño de 5763 m³/hr de pulpa. Lo que permite una recuperación de alrededor de un 55 % del agua de proceso, es decir, este espesador recupera 1584 m³/hr de agua de proceso y evacua 1.440 m³/hr de relave (pulpa).

En base a los antecedentes mostrados, después de una evaluación de los síntomas de la falla, se planifican los trabajos a realizar para poder cambiar rodamiento central del mecanismo de concentración de relaves del espesador. Se tiene como prioridad el menor de los desarmes y por ende el menor plazo requerido para volver a la disponibilidad nominal de la planta, para que cuente con sus tres espesadores.

1.2 Objetivos del trabajo.

1.2.1 Objetivo general

Analizar rodamiento central del mecanismo de concentración del espesador de relaves, y planificar el proceso de desmontaje y montaje para invertir el menor tiempo posible.

1.2.2 Objetivo específico

- Desarmar rodamiento para hacer un análisis completo de las causas de falla.
- Análisis de cargas al rodamiento central.
- Eliminación de causas e indicaciones para el montaje del nuevo rodamiento.
- Indicaciones para el montaje del mecanismo de concentración removido.

**2. UBICACIÓN, DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ESPESADOR DE RELAVE Y
DESCRIPCIÓN DE FALLA.**

2.1 Ubicación Minera Escondida Ltda.

Minera Escondida Ltda. es una empresa minera dedicada a la extracción de cobre desde los yacimientos que ha recibido en concesión en la Región de Antofagasta, Chile. El yacimiento geológico principal que explota es La Escondida, la mina a rajo abierto que más cobre produce en el mundo y que se encuentra ubicada a 170 km al sureste de la ciudad de Antofagasta.

El principal producto de la empresa es el concentrado de cobre y los cátodos del mismo material, obtenidos del yacimiento tras el movimiento de más de 450 millones de toneladas de material al año. La construcción de la mina se inició en agosto del año 1988, e inició sus procedimientos en noviembre de 1990.

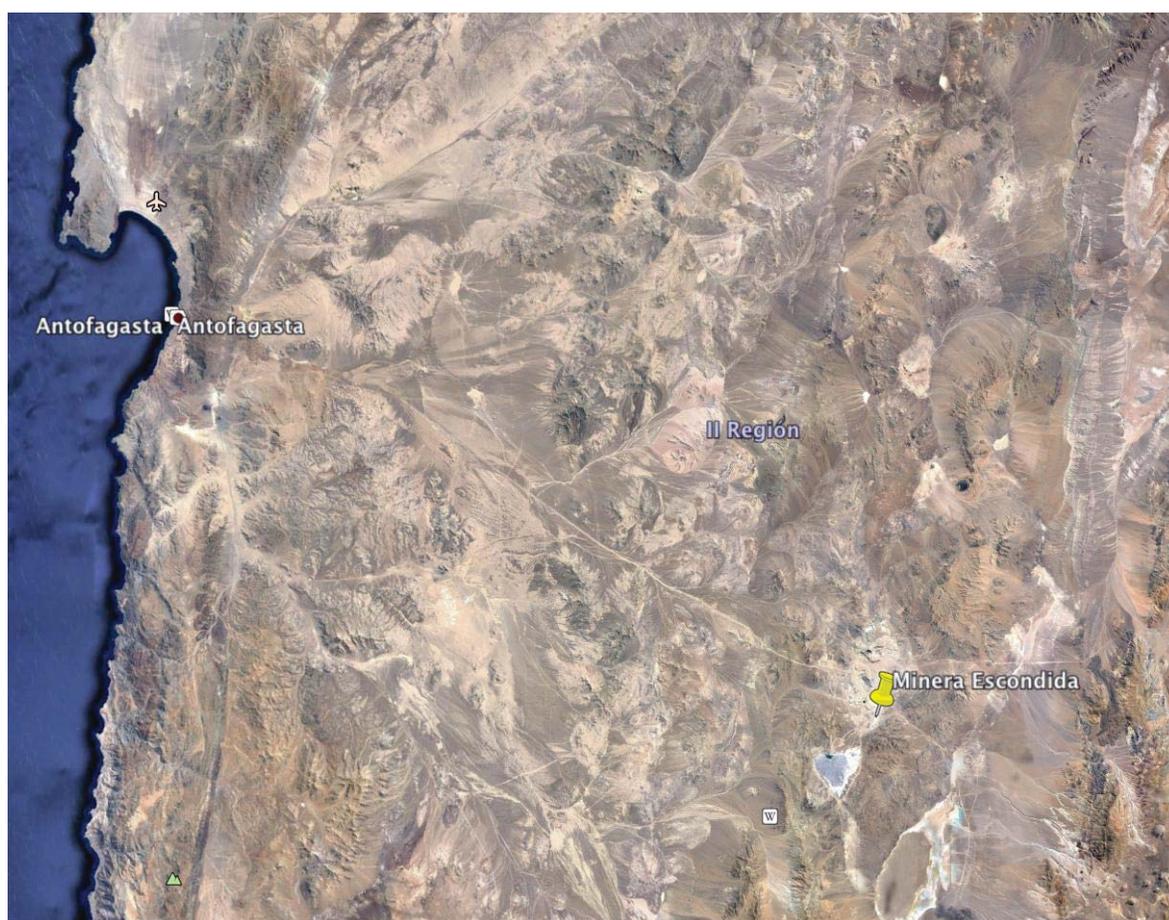


Fig. N° 1: Mapa II Región, Ubicación Minera Escondida Ltda.

2.2 Descripción general de espesador de relaves.

El espesador EIMCO TXXT se utiliza en la etapa final de extracción de minerales valiosos de una masa de mineral. Los relaves contienen solamente una pequeña cantidad de mineral valioso y está formado principalmente de arcillas inertes y arenas que deben eliminarse a un bajo costo y en un espacio bastante limitado.

La pulpa de relaves de la alimentación ingresa al espesador TXXT con una concentración de sólidos de aproximadamente 29% por peso y con una concentración de peso del 50%. Como la pulpa de relaves es concentrada, se produce agua limpia (efluente) que es reutilizado en el proceso de extracción mineral. Toda el agua que no se recupera en el rebalse del espesador, llega a la descarga y se pierde por evaporación en la laguna de relaves. Según la localización de la mina, resulta muy costoso el suministro de agua fresca que de otro modo podría recuperarse de los relaves. Por esta razón es imperativo recuperar la mayor cantidad de agua posible. Esto se logra produciendo una descarga lo más gruesa posible desde el espesador de relaves.

Los espesadores de relaves de Minera Escondida están diseñados para procesar hasta 2.050 TMPH de pulpa de relaves a una velocidad de 5.760 m³/hr. Para graficar la importancia de obtener el mayor grosor posible de descarga, en primer, lugar es necesario considerar una concentración de 50% por peso, se puede obtener una recuperación de 2.970 m³/hr de agua de proceso. Comparado con la concentración de descarga de solo 45% de peso, el efluente se recolecta a una velocidad de 2.500 m³/hr. Luego un año ésta equivale a una disminución de la recuperación de agua de proceso de aproximadamente 4.000.000 m³. Esta cantidad de agua finalmente se depositará en una piscina de 1,4 km x 1,4 km y 2 m de profundidad.

A medida que la pulpa alimentada ingresa al depósito de alimentación del espesador las partículas sólidas comienzan a sedimentarse por gravedad. La velocidad a la cual se sedimentan las partículas depende del peso y tamaño de la partícula. Mientras más pequeña la partícula, mas lenta su sedimentación. Dado que la pulpa alimentada contiene una variada gama de tamaño de partículas que fluctúan

desde 0,25 mm hasta un par de micrómetros existe una gran diferencia en la velocidad de sedimentación de partículas.

Si es capaz de observar la velocidad, a la cual se llena el espesador durante el proceso inicial de llenado con la velocidad de alimentación de diseño, el nivel de agua aumentará en la pared lateral a una velocidad de 0,2 m/hr. Esto se conoce como la tasa de flujo ascendente. Si la velocidad de sedimentación de una partícula específica es inferior a esta velocidad de flujo ascendente, la partícula aumentará y se dirigirá al rebalse generando un efluente sucio.

Para aumentar la velocidad de sedimentación de las partículas, un producto químico denominado floculante se agrega a la pulpa alimentada del espesador. Este producto químico modifica la tensión superficial de las partículas individuales y produce su aglomeración generando una mayor cantidad de partículas conformadas por materiales gruesos y finos. Estas partículas recientemente formadas y de mayor tamaño se sedimentan con mayor rapidez, con un efluente más claro y una mayor velocidad de producción

Además de aumentar las velocidades de alimentación, la adición de floculante favorece el aumento de concentración de los sólidos de la descarga. Con la aglomeración de finos y partículas gruesas se genera una cama de sólidos de mayor homogeneidad. Esta cama homogénea se compacta con el paso del tiempo debido a la presión ejercida en ella por el peso de la capa de sólidos anterior. Estos factores permiten que el agua libre liberada por floculación aumente a través de la cama y luego de compactar los sólidos.

A través de los años se ha descubierto que la floculación resulta más eficiente cuando se agrega para diluir pulpas. La razón de la mayor eficiencia de la floculación en menores concentraciones se debe a que existe un mejor contacto del floculante con las partículas sólidas individuales.



Fig. N°2: Planta concentradora Laguna Seca, vista planta y espesadores.

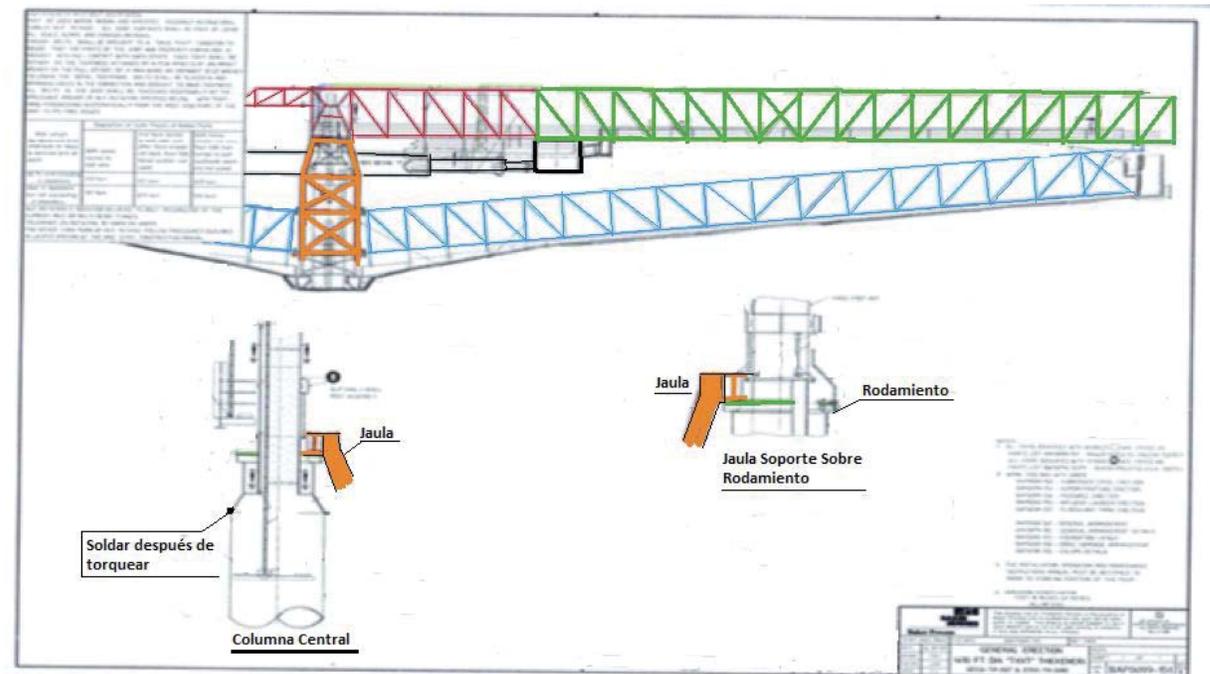


Fig. N° 3: Vista general para montaje espesador de relaves 125 m dia.
Detalle enmarcado de apoyo de Jaula (color naranja) sobre Rodamiento.

Como la pulpa alimentada ingresa al espesador a una concentración de aproximadamente 29 % por peso, es necesario diluirla antes de la floculación. La dilución de la pulpa con agua desde fuentes externas o incluso con efluentes del espesador produce una carga extra en el espesador y de este modo reduce la capacidad. Se utiliza agua de dilución localizada e interna al espesador de manera que esta carga hidráulica adicional no ingresa al espesador. La dilución interna se logra con el sistema de alimentación de auto-dilución EIMCO E-DUC. El sistema de alimentación E-DUC consiste en una caja de propulsión boquilla de inspección y tubo de mezcla. La caja de propulsión entrega la fuerza de propulsión de la pulpa y también permite la des aireación. A medida que la pulpa sale de la caja de propulsión, circula a través de la boquilla que aumenta la velocidad de la pulpa a medida que ingresa al tubo de mezcla. El momento en que la pulpa pasa desde la boquilla hacia el tubo de mezcla se extrae el líquido desde el área circundante hacia el tubo de mezcla, diluyendo así la alimentación. La cantidad de dilución se controla con el tamaño de la boquilla y tubo de mezcla.

El espesador de tracción tiene brazos de rastras con cuchillas incluidas que giran en sentido hacia la derecha. Las rastras circulan a una velocidad de 0,04 rpm. En total existen cuatro brazos de rastras. El brazo de rastra se extiende a través de todo el radio del espesador. El brazo intermedio de la rastra tiene una longitud aproximada de 36 m y finalmente existen dos brazos de rastra pequeños que tienen aproximadamente 18 m de largo. Las cuchillas de cada brazo están separadas de manera que el fondo del espesador queda rebajado unas cuatro veces por revolución. Estas rastras tienen doble función por una parte surcan la pulpa espesada hacia el centro del espesador de manera que esta pueda ser eliminada a través de las bateas de descarga. No obstante, las rastras no están diseñadas para traspasar el 100 % de la pulpa de descarga. Las rastras solamente traspasan aproximadamente entre un 20 a 50 % de la pulpa y el resto es traspasado por flotabilidad natural de la pulpa. Las cuchillas de la rastra entregan la energía necesaria al material espesado para permitir su circulación. La segunda función de

las rastras es desplazar la pulpa de la descarga y al realizarse este proceso se libera el agua acumulada en la cama espesada. Esta acción de la rastra aumenta la concentración de la descarga existente en el espesador.

La jaula del espesador y los brazos de rastras son sostenidos por el rodamiento de la unidad de la columna central superior, instalado en la columna central. El brazo de la rastra se extiende a través de todo el radio del estanque y va conectado a la unidad de carro deslizante del accionamiento de tracción. La unidad del carro deslizante del accionamiento de tracción se instala en un riel que rodea el estanque. A medida que la unidad del carro deslizante del accionamiento de tracción se desplaza alrededor del estanque, hace girar los brazos de rastras y la jaula, para canalizar el lodo, transportando de este modo, los sólidos más pesados hacia el centro del estanque.

La unidad del carro deslizante del accionamiento de tracción recibe energía eléctrica a través de dos unidades motoredutoras que gira de forma independiente la rueda frontal y trasera. La rueda de control monitorea la velocidad de la unidad de carro deslizante del accionamiento de tracción y acciona automáticamente el dispositivo de arenado, en caso de producirse un deslizamiento de la rueda o un exceso de carga en los brazos de rastras. Si la carga es demasiado elevada, se activa una alarma a un valor máximo de torque, deteniéndose automáticamente los motores de accionamiento, lo que a su vez detiene el desplazamiento de la unidad de carro deslizante del accionamiento de tracción.

La energía hacia la unidad del carro deslizante del accionamiento de tracción es suministrada por un cableado que recorre toda la longitud de la superestructura hasta la unidad de columna central superior, los anillos deslizantes y luego a lo largo del brazo de rastra del accionamiento hasta la unidad del carro deslizante del accionamiento de tracción.

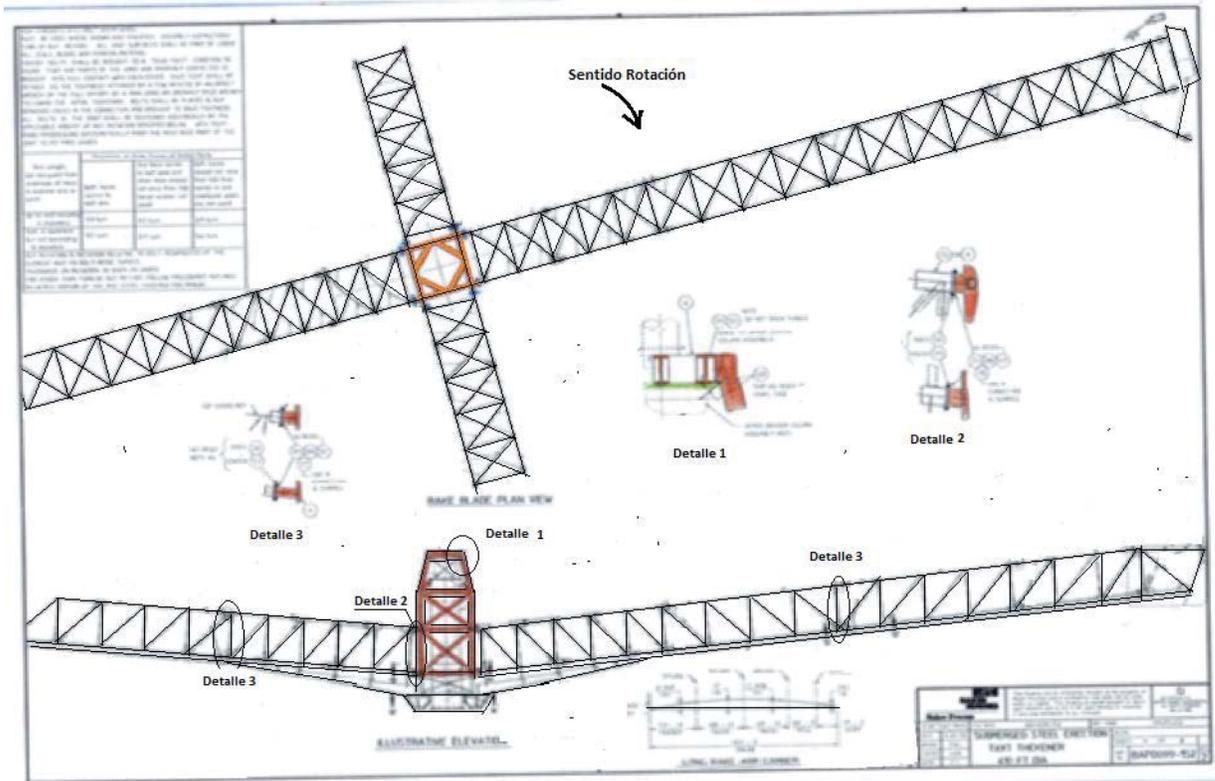


Fig. N°4: Vista general para montaje, Jaula soporte central y rastras.
 Detalles en naranja, corresponden a Jaula y su apoyo sobre rodamiento.

2.3 PRICIPIOS DE OPERACIÓN DEL ESPESADOR

Existen varios factores que deben considerarse al desarrollar un principio de operación para el espesador. El objetivo del funcionamiento del espesador es el siguiente:

1. Operación estable.
2. Producir una concentración de descarga lo más gruesa posible mientras se mantiene la operación estable.
3. Minimizar el uso de floculante mientras se sigue manteniendo una descarga gruesa y un efluente claro.
4. Máxima recuperación de agua clara.

2.4 Descripción de falla del Espesador

Durante el año 2008 se comienza a detectar un aumento de los valores de operación del espesador, tales como aumento de amperaje de los motores de tracción, aumento del torque en los brazos de las celdas de carga y mayor número de paradas por sobre carga en el espesador N° 8 de la concentradora Laguna Seca de Minera Escondida.

Coincidente con un cambio de las celdas de cargas de los brazos de torque de los motores de tracción de las rastras del espesador, estas no se pueden calibrar a los valores nominales de carga, para lo cual se aprovecha una limpieza del espesador y al quedar sólo con agua se intenta calibrar el cero de la celda de carga. Valor que no fue posible obtenerlo.

Junto con esto por el lado mecánico se detecta un roce de la placa base que soporta la caja de los carros deslizantes toma corriente sobre los pernos del flange de unión de la columna superior, lo que indica que esta placa base por lo menos bajo unos 20 mm.

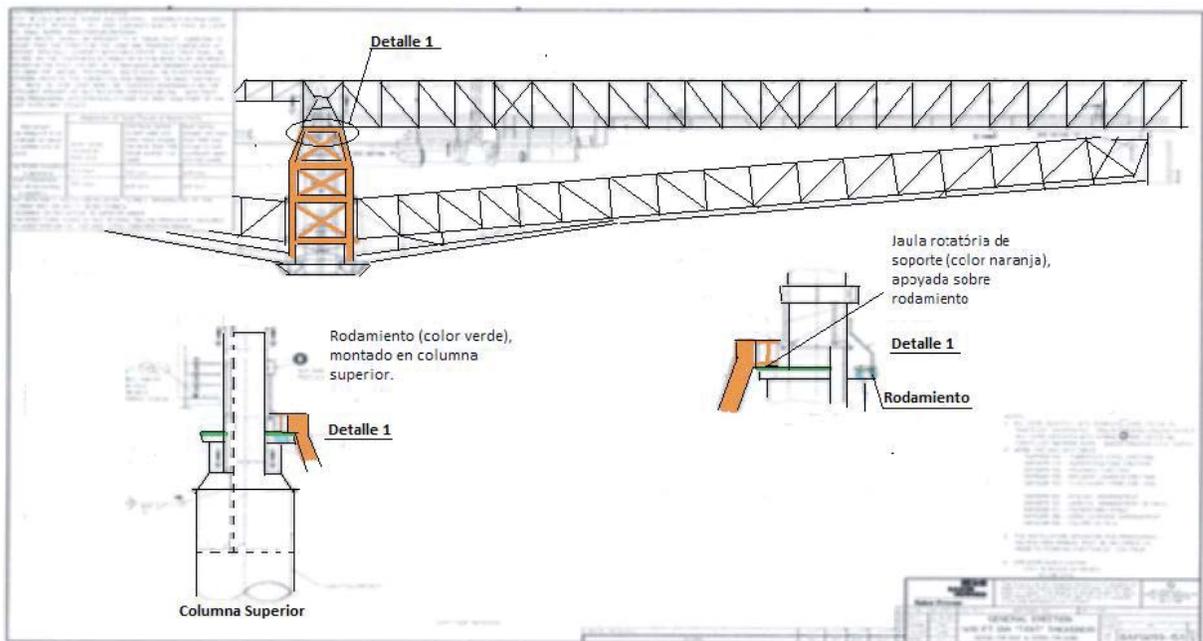


Fig. N° 5: Vista general espesador, ubicación rodamiento central de soportación.

De acuerdo a los síntomas y lectura de planos, la postura de Mantenciones Mayores, es que todo este desgaste producto del roce entre placas, pernos y análisis de aceite del rodamiento, que refleja partículas de acero y bronce en suspensión es producto de un desplazamiento vertical del mecanismo central, que puede ser provocado por un desgaste o daño del rodamiento de soporte central.

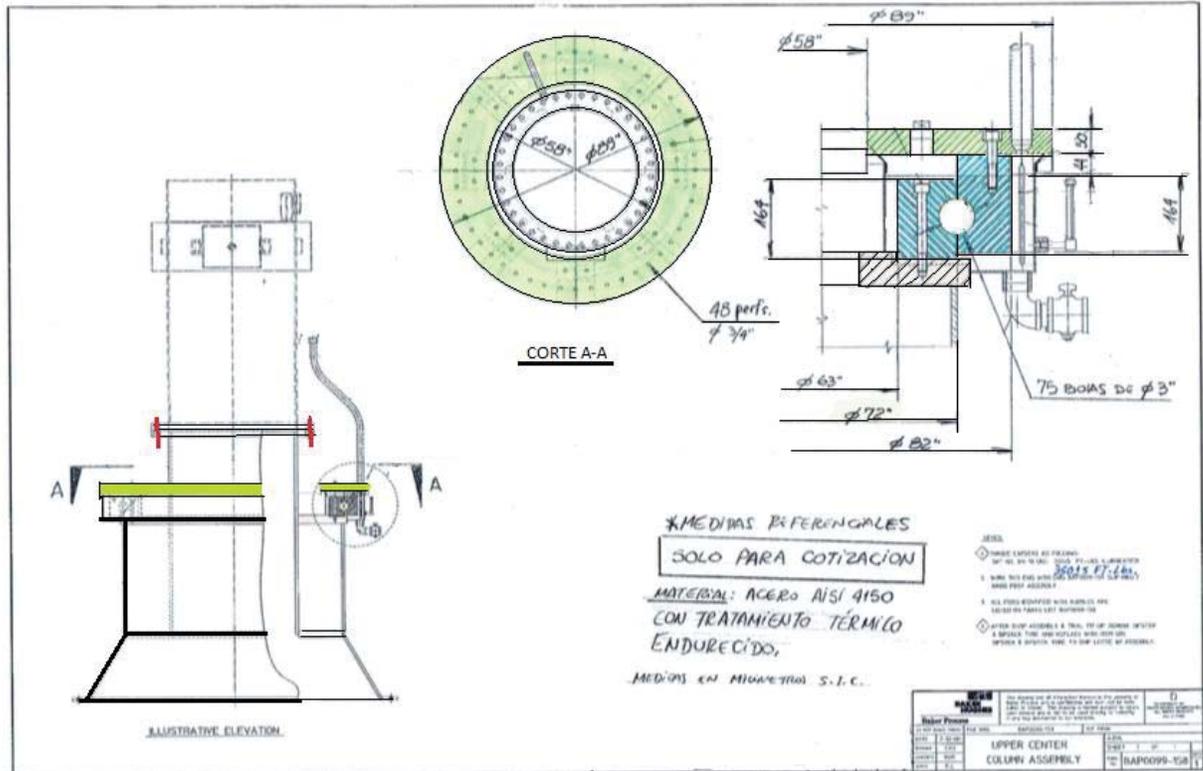


Fig. N° 6, Rodamiento Central de la Columna del Espesador

Después se agrega una nueva falla que es la salida de los carros toma corriente desde los rieles encapsulados, quedando desplazados medio paso entre los rieles, síntoma de agravamiento de la falla. ver fig. n° 7

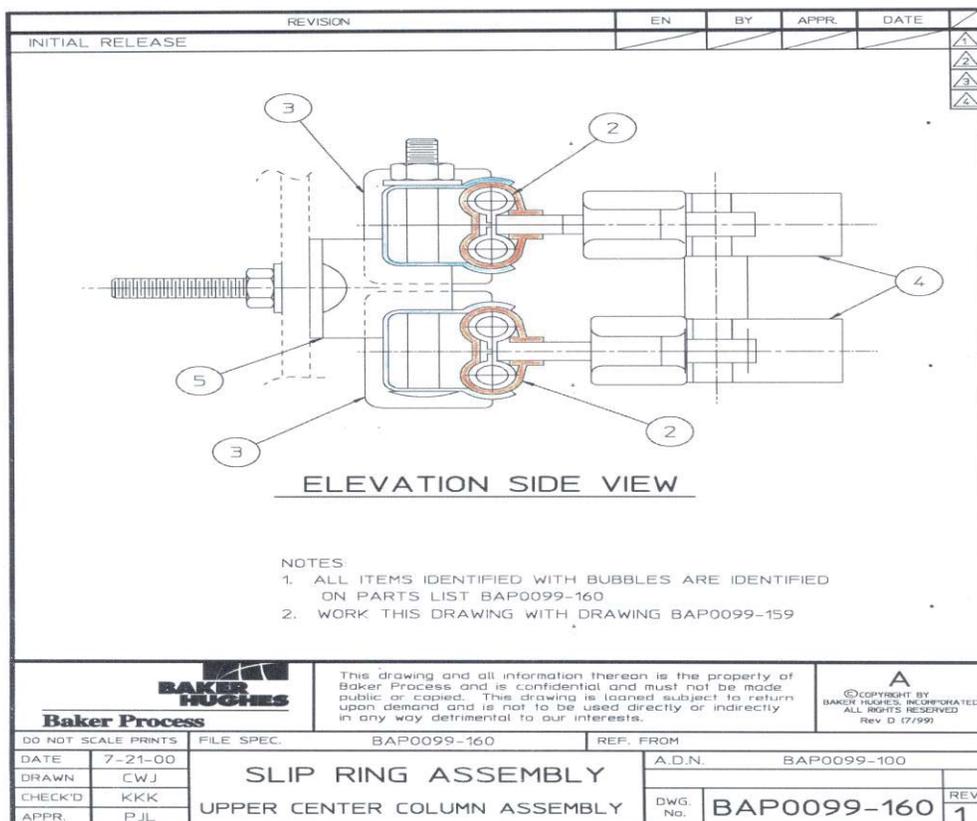


Fig. N° 7, Rieles toma corriente deslizante

Luego estas fallas se repiten y se decide operar así hasta el mes de Julio, cuando se produce el cambio de año fiscal de la minera, pero se tiene una última falla a mediados de Junio, de rieles toma corriente, valores de torque muy elevados y después de la reparación no se puede poner en servicio, por no tener condición, sumado posible embanca miento. Se decide detener y comenzar con vaciado y lavado del espesador.

A los encargados de la mantención mayor les solicitan la administración, planificación y ejecución de la reparación del espesador, consistente en el cambio del Rodamiento Central de suportación del mecanismo.

3. PLAN DE CAMBIO DE RODAMIENTO CENTRAL

3.1 Organización del equipo de trabajo.

Una de las ventajas operativas como empresa en minera Escondida, es que su organigrama es bastante plano, lo que obliga a tomar decisiones rápidas, las cuales se ejecutan también de forma ídem. La Fig. N° 8 abajo muestra el extracto de organigrama concerniente a la operación y mantención de las plantas concentradoras.

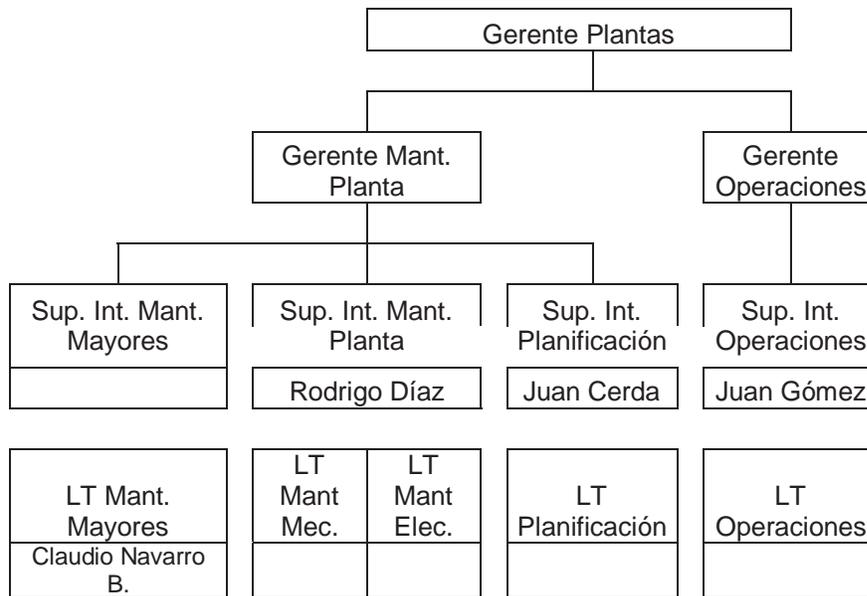


Fig. 8: Organigrama de Administración Planta Concentradora de Cobre.

De acuerdo a lo anteriormente indicado, por no existir superintendente de Mantenciones Mayores en ese momento asigna la responsabilidad de la reparación del espesador N°8, al ingeniero de mantenciones mayor apoyado por superintendente de Mantención Planta, para la firma por alcance de costos y control.

Se tiene conocimiento de todo el trabajo que se debe realizar, se prepara un equipo de trabajo mostrado en la Fig. 9: Organigrama para Cambio de Rodamiento espesador N° 8.

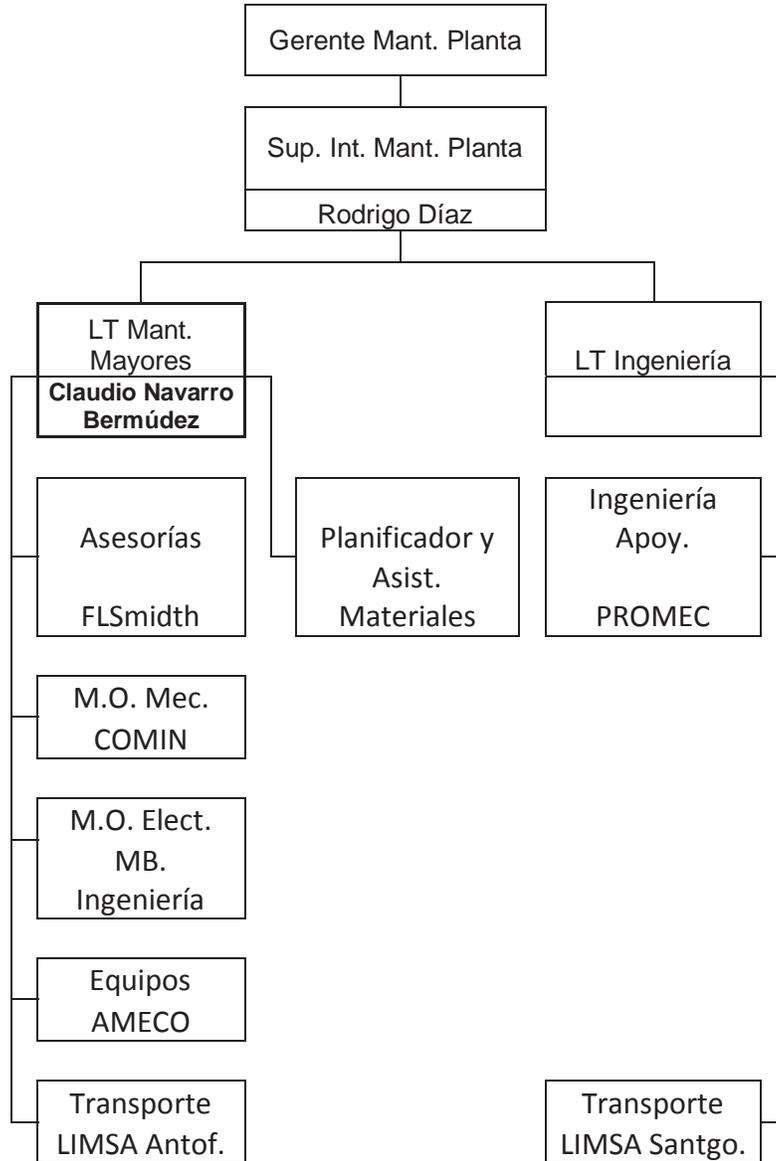


Fig. 9: Organigrama administración proyecto cambio rodamiento central espesador.

Con ingeniero de servicios de fabricante y supervisores de FLSmidth, Planificador MEL, realizamos un cronograma del proyecto, mostrado en punto 3.2, de esto la carta Gantt mostrada y detallada en el siguiente punto 3.3, pasan a ser el ruteo y puntos de control, especialmente con cumplimiento de fechas.

3.2 Cronograma.

Junio

Falla espesador y hay que detenerlo

Julio

- * Se reúne administración para evaluar problema
- * Se decide formar equipo de dedicación exclusiva, (Task Force)
- * Se detecta que no existe repuesto de rodamiento

Agosto

- * Fabricante acepta hacer repuesto, entrega a 4 meses
- * Junto con Vendor (FLSmidth), Ingeniería MEL y Promec se hace plan de trabajo

Septiembre

- * Se manda a fabricar soportes auxiliares para el desarme
- * Se subcontrata empresa ejecutora Mecánica y otra Eléctrica
- * Se reservan equipos móviles y de izaje aportados por AMECO

Octubre

- * Llegan piezas de fabricación local
 - * Comienzan tareas de responsabilidad de AMECO. Rampa de tierra y retiro de relave seco
- Instalación de faena de empresa ejecutora de los trabajos

Noviembre

- * Comienzo de trabajo programados por 45 días corrido

Diciembre

- * Pruebas y termino del trabajo satisfactoriamente.

Ingeniería MEL de apoyo y su empresa contratista Promec que presta servicios de dibujo, levantamientos de terreno y cálculos, realizamos los planos de los soportes auxiliares de apoyo de las partes que no se retiran, indicados en punto 3.4.

3.3 Carta Gantt

A partir de ahora se desarrolla la Carta Gantt del proyecto donde se consideran todas las tareas a realizar. Se analiza lo que es necesario desmontar, diseño de equipos auxiliares de apoyo (alzaprimas) para suportación de lo que no se retira, optimización de los recursos, en especial al uso de grúas, (por disponibilidad y costo) y el mejor Lay-Out del trabajo.

Se estima un tiempo de cambio del rodamiento central del espesador N° 8 de Laguna Seca en 64 días.

Las tareas más destacadas son:

- **Trabajos previos por MEL**
- **Desmontajes**
- **Armado del Equipo**
- **Trabajos en Sistema de Alimentación (Up-grade)**
- **Trabajos en Túnel**
- **Trabajos en el Carro de Tracción**
- **Trabajos Eléctricos & Instrumentación**
- **Panel de Control Sistema Motriz (Up-grade)**
- **Lubricación**

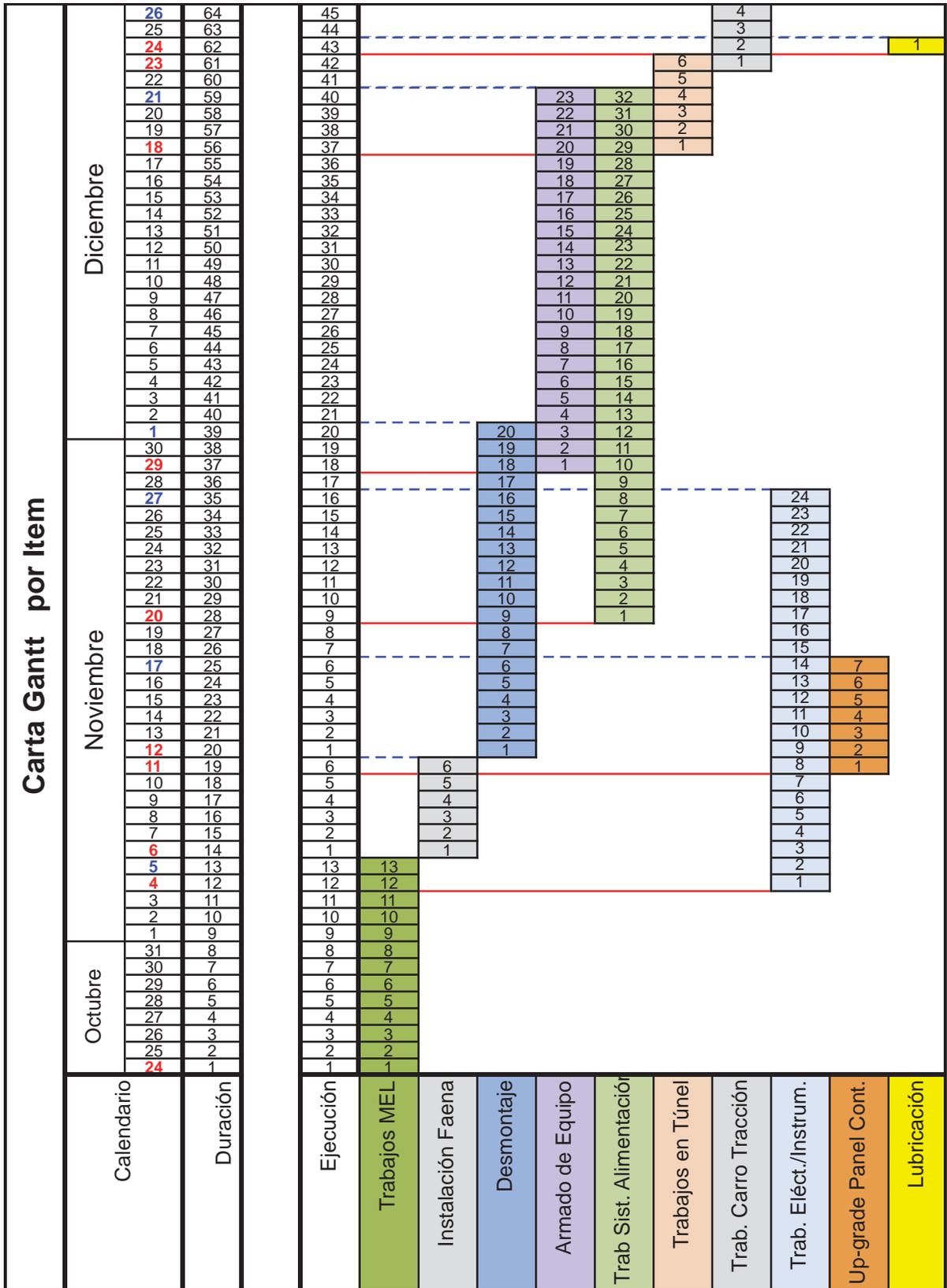


Fig. 10: Carta Gantt proyecto cambio rodamiento central en espesador de relaves.

3.4 Lay – Out del Trabajo

Para el Lay–Out de los equipos, previo a los inicios del trabajo, se realiza un análisis de la ubicación de las rastras con referencia al puente de acceso para optimizar los recursos, considerando que los movimientos son limitados por los pesos y envergadura de las parte consideradas a mover, con el fin de poder cambiar el rodamiento central. La definición de ubicación de la rastra principal y por ende la ubicación de las alzaprimas, están condicionadas principalmente por la capacidad de levante de la grúa Demag AC 350 de 350 ton de capacidad que para las cargas requeridas se requiere un radio de posición de la grúa de 18 m., como se indica en Fig. N° 11. siendo la siguiente distribución dentro del espesador :

En dirección norte planta se encuentra el puente de acceso, tomándose este como referencia 0°. Luego a 20° sobre el muro del espesador, al poniente del puente se debe detener el carro motriz para permitir esa ubicación de las rastras. Continuando en la misma dirección a la posición 45° debe quedar el eje longitudinal de la grúa Demag AC 350, porque en esa dirección y a un radio de 18 m, se pueden realizar los trabajos de retiro del último sector del puente de 30 ton y la jaula central con 56 ton.

A 45° hacia el oriente del puente se debe fabricar una rampa de acceso al interior del espesador, esta rampa de tierra nos permite el acceso al interior del espesador por todos los equipos por sus propios medios (grúas, camiones, etc...).

De este modo todo el sector sur del espesador queda destinado para acopio de repuestos, partes, camiones..., entre otros, como se indica en Fig. N° 11.

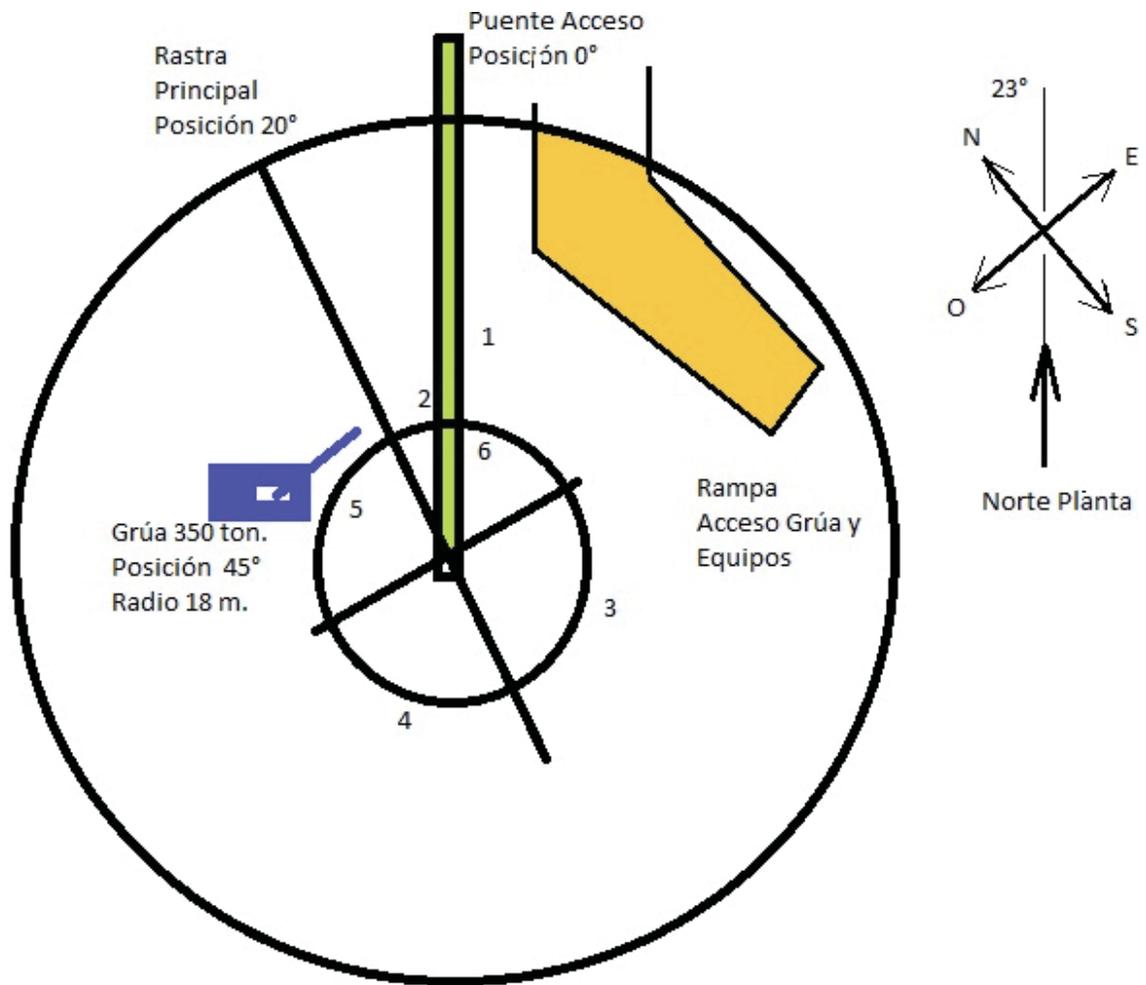


Fig. Nº 11: Lay Out de ubicación rastra, grúa 350 ton., y soportes auxiliares.

Nº 1 Soporte de estructura superior, puente de acceso. SP 01

Nº 2, 3, 4 y 5 Soportes de feedwell completo. SP 02

Nº 6 Soporte de los tubos E-duc.

3.5 Diseño Soportes para Desmontaje Espesador Nº 8 (Alzaprimas)

Con el apoyo de ingeniería MEL y su empresa contratista Promec que presta servicios de dibujo, levantamientos de terreno y cálculos, realiza los planos de los soportes auxiliares de apoyo de las partes que no se retiran, indicados en punto 3.4.

El trabajo consiste en cambiar el rodamiento central del espesador, pero se requiere que el desarme interfiriera la máquina lo menos posible, con el fin de requerir el menor tiempo posible. Para devolver el espesador a proceso.

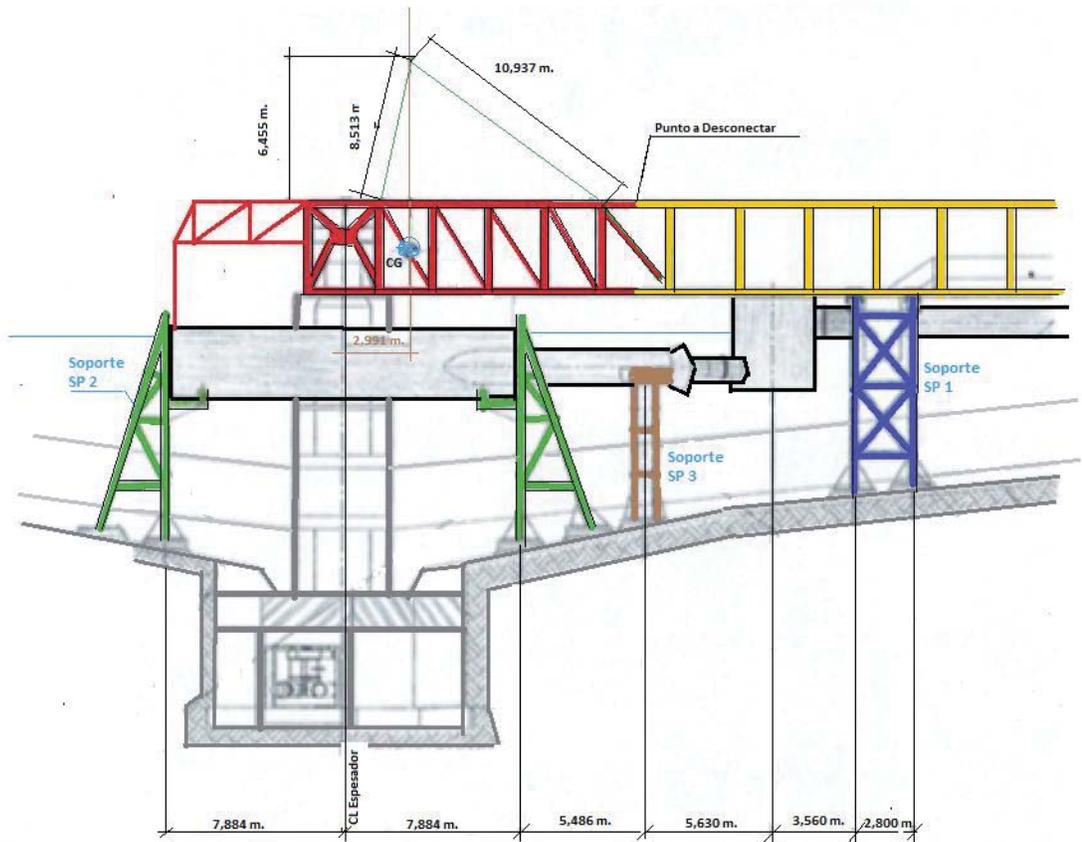


Fig. 12: Elevación para desmontaje súper estructura (puente) y contención Feedwell y Tubos E-duc.

3.5.1 Diseño Soporte Desmontaje Estructura Puente Acceso

Como se muestra en la Fig. N° 12, se debe retirar el último sector del puente de acceso, que se apoya sobre la columna central (mostrado en rojo), debido a esta maniobra es necesario mantener soportado los otros 4 sectores del puente, se diseña el Soporte SP 1 mostrado en color azul, compuesto por dos cepas, cada una soporta un costado del puente, que al ser unidos por un arrostramiento central y la viga superior forman una torre.

De acuerdo al bosquejo del soporte se dibuja los planos para construcción y memoria de cálculo. Pero se revisa la carga real que soportara el soporte SP1.

Tabla de Pesos

Tubos E-duc	2,4 ton.	/	2	4,8 ton.
Feedwell	2,3 ton.	/	8	18,6 ton.
Puente completo		→		85,0 ton.
Largo Puente Completo	66,3 m.	→		1,28 ton/m.
		□		
Largo Puente a soportar	53,3 m.	→		68,2 ton.
Canaleta alimentación	13,0 ton.	→		13,0 ton.
Cajón de presión lleno	28,0 ton.	→		28,0 ton.
				109,2 ton.
Largo Puente a retirar	13,0 m.	→		16,7 ton.
Cañ. aire, agua bandeja eléct., soporte feedwell		→		11,6 ton
				28,3 ton.
Para cálculo maniobras		→		30,0 ton.
Jaula central	13,6 m.	→		48,6 ton.
Para cálculo maniobras	más 15%	→		56,0 ton.

Tabla N° 1 : Pesos de los distintos componentes del espesador.

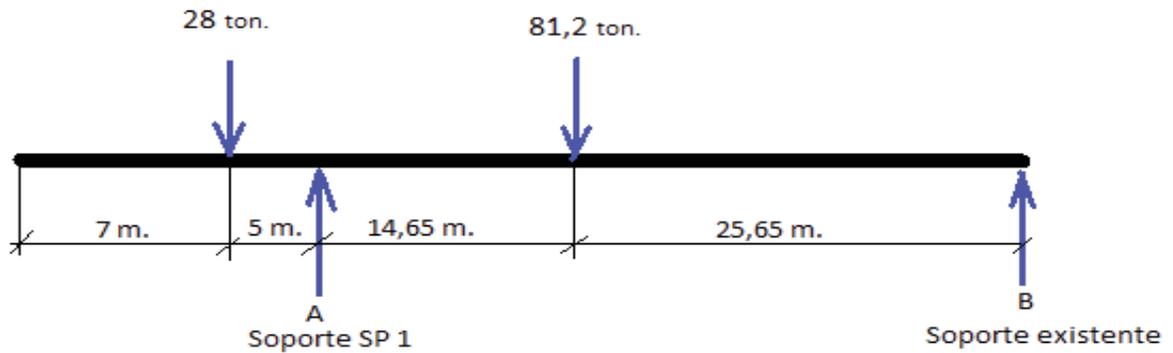


Diagrama de carga de sector de puente que queda en voladizo y soportado por SP1

El puente esta simplemente apoyado, se calcula la carga sobre apoyo existente en la entrada del puente, Reacción B, que además tiene las placas de teflón y la carga sobre soporte SP 1.

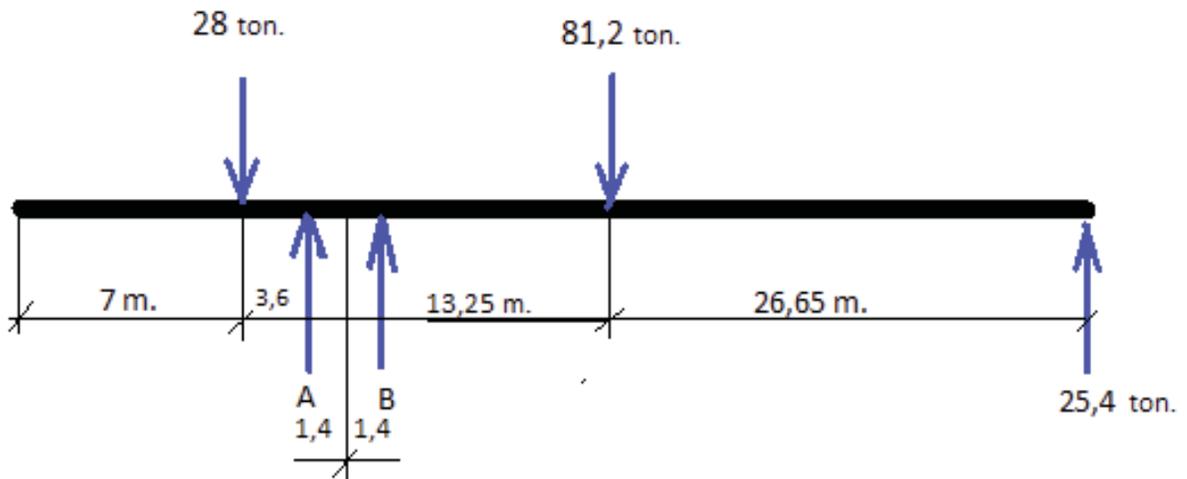
$$\sum_{MB} = 81,2 \times 26,65 - A \times 41,3 + 28,0 \times 46,3 = 0$$

$$A = 83,2 \text{ ton.}$$

$$\sum_{MA} = B \times 41,3 - 81,2 \times 14,65 + 28 \times 5 = 0$$

$$B = 25,4 \text{ ton.}$$

Como el puente esta simplemente apoyado sobre el soporte SP1, y se sabe que soporta 83,2 ton. Pero la cercanía del cajón de presión usado que tiene un peso de 28 ton. influye para determinar la carga axial sobre cada columna del soporte.



$$\sum_{MB} = 25,4 \times 39,9 - 81,2 \times 13,25 - A \times 2,8 + 28,0 \times 6,4 = 0$$

$$A = 41,7 \text{ ton.}$$

$$\sum_{MA} = 25,4 \times 42,7 - 81,2 \times 16,05 + B \times 2,8 + 28 \times 3,6 = 0$$

$$B = 42,1 \text{ ton.}$$

Es decir, se puede asumir que cada uno de los 4 puntos de apoyo recibe una carga axial de 21.000 kg.

Se asume que esta soportado tan solo por 4 cañerías de Ø 12" sch 40 ASTM A53 y 8,15 m de largo, se determinara su resistencia al pandeo.

Soporte SP 1

Cañería Ø 12" sch 40 ASTM A53

$\varnothing_{\text{ext}} = 32,385 \text{ cm.}$	Área	$A = 101.6 \text{ cm}^2$
$\varnothing_{\text{int}} = 30,323 \text{ cm.}$		
Esp. = 1,031 cm.	Momento de inercia	$I = 12493 \text{ cm}^4$

$$\text{Con } L = 815 \text{ cm. } L_0 = 1630 \text{ cm. } \lambda = L_0 \sqrt{A/I} \quad \lambda = 147$$

Por lo tanto se usa la fórmula de Euler.

- Del manual de fórmulas técnicas de Kurt Gieck, edición 17. De 1977

$$F_k = \text{Carga de pandeo de Euler} \quad F_k = (\pi^2 \times E \times I) / L_0$$

$$F_k = 97456,5 \text{ kg.}$$

$$F = \text{Carga efectiva} \quad F = 21000 \text{ kg.}$$

$$C = \text{Factor de seguridad } 8 \text{ á } 10$$

Como $F_k < C \times F$ No pandea

- Del manual de fórmulas técnicas de Kurt Gieck, edición 31. De 2007

$$\text{Formula de Euler: } \delta p = (\pi^2 \times E \times I) / (l_0 \times A) = \delta_{c(\text{perm})}$$

$$\delta_p = 959,2 \text{ kg/cm}^2$$

F = Carga efectiva

$$F = 21000 \text{ kg.}$$

n_e = Factor de seguridad 4 a 6

siendo $(F / A) \times n_e = 826,8 \text{ kg/cm}^2$ con $n_e = 4$

Por lo tanto cumple, por ser menor que $\delta_{C(perm)}$

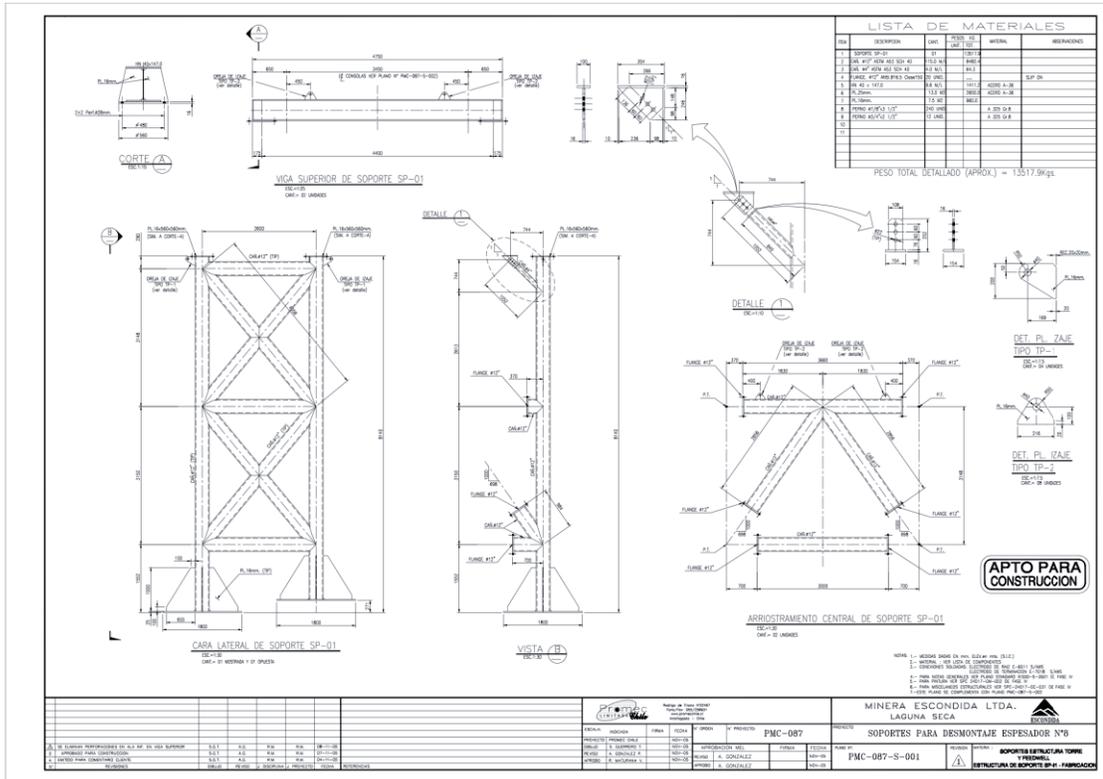


Fig. N°13: Soporte estructura puente acceso, canaleta alimentación y tambor de presión.

3.5.2 Diseño Soporte Estructura Feedwell

Se toma la decisión de no desmontar ninguna pieza de la alimentación de relave, como cajón de propulsión, boquilla de velocidad, tubo mezclador, rueda de alimentación Feedwell, piping de floculante, pasillos, entre otros. Para que todo esto ocurra y todas las partes nombradas se mantengan en posición. Se diseñan 4 cerchas dobles indicadas como Soportes SP 2 mostrados en color verde, para la rueda Feedwell, estos soportes tienen la forma de brazos soportantes y respaldo, por la frágil estabilidad estructural del Feedwell sin su suportación original de estar colgando.

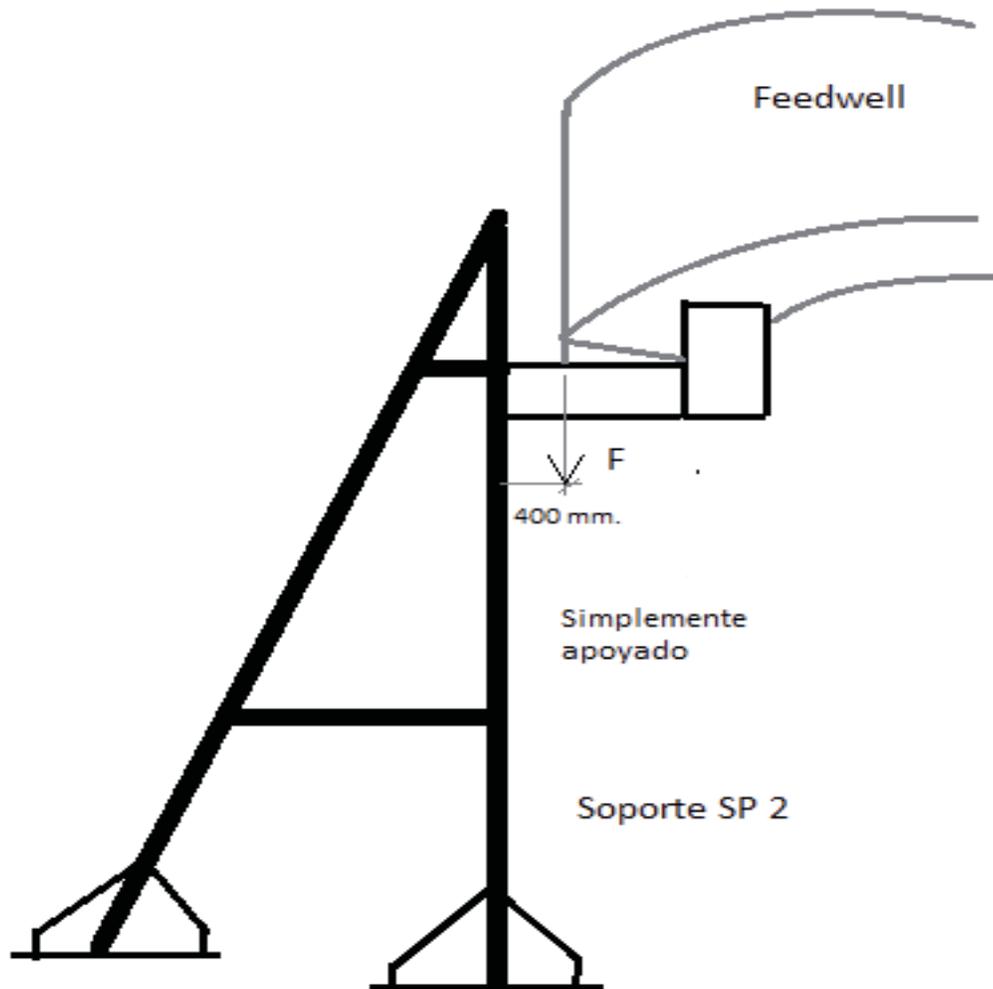


Fig. N° 14: Diagrama de carga en los soportes SP 2

Como se uso una viga HN 40 x 147 en los brazos de apoyo, no se calcula el esfuerzo por flexión, debido a la baja carga en cada soporte, sólo se calcula la capacidad de la soldadura, de acuerdo a la siguiente configuración.

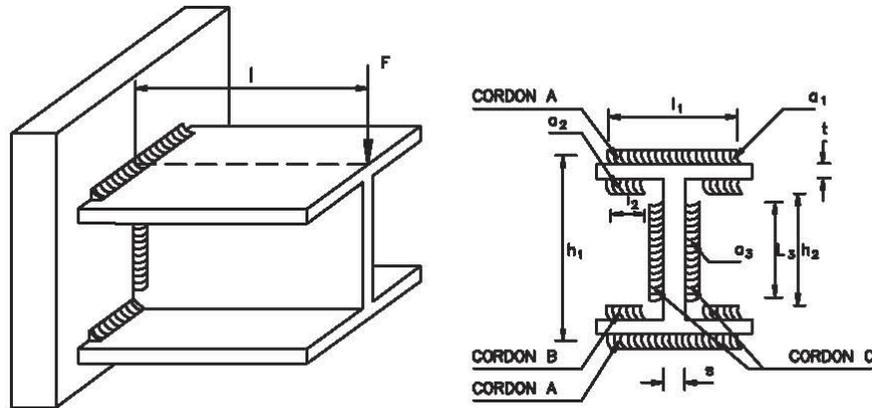


Fig. N° 15: Configuración soldadura en soporte SP 2

Para esta configuración se considera que el esfuerzo cortante actúa únicamente sobre los cordones que unen el alma y que además puede considerarse que se distribuye uniformemente a lo largo de la sección de garganta.

$$F / (2 \times a_3 \times l_3) \leq \bar{\delta}_c$$

$$F \leq 1200 \times (2 \times 0,6 \times 35)$$

$$F \leq 50.400 \text{ kg.}$$

Las tensiones debidas al momento flector se calculan teniendo en cuenta el área de la sección de garganta del cordón, abatida sobre el plano de la junta, y por tanto, las tensiones tendrán un valor de:

$$N = M/W \quad \text{y} \quad 1,18 \times N \leq \bar{\delta}_u \quad 1,18 \times M/W \leq \bar{\delta}_u$$

Siendo $W = a_1 \times L_1 \times h_1 \quad W = 0,6 \times 38 \times 41,2 \quad W = 940 \text{ cm}^3$

$M \leq (2400 \times 940) / 1,18$

$M \leq 1.911.864 \text{ kg} \times \text{cm}$

$M = F \times l \quad \text{por lo tanto} \quad F \leq 47.797 \text{ kg}$

Es decir, que tan sólo con un cordón de 6mm basta para tener un factor de seguridad de 10

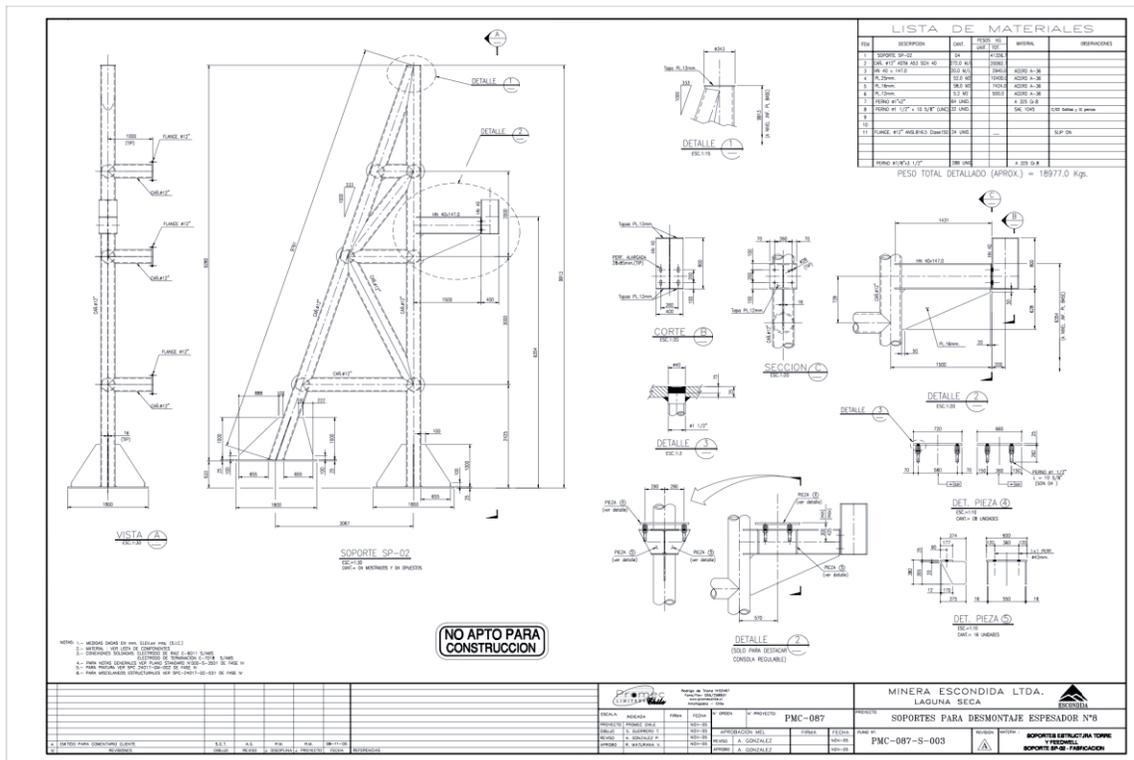


Fig. N° 16: Plano soporte SP 2 de Estructura Feedwell

3.5.3 Diseño Soporte Tubos Mezcladores E-Duc

El Soporte SP 3 mostrado en color café en Fig. N° 12, se diseña para soportar los tubos mezcladores E-Duct.

No se realiza revisión por ser fabricado con los mismos materiales de los otros soportes y el peso a considerar es muy bajo.

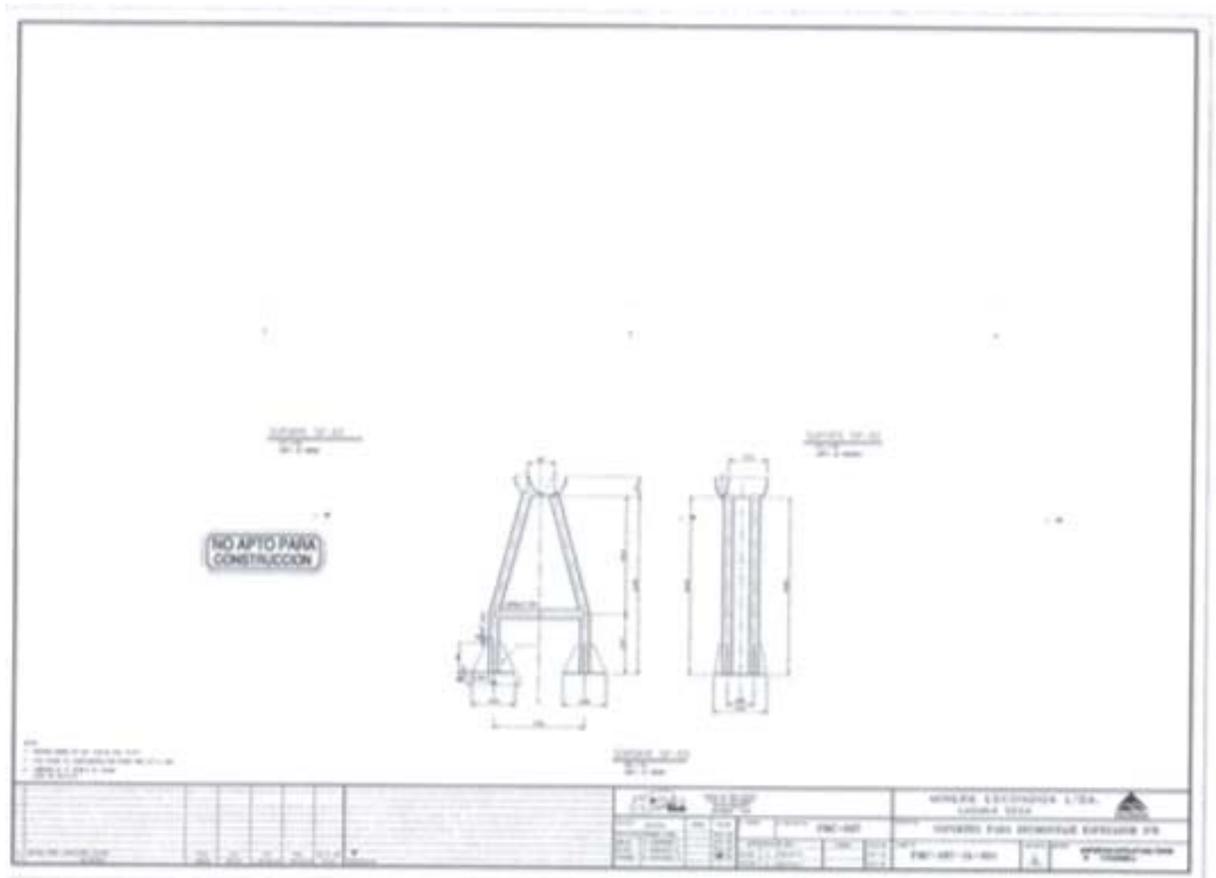


Fig. N° 17: Plano soporte SP 3 de Tubos mezcladores E-Duc

3.6 Diseño Muro y terraplén soporte grúa móvil Ac 350 Demag

La ubicación de la grúa principal AC Demag 350 a un radio de trabajo de 18 m queda ubicada justo en el cambio de pendiente de $5,9^\circ$ a $11,6^\circ$ del piso del espesador, quedando sus “patas” delanteras, las de mayor carga durante la ejecución del trabajo, por lo que se tiene que diseñar un muro y terraplén que soportara la grúa de 350 ton.

Como se indica al final del punto 3.1, Promec realiza un levantamiento en terreno y materializa los esquemas de soportes diseñados, para que pasaran a planos para ser revisados y aprobados para construcción

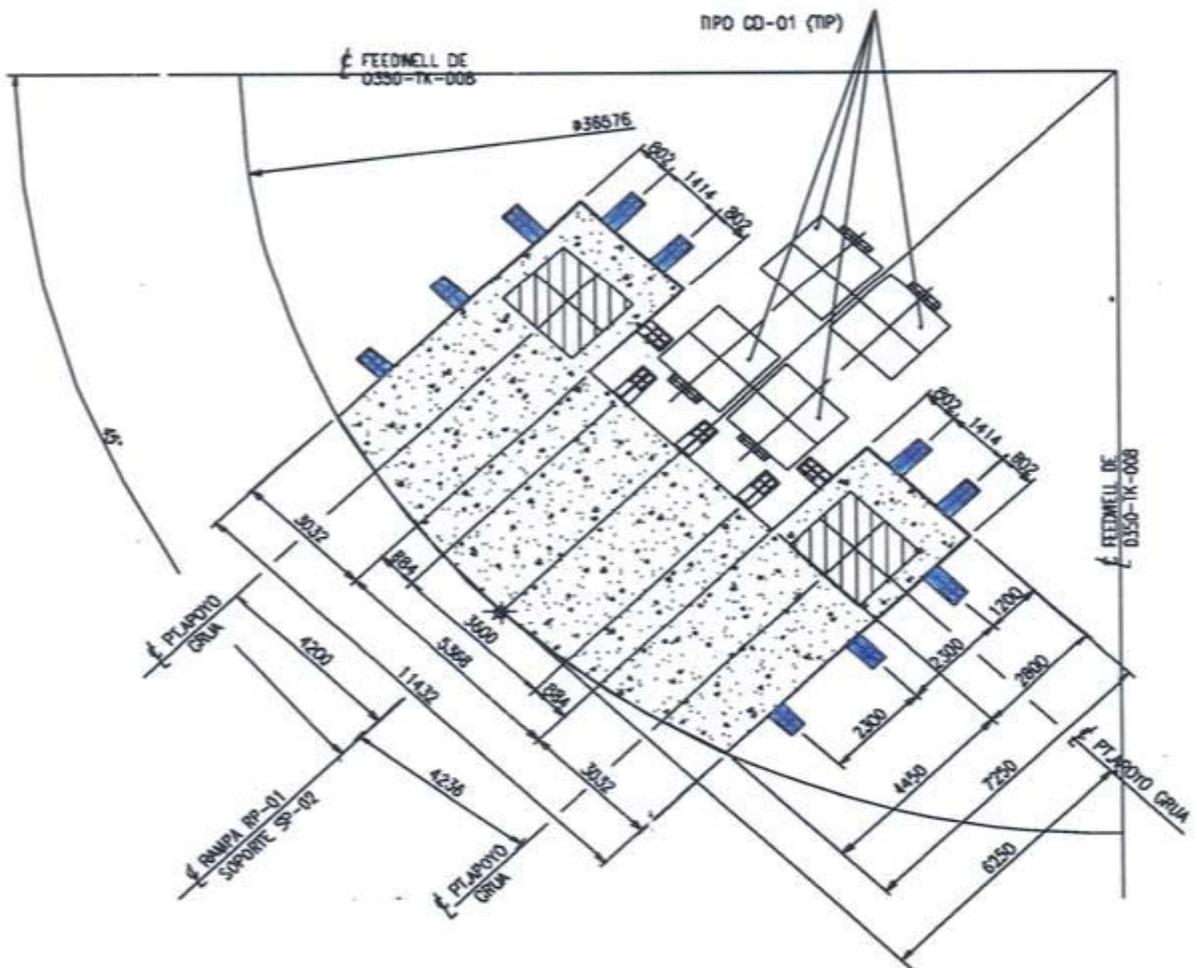


Fig. N° 18: Planta general emplazamiento que soportara la grúa de 350 ton.

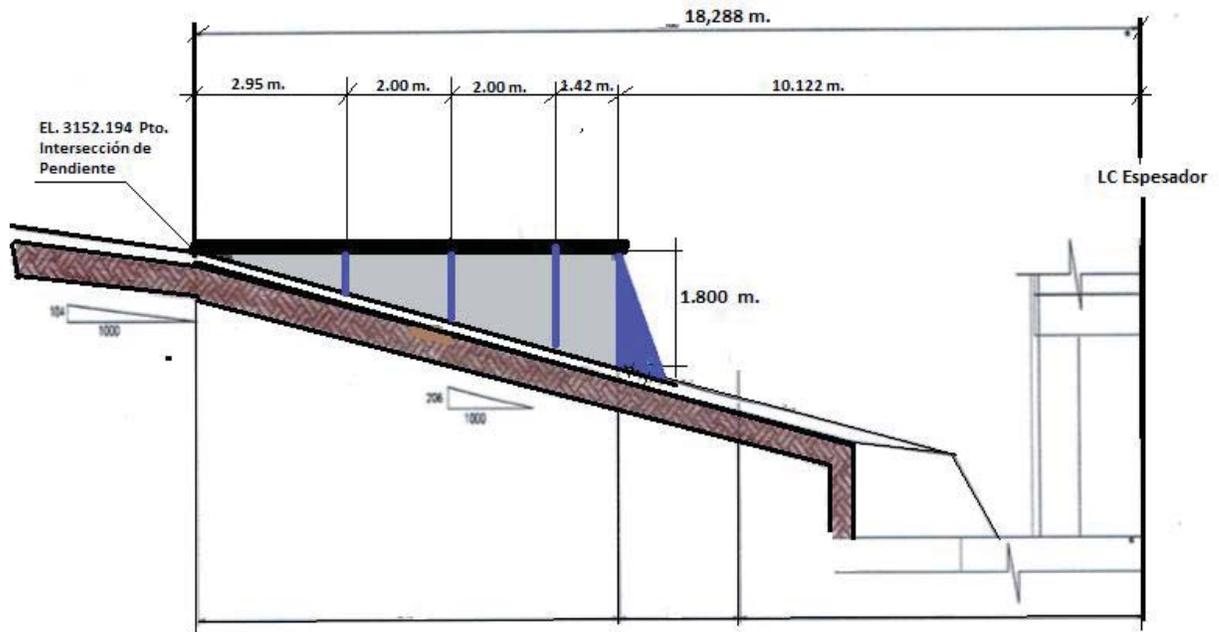


Fig. N° 19: Elevación general emplazamiento que soportara la grúa de 350 ton.

3.6.1 Bases de Diseño

Materiales

Se especifica la siguiente calidad para los materiales que se emplean en este muro de retención.

- Acero: Estructura Metálica, ASTM A-36

Mecánica de suelos

Se considera suelo capacidad soportante mínima de $1,5 \text{ kg/cm}^2$

Método de Cálculo

El cálculo se realiza mediante análisis analítico. Y en él se consideran las cargas indicadas.

El diseño de los elementos se realiza mediante el método ASD del AISC.

3.6.2 Cargas

Pesos Propios

Para la determinación de los pesos muertos de los elementos se han considerados para cálculo. Peso específico del acero $7,85 \text{ t/m}^3$

Sobrecargas (SC)

Sobrecarga: 291.000 kg. (Peso Grúa, Contrapeso, estructura a levantar)

3.6.3 Desarrollo

Modelación de la estructura

La estructura se a modelado bidimensional.

Este modelo se ha utilizado por ser más conservador en su diseño y por ende sus factores de seguridad más altos. En todo caso los factores utilizados por la AISC son:

Tracción $FS = 1,67$

Flexión $F_{smin.} = 1,67$ y puede ser mayor dependiendo del tipo de sección y largos de volcamiento.

Compresión $F_{smin.} = 1,67$ y puede ser mayor dependiendo del tipo de sección y largo de pandeo.

Cálculo Analítico

- Modelación Parámetros

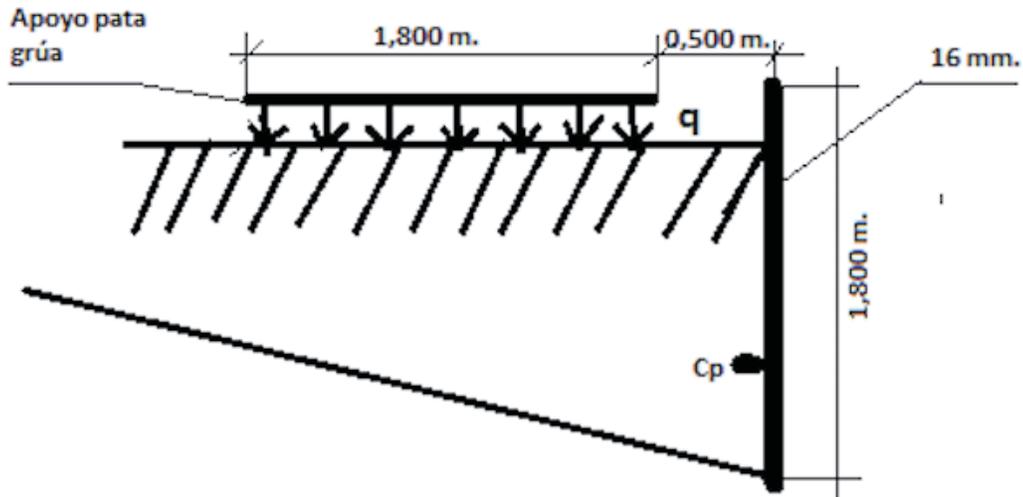


Fig. N° 20: Distribución de carga sobre terraplén, por pata grúa.

- Determinación de q

Peso Grúa: 97 ton.

Se asume que contrapeso está en posición de descarga de las piezas, es decir, con mayor peso en patas grúa lado feedwell.

Por lo tanto, carga pata trasera: (Para una sola pata)

Peso Levante: 52 ton.

Peso Contrapeso: 142 ton.

291 ton.

Peso Grúa: \approx 25 ton.

Peso Levante: \approx 13 ton.

Peso Contrapeso: \approx 71 ton.

101 ton.

$\rightarrow q = 33,6 \text{ ton/m}^2$

- Diagrama de Esfuerzos

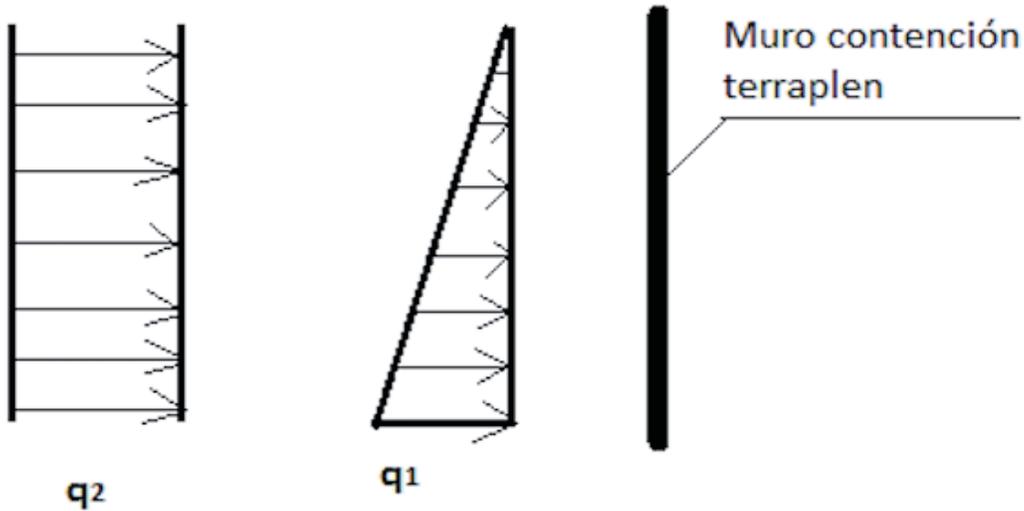


Fig. N° 21: Carga sobre muro contención terraplén

$$\begin{aligned}
 \mathbf{q_1} &= \mathbf{Y} \times \mathbf{C_p} \times \mathbf{h} \times \mathbf{h/2} & \left. \begin{array}{l} \mathbf{Y} &= 1,85 \text{ ton/m}^3 \\ \mathbf{C_p} &= 0,33 \text{ (Considera } \varnothing = 30^\circ \text{)} \\ \mathbf{h} &= 1,75 \text{ m.} \end{array} \right\} & \mathbf{q_1} &= 0,935 \text{ ton.} \\
 \mathbf{q_2} &= \mathbf{C_p} \times \mathbf{q} & \left. \begin{array}{l} \mathbf{C_p} &= 0,33 \\ \mathbf{q} &= 33,6 \text{ ton/m}^2 \end{array} \right\} & \mathbf{q_2} &= 11,09 \text{ ton.}
 \end{aligned}$$

Siendo:

$\mathbf{q_1}$ la carga hidrostática ejercida por la presión de la tierra compactada en el centro de presión.

$\mathbf{q_2}$ la carga hidrostática ejercida por la presión de la pata de la grúa en el centro de presión.

$\mathbf{C_p}$ centro de presión, altura tomada desde el piso, a la cual se aplica la fuerza resultante de las cargas hidrostáticas (0,58 m.).

El momento flector producido por la fuerza resultante es anulado por las paredes laterales del muro de contención, por lo tanto sólo se calcula el deslizamiento de la base de contención.

- **Deslizamiento Base Contención**

De acuerdo a Fig. N° 18 las consolas tienen 6 pernos de anclaje de $\varnothing \frac{3}{4}$ ". (Hilti).

Propiedades Hilti $\varnothing \frac{3}{4}$ ". (A307)

$$Q_{adm} = 2182 \text{ kg al corte}$$

→ como son 6 pernos de anclaje $Q_T = 13.092 \text{ kg}$.

Por lo tanto asumiendo que dos consolas soportan las cargas, se tiene que el corte máximo admisible es:

$$Q_T = 26184 \text{ kg.}$$

$$\rightarrow Q_{sol.} = q_1 + q_2 = 12025 \text{ kg.}$$

Entonces el factor de seguridad del diseño sera:

$$F.S. = 26184 / 12025 = 2,18 \quad \text{Por lo tanto cumple.}$$

Nota: Los rellenos se compactan hasta obtener una compactación equivalente al 80% de la densidad relativa o al 95% del procton modificado.

Lado largo,

- 1 Eslinga sintética tipo ojo – ojo con refuerzo FS 3:1
Ancho 100 mm.
Largo 12 m.
Nº de capas 3
Carga segura en U 29,4 ton.
- Ramal cadena doble con gancho de ajuste. FS 4:1
Diámetro eslabón 1”
Largo 8 m.
Carga segura en U 37,5 ton.

Lado cortó

- 1 Eslinga sintética tipo ojo – ojo con refuerzo FS 3:1
Ancho 100 mm.
Largo 8 m.
Nº de capas 3
Carga segura en U 29,4 ton.
- Ramal cadena doble con gancho de ajuste. FS 4:1
Diámetro eslabón 1”
Largo 8 m.
Carga segura en U 37,5 ton.

En esta maniobra hay libertad en la altura para el izaje, con el largo de pluma de 33 m., nos dejo un claro del gancho de 13,4 m. hasta la pluma.

3.7.2 Cálculo de maniobra de izaje Jaula

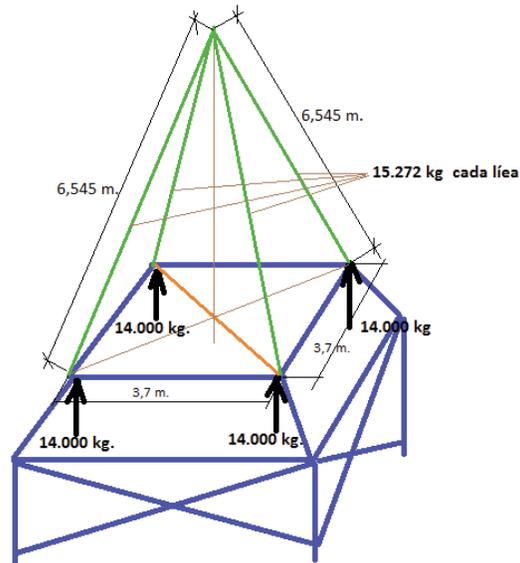


Fig. N° 23: Diagrama izaje Jaula central

De acuerdo a lo indicado en figura N° 23, se observa en color verde las maniobras a usar, sobre la línea en verde se muestra el largo requerido y en color negro la tensión que soportara para lograr el izaje, con estos datos de determina usar:

Lado largo,

- 4 Eslingas sintética tipo ojo – ojo con refuerzo FS 3:1

Ancho 100 mm.

Largo 12 m.

N° de capas 3

Carga segura en U 29,4 ton.

En esta maniobra no hay libertad en la altura para el izaje, con el largo de pluma de 33 m., deja un claro del gancho de sólo 5,0 m. hasta la pluma y la altura de la maniobra sobre la jaula no mayor a 6,0 m.

De tabla de anexo 11.6 sale que la grúa se debe posicionar a 18 m de radio y trabajar con 33 m de pluma.

**4 DESARME DEL ESPESADOR, EVALUACIÓN CONDICIONES
ESTRUCTURALES Y EVALUACIÓN DE RODAMIENTO**

4.1 Desarme del Espesador N° 8

4.1.1 Tareas responsabilidad MEL.

Desarme del espesador, trabajos y equipos de gran envergadura. Para poder ejecutar la planificación de los trabajos necesarios y poder cambiar el rodamiento central del espesador se da inicio a la primera actividad, una vez detenido el espesador. El vaciado del espesador, procurando un máximo arrastre del relave acumulado, aunque por estar trabajando sin carga el nivel de relave era bajo, quedando la capa base inferior a los peines de las rastras de 0,2 m de altura aproximada.

La limpieza del espesador, es decir, retirar la capa base de relave en el piso del espesador, para lo cual se ingresa un cargador frontal mediante el apoyo de grúa de 100 ton, ver Fig. N° 24, este tiene la primera tarea de despejar el área donde se comenzara a dejar relleno para hacer una rampa de acceso, ver Fig. N° 25, que permitirá el ingreso de equipos como un cargador frontal Le Torneau con un balde de 25 m³, camiones tolvas de 30 m³, los que removerán 2460 m³ de relave desde el piso, la grúa de 350 ton, camiones con instalaciones de faena etc.



Fig. N° 24: Retiro de relave desde interior espesador



Fig. N° 25: Rampa de acceso de equipos a interior espesador

Otra de las tareas responsabilidad de MEL es mandar a fabricar todos los equipos auxiliares de apoyo (alzaprimas, soportes SP mostrados en Fig. N° 12, en capítulo anterior), protecciones de maniobras y fijaciones para la suportación. Las cuales se logro que llegaran dentro de los plazos comprometidos para iniciar el desmontaje.



Fig. N° 26: Ingreso de alzaprimas a espesador.

Un soporte SP 2 sobre rampla.

4.1.2 Preparación para desmontaje

Una vez dentro del espesador se comienza con el armado de las alzaprimas, cada una cerca del lugar donde serán instaladas

Otro dato relevante de este desarme es el punto que se tratara en 4.3 Evaluación de condiciones estructurales, a medida que se realiza el desarme se tiene que decidir retirar y cambiar por nuevos el cajón de presión, las boquillas, los tubos E-duc con su sección de Feedwell. Por lo que se prioriza el armado y montaje de las cuatro alzaprimas soportante del Feedwell.

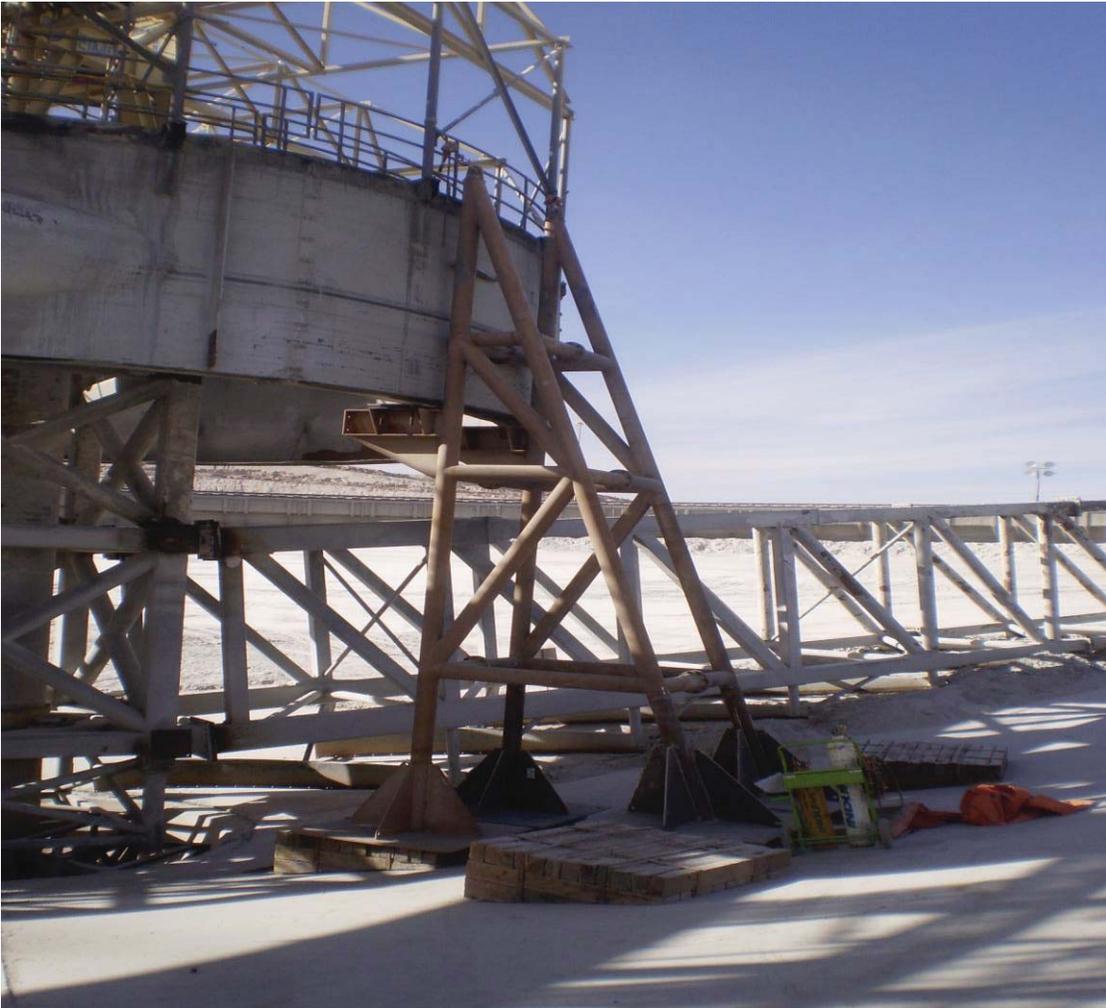


Fig. N°

27: Alzaprima de Feedwell.

Soporte SP 2 instalado para soportar rueda de decantación (Feedwell)

Un punto que cabe destacar es la posibilidad de armar andamios colgantes, lo que permite dejar espacios libres y poder trabajar en distintos niveles, considerando que por la magnitud del trabajo se realiza en varios frentes simultáneos, como el alzaprimado, el retiro de líneas de aire, de agua, de floculante, desmontaje realizado por los eléctricos etc, ver Fig. N° 28



Fig. N° 28: Andamios colgantes, para realizar trabajos simultáneos y cajón de presión y toberas con desgaste que deben ser cambiados.

Otro de los soportes auxiliares que se comenzó a instalar es el muro de contención de grúa Ac 350 Demag, ver Fig. N° 29. Para luego hacer el relleno y compactar hasta alcanzar el nivel requerido de una compactación equivalente al 80% de la densidad relativa o al 95% del procton modificado. Si bien, esta tarea es importante tenerla completada, es porque se comienza hacer el armado de la alzaprima que soportara el puente, ver Fig. N° 30, se deben retirar cojón de presión y tubos E-Duc, y en especial al avance de las otras tareas de desconexión y retiro como cañerías de agua, aire, floculante y trabajos realizados por los eléctricos





Fig N° 29: Muro de contención de relleno que soporta grúa Ac 350 Demag

La importancia de este soporte SP 1, ver Fig. N° 30, es que una vez terminado todos los trabajos de desconexión estructural y de piping, se está en condición de retirar el segmento del puente, primer desarme mayor.



Fig N° 30: Soporte SP 1. Alzaprima soportante estructura de puente acceso que queda instalado después de retirar primer tramo que se apoya sobre columna.

La rastra larga o motriz es una rastra de 62 m de largo y tiene un peso de 82 ton y su posición es con una pendiente de $5,6^\circ$, por lo que antes de soltar algo se debe fijar

a piso para evitar cualquier desplazamiento, ya que no sería fácil su reubicación, ver Fig. N° 31



Fig N° 31: Rastra larga o motriz, en proceso de anclaje a piso.

Luego se procede a corte de pernos de flange de unión entre rastra y jaula, ver Fig. N° 32, para luego torchar la soldadura perimetral que une los flanges de empalme.



Rastra Corta

Torchar

Rastra Intermedia

Flange de empalme Rastra con Jaula, pernos se deben cortar y torchar soldadura

Fig N° 32: Pernos de flange de unión entre rastra y jaula

La secuencia de desacople es: primero la rastra larga, luego las dos rastras cortas y tercero la rastra intermedia, ver Fig. N° 33. Las rastras cortas y la intermedia se

desplazan hacia el sector sur del espesador, para dejar despejada el área de trabajo para los próximos desmontajes.

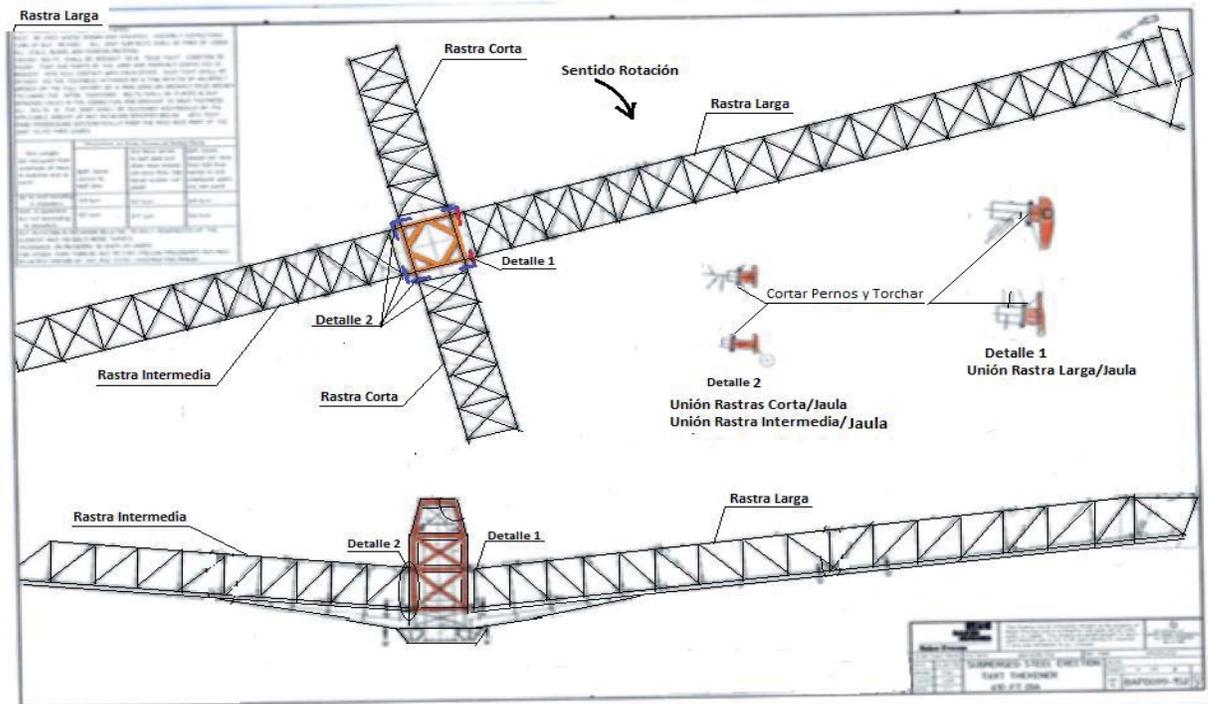


Fig. N° 33: Rastras del espesador, para ver secuencia de desacople.

Terminado los trabajos en nivel de piso se procede a preparar desacople en el último sector de la estructura del puente como:

- Estructura puente de Feedwell
- Instalación de maniobras de izaje
- Desconectar estructura puente de columna central
- Corte de puente
- Retiro de último sector del Puente

4.1.3 Desmontaje de último sector del Puente



Protección para evitar cantos vivos al pasar maniobra de izaje.

Fig N° 34: Protección para y maniobras de izaje

Debido a las dimensiones y pesos de los izajes se instalan protecciones para evitar que las maniobras de izajes tengan contactos con cantos vivos y puntos de concentración de esfuerzos para evitar posibles cortes de las maniobras. Luego de montada la maniobra de izaje se revisan los ajustes y nivelación requerida, se procede al desmontaje del último sector del puente. La grúa rota 180° y lo deja en la parte trasera de esta hacia la izquierda, ver Fig. N° 35

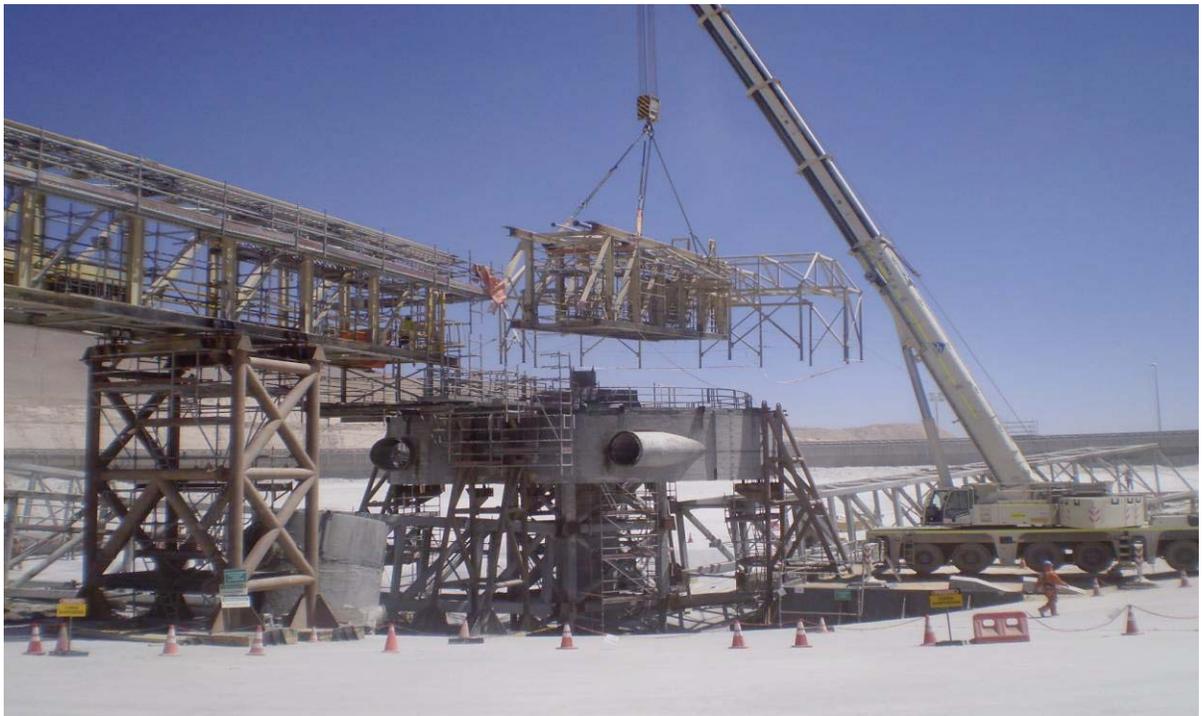


Fig N° 35: Retiro de último sector del puente con estructura soporte de Feedwell

4.1.4 Desmontaje de Jaula

Luego se procede a cambiar maniobra y se instala lo requerido para retirar la Jaula central, esta es de menor altura debido a que la jaula central debe salir por sobre la columna central que es de similar dimensiones, ver Fig. N° 36. Cuando se retira la Jaula la grúa rota 180° y lo deja en la parte trasera de esta hacia la derecha.

En ambas estructuras a pesar de los pesos y dimensiones de instalan tensores de afianzamiento para evitar volteo o desplazamientos, por sismo o viento.



Fig. N° 36: Retiro de Jaula central

Como último movimiento se instalan andamios alrededor de la columna central, para poder alcanzar el rodamiento central, se realiza limpieza y se retira la tapa del

rodamiento, luego se instalan maniobras y se retira rodamiento central, ver Fig. 37. Logrando con este ito el objetivo general del proyecto, seguir planificación, para desmontaje en menor tiempo posible y tener acceso al rodamiento.

Este rodamiento es llevado a maestranza de la concentradora para ser desarmado y hacer una evaluación de condición y la causa de falla, que se verá en punto 4.2 siguiente.



Fig. N° 37: Rodamiento central del espesador, sobre columna superior (Kings Post)

4.2 Evaluación de condiciones y falla de rodamiento central.

4.2.1 Descripción de falla

Como se muestra en plano adjunto, Fig. N° 38, este es el rodamiento central que soporta la jaula sobre la columna central, que permite ser el punto de rotación de las rastras, y gira a 0,04 rpm y soporta una carga axial de 216,8 ton, que es el peso:

$$W = 48,6 + 82,0 + 46,0 + 2 \times 20,1 = 216,9 \text{ ton.}$$

W = peso de la jaula + rastra larga + rastra intermedia + 2 rastras cortas.

Presenta falla, detectándose aumento de torque hasta niveles en que los motores eléctricos de tracción caen por aumento de amperaje. Pero mecánicamente se aprecia que ocurrió un desplazamiento axial, es decir, la cubierta exterior que es la tapa del rodamiento (en color verde), y sobre esta placa se apoya la jaula central que soporta las rastras, y sobre esta el soporte de los rieles toma corriente, que bajaron unos 30 mm., llegando a desconectar la energía eléctrica y la placa base del soporte del toma corriente raspa los pernos del flange de unión de columna superior con soporte del puente, (en rojo).

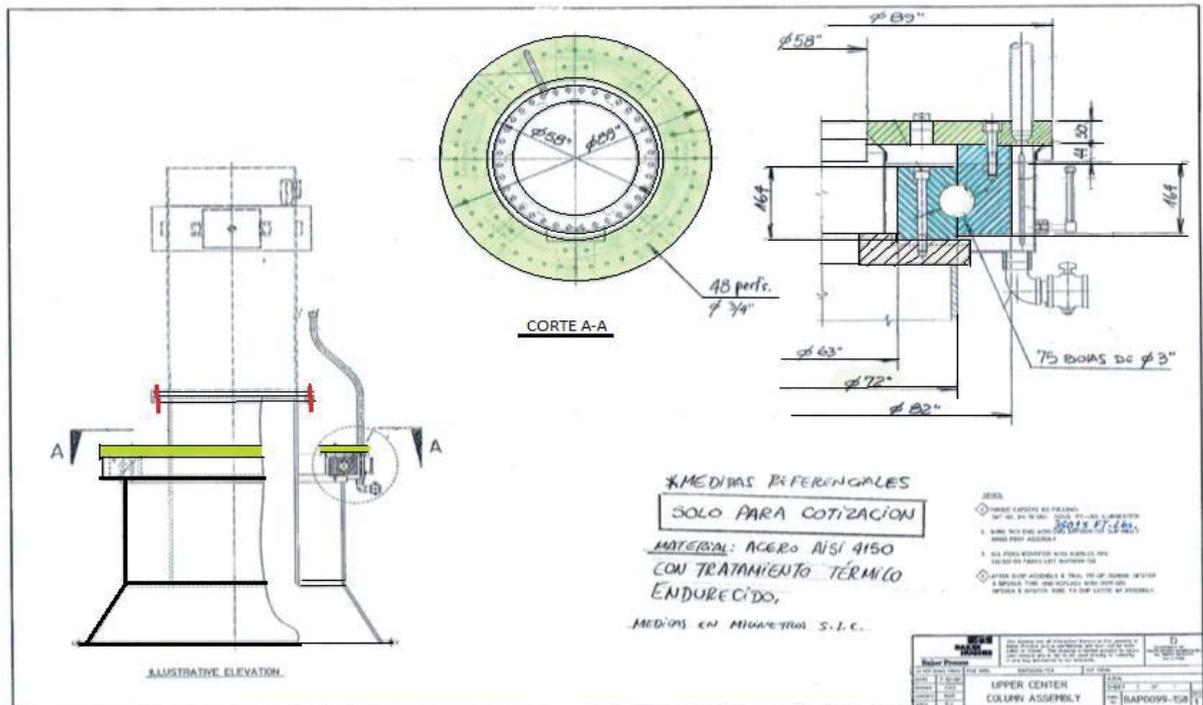


Fig N° 38: Plano de Rodamiento Central

4.2.2 Descripción de daños en rodamiento y posibles causas

- Una vez que se retiró el rodamiento desde su apoyo sobre el Kings post se limpia cárter y se observa desgaste producido por el roce de la cubeta exterior del rodamiento con la base. También cabe destacar que en el fondo del cárter había una capa de lodo arenoso, producto sólido de relave que entro con contenido de azufre, más la cantidad de agua producto de la condensación e ingreso durante el lavado, formo una gran cantidad de ácido sulfhídrico que contamina el aceite.

Carter de rodamiento, encontrado con mucho barro de concentrado y agua.



Zona de desgaste en la base de apoyo, producto de roce de la cubeta exterior del rodamiento central. Lo que indica un desplazamiento axial de unos 30 mm.

Fig. N° 39: Placa base donde se apoya rodamiento, pérdida de material por roce.

- Con rodamiento en maestranza se procede a una limpieza detallada y profunda, para ver si hay existencia de marcas o guía para poder abrir rodamiento sin romper. Se encuentra marca de $\text{Ø } \frac{1}{2}$ " sobre cubeta interior que resulta ser un pasador el que se golpea para desplazarlo, luego en forma radial hay un circulo de $\text{Ø } 3 \frac{1}{4}$ " al que se suelda un perno extractor, se gira y tira saliendo hacia interior de rodamiento, siendo este un tapón. ver Fig. N°40



Fig. N° 40: Pasador y tapón de rodamiento, para armado o desarme de rodamiento.

- Por la perforación que queda al retirar tapón con un imán, se retiran 62 bolas enteras y fragmentos que sumarían 10 bolas más, pero se observa que si bien las bolas estaban entera, pero casi todas con deformaciones, como si se descascararan por capas.
- El ácido sulfhídrico, un importante elemento con contenido de azufre, que a veces puede causar fracturas por agrietamiento en las bolas de acero de los rodamientos – un daño que no suele producirse en otras aplicaciones – y el desconchado superficial de los caminos de rodadura, condición agravada por la alta carga a que están sometidas.



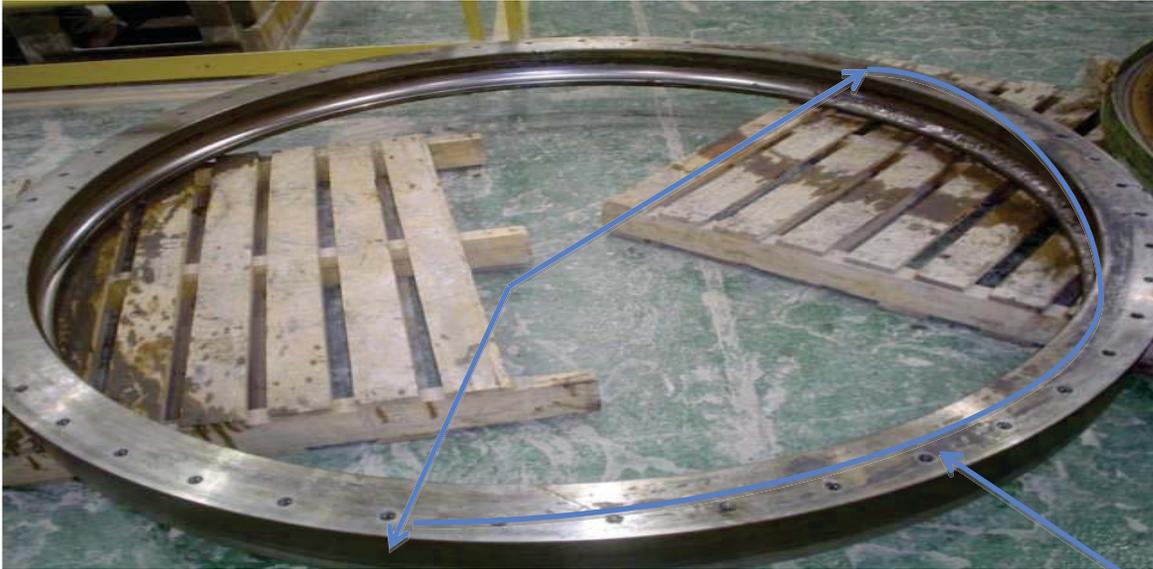
Fig. N° 41: Bolas dañadas del rodamiento, Descamación.

- Con el retiro de las bolas se pudieron separar las cubetas interior y exterior, quedando expuesto el daño en cada cubeta



Fig. N° 42: Cubeta interior de rodamiento, daño en borde superior (1), pista de rodadura (2) y borde inferior (3). En mitad de rodamiento que da hacia puente.

- En ambas cubetas existe daño como si la superficie de la pista de rodadura fuera muy dura y al pasar las bolas con una alta carga la fue fracturando, hay desprendimiento de trozos (descamación), los que a su vez fueron arrastrados provocando una erosión mayor.
- Todo lo anterior del daño en las bolas y en las cubetas del rodamiento se ve seriamente agravado por una pesima lubricación y deficiente frecuencia de drenaje de agua producto de la condensación y por ingreso producto de un lavado descuidado del área.
- También se puede agregar que prácticamente no existía sello en lado interior del rodamiento, lo que es muy difícil de percibir su falta con inspección visual.



Sector con daño en rodamiento, este daño estaba orientado hacia el puente.
Fig. N° 43: Cubeta exterior de rodamiento, daño en pista de rodadura y borde

- Con los distintos controles topográficos que se hicieron al ir desarmando se aprecia desviaciones que pudieron ayudar a la aparición de cargas fuera de diseño, que terminaron con la vida útil del rodamiento.

Estas desviaciones son:

1. La columna central está fuera de la verticalidad, en el límite de la tolerancia estructural de 1 mm x 1 m de altura. (13 mm desviada)
2. La placa superior del Kings Post no estaba nivelada, más la desviación era en la misma dirección del desaplomo de la columna.
3. El puente de acceso no presentaba la curvatura requerida (Camber), tenía una parte horizontal.

Todo lo anterior producía una mayor presión del contacto angular de la bola contra la cubeta exterior, junto con el fenómeno de la descamación producida por la contaminación ácida, se suma el de desprendimiento por fatiga superficial (Spalling) como resultado de la sobrecarga.

Se cumplen primer y segundo objetivos específico, de desarmar rodamiento y poder identificar tipos de daño y ubicación dentro del rodamiento y respecto al resto del equipo.

4.3 Evaluación de condiciones estructurales de partes del espesador.

4.3.1 Evaluación de condiciones de equipos línea de alimentación

Como se aprecia en Fig. N° 44, están el cajón de traspaso, el cajón de presión, las boquillas de velocidad y los tubos E-duc los que presentan algunas roturas, por lo que se decide realizar un levantamiento de espesores con ultra sonido, revelando un notorio desgaste generalizado.



Fig. N° 44: Cajón de traspaso, Cajón de presión, Boquillas y Tubos E-Duc usados

Dadas las condiciones ideales de tener un espesador detenido y vaciado, se decide hacer el cambio de todos estos equipos, primero porque se cuenta con ellos en los patios de almacenajes, las grúas con la capacidad necesaria y el espesador despejado.

Primero se arman andamios bajo los tubos E-duc y boquillas, estas son las primeras en retirarse, luego son desmontados los tubos E-duc, se amplían los andamios para continuar con los sectores del Feedwell donde llegan los tubos. Como los andamios cubren todos los equipos se procede a cortar los pernos de los flanges

de unión del cajón de traspaso y ducto corto. Finalmente se desarmaron todos estos andamios, para hacer el desmontaje del ducto corto, luego el cajón de traspaso. Todos estos movimientos se realizaron con el apoyo de la grúa Grove de 100 ton.

Para el retiro del cajón de presión se decide sacarlo con la grúa AC 350 Demag, porque este está lleno de concentrado y se estimó un peso de 30 ton.



Fig. N° 45: Cajón y ducto traspaso hacia Cajón de presión.

Inmediatamente terminado el desmontaje de estos equipos se procede con la limpieza y toda la secuencia inversa para el montaje, apoyado con la grúa de 100 ton. Todas las piezas están limpias y nuevas.



Fig. Nº 46: Cajón de presión, Baquillas de velocidad y Tubos E-Duc Nuevos

Otro motivo que respalda la decisión del cambio fue que se debía realizar una modificación en los largos de las boquillas de velocidad, su descarga debe quedar a 11" de la soldadura del cono con la parte recta del tubo E-duc



Fig. Nº 47: Sección de Feedwell donde llega tubo E-Duc, almacenada en patio

4.3.2 Evaluación de condiciones de equipos descarga relave en túnel

Como se aprecia en plano BAP 0099-101.3 anexado, la parte central del espesador es la más profunda y es el punto donde converge el relave para ser descargado. Esto se realiza a través de 4 tubos de 24" llamados espigot que atraviesan y están insertos en el hormigón, los cuales tienen una camisa de desgaste en su interior de 20" para protegerlos. Las que son cambiadas.

Al igual que en la parte superior, son las condiciones ideales para realizar este cambio de camisa de espigot. Los tubos espigot son los que salen desde el techo y soportan el conjunto de válvulas de control de la descarga mostrados en Fig. N° 48.



Fig. N° 48: Línea de descarga de relave en interior tunel de descarga.

Dos tubos espigot de 20" descargan en una línea de descarga de 24", las válvulas inferiores son las que controlan la descarga (on/off), las superiores sólo trabajan para permitir hacer mantención a las inferiores o línea completa.



Línea de agua nueva.  Línea de aire nueva.  Ambas para desembancar

Fig. N° 49: Flange superior de espigot y válvulas de control de descarga

Como se muestra en la Fig. N° 49 se debe desmontar todo el conjunto de válvulas y líneas menores de agua y aire, para desacoplar el flange de 24" que está más cerca del techo para poder retirar hacia abajo la camisa del espigot. Una vez cambiado el espigot, la válvula de 20" que está más arriba sólo trabaja cuando se realizara una reparación en el resto del circuito, porque es la válvula de seguridad, por lo tanto, se decide cambiar por una nueva en las cuatro descargas.

La válvula inferior es la del trabajo continuo para descargar es espesador, la que se cambia por una reacondicionada, es decir, con cuchillo y sellos nuevos.

Como mejora a la carretilla que se encuentra entre válvulas se adicionan líneas de agua y aire que se usaran para desbancar la válvula y la línea de descarga, que cruza todo el túnel, cuando están tapadas.

4.3.3 Evaluación de condiciones de Estructura de puente, rastras y columna.

Con una revisión visual detallada total y en algunas zonas al azar con ultra sonido se revisa el estado de la estructura de las rastras, las que presentan muy buen estado debido a que originalmente fueron pintadas con Coaltar Epóxido Negro de 1,5 mm. de espesor.

La estructura del puente también no presenta oxidación o corrosión, debido a que tiene el esquema completo de pintura estructural.

**5. CORRECCIONES Y MEDIDAS PARA MONTAJE DE NUEVO
RODAMIENTO CENTRAL**

5.1 Correcciones

Se abordara primero las correcciones que para nombrar las desviaciones encontradas durante el desarme del espesador.

- Partiendo desde el punto central, la columna central inferior tiene una desviación hacia lado sur de 13 mm, siendo lo máximo permitido para un montaje estructural de 1: 1, es decir 1 mm desviado por 1 m de altura. Esta es una condición crítica debido a que no se tiene contemplado el desmontaje de la columna.
- Otro punto que presenta desviación es la desnivelación de la placa superior de la columna central superior (Kings Post), parte de esta desnivelación es producto de la no verticalidad de la columna inferior.
- La falta total de curvatura (Camber) de la estructura superior, es decir, el puente de acceso. Teniendo 2/3 con curva y 1/3 final recto, lo que produce fuerzas horizontales de empuje en la columna superior.
- Otro punto no evaluado durante el desarme, pero si es una medida importante a considerar en el armado, son los controles que se deben considerar en el montaje de la jaula y el acoplamiento de las rastras.

5.2 Medidas tomadas para montaje de nuevo rodamiento central del espesador

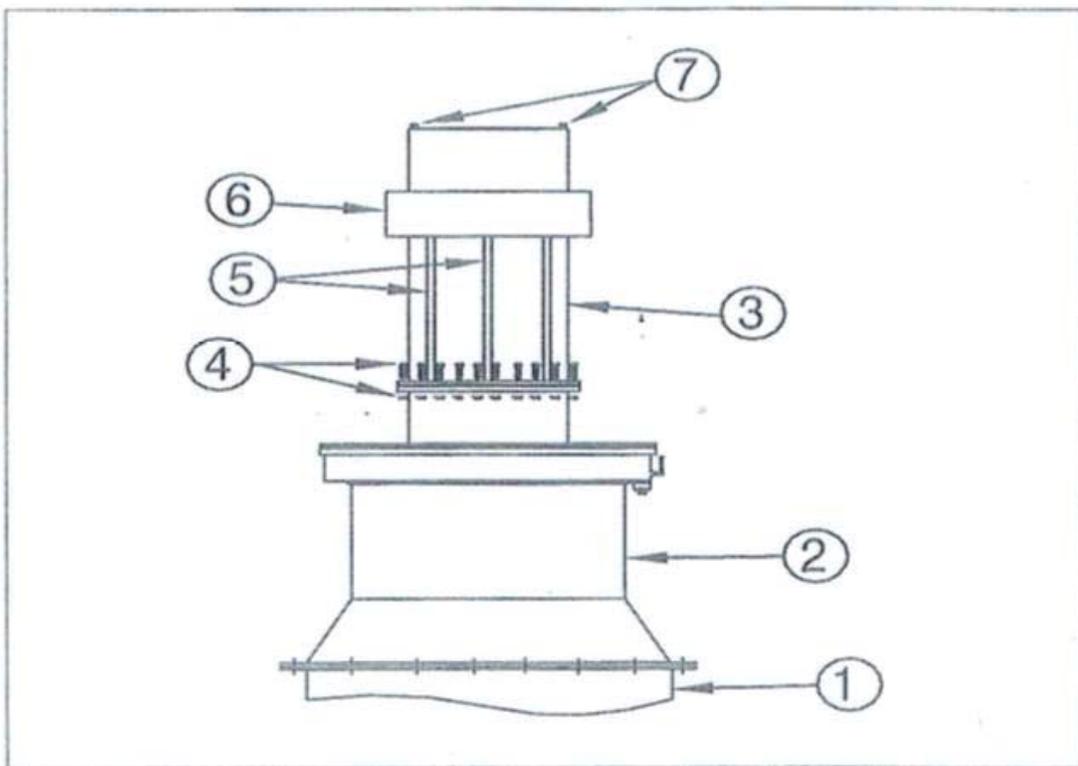


Gráfico N° 5

1 - Columna inferior	4 - Pernos de alta resistencia y tuercas con dos arandelas lisas c/u.	7 - Ariete de levante. Retirar luego de instalar unidad de pendolón y anillos deslizantes.
2 - Unidad de columna central superior	5 - Bloqueo temporal	
3 - Unidad de anillos deslizantes y pendolones	6 - Unidad de anillo deslizante y protecciones	

Fig. N° 50: Unión de columna inferior con unidad de columna central superior

- Para solucionar el problema de verticalidad de la columna inferior y la nivelación de la base donde se apoya el rodamiento, se decide torchar soldadura en unión de columna inferior con la columna superior y luego soltar los pernos



del flange, se separa tramo 1 de tramo 2 mostrado en Fig. N° 50.

Fig. N° 51: Soldadura interior de flange unión columna Inferior y superior.

Manteniendo apoyada la parte superior se procede a nivelar la base de apoyo del rodamiento, poniendo laines entre los flanges hasta lograr quedar dentro de la tolerancia de nivelación de 0,125 mm en 300 mm. Es decir, si el punto más bajo es 0,00mm el más alto debe ser menor a 0,762 mm. Una vez logrado esta nivelación se procede a torquear los pernos hasta un 70 % de lo requerido. Terminado el torque se procede a soldar los flanges por el interior de la columna en toda su longitud y continuo. Luego se torquee a 100%

Una vez terminada la soldadura y verificada que se mantuvo la nivelación requerida, se monta rodamiento nuevo y verifica suavidad de giro y nivelación de su tapa donde se apoya la Jaula.

- Ahora se monta la jaula, hasta que sus 8 vigas de apoyo toquen la parte superior de tapa de rodamiento sin soltar la maniobra y sin cargar esta tapa. Se procede a verificar la verticalidad de la Jaula en sus cuatro patas, se instalan barras separadoras soldadas en la parte inferior de la jaula para mantener esta verticalidad, alcanzado eso se procede a instalar laines bajo los apoyos de la jaula que tengan claro sobre tapa de rodamiento. Ver punto 5 en Fig. N° 52 y ver Fig. N° 53.

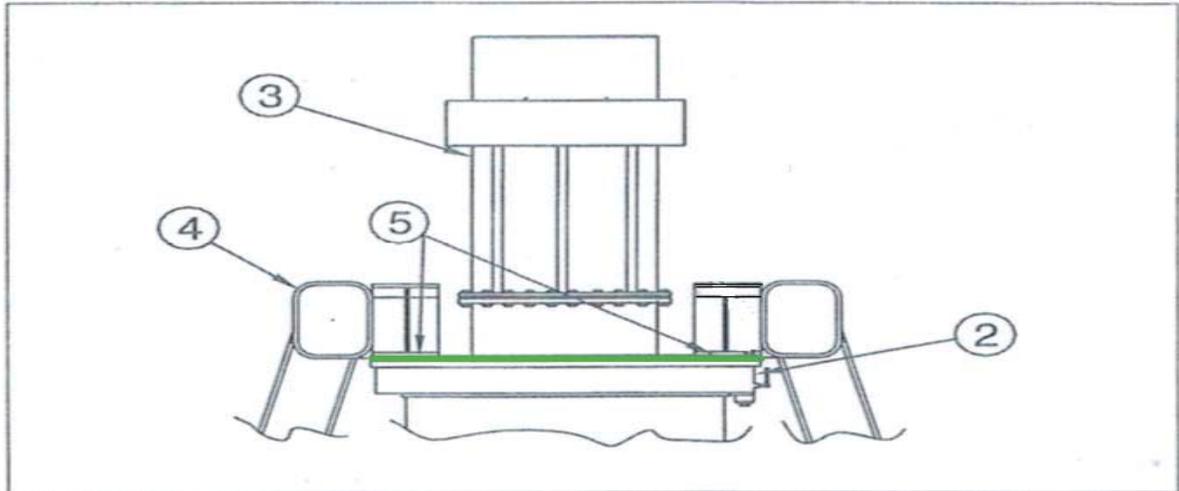


Gráfico N° 6

1 – Tubo con varilla de medición	3 – Unidad de pendolón / anillo deslizante	5 – Cuña que regula nivelación de la jaula
2 – Unidad de columna central superior	4 – Jaula	6 – Varilla medidora de aceite

Fig. N° 52: Gráfico de manual de espesador indicando instalación de laines.

En punto N° 5



Fig.

Nº 53: Apoyo Nº 2 de la jaula sobre tapa de rodamiento, se ve lana.

- Con la jaula en posición vertical y apernada sobre rodamiento, primero se continúa con el montaje de las dos rastras cortas, a las cuales sólo se les verifica su altura contra la pendiente del cono central del espesador. Para levantar o bajar se introducen lanas entre los flanges, punto 3 de Fig. Nº 54. Quedando ambas parejas se procede a torquear los pernos.

Se prosigue con la rastra intermedia, en esta rastra se debe verificar que en la parte del cono los peines deben quedar a la misma altura que los de las rastras cortas, y en el resto deben quedar paralelo al piso.

Ahora se monta la rastra larga o motriz, como en esta rastra no se puede variar la altura, sólo se debe trabajar en los peines, para que tengan la misma altura en el cono con las otras rastras y en la parte larga también debe quedar paralelo al piso.

Pero lo importante es que como esta rastra se fijó al piso antes de soltarla, ahora se debe tomar la medida de la separación de los flanges y usar lanas, son aproximadamente 12 mm. Para poder poner los pernos y torquear.

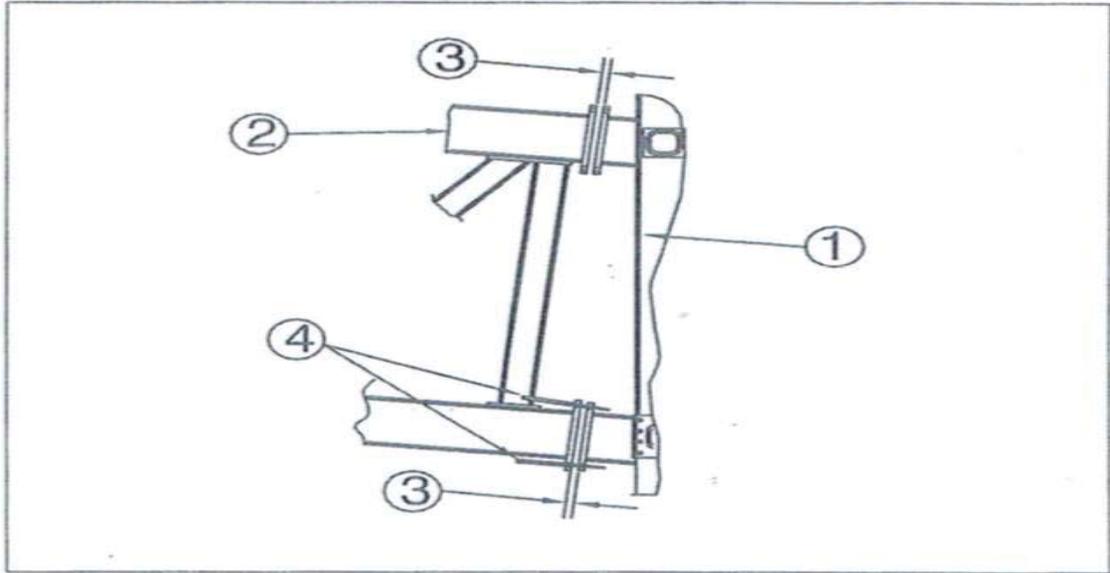


Gráfico N° 16

1 – Jaula	3 – $\frac{1}{2}$ " (12 mm)
2 – Sección interna del brazo largo (accionamiento)	4 – Pasadores bien engrasados en los cuatro orificios del brazo inferior hacia la conexión de la jaula que sirven como guías para alineación de los orificios.

Fig. N° 54: Flanges de unión de rastras con jaula central.

- Ahora, para montar el tramo del puente, se aproxima hasta apoyarse sobre el flange de la columna central, se aperna y aprietan manualmente. Luego se procede a realizar el empalme del otro extremo con el resto del puente, igualmente se colocan las placas de empalme y se aprieta manualmente los pernos, para permitir soltar la maniobra.

Con puente montado, se reubica la grúa Ac 350 Demag y toma el puente desde el centro con una maniobra vertical. Hacia el centro del espesador sobre soporte SP – 1 se instalan 4 gatos hidráulicos de 50 ton cada uno con la finalidad de comenzar hacer un levante controlado para poder dar el **Camber** de toda la estructura del puente, también se requirió el apoyo de la grúa Grove de 100 ton hacia la entrada del puente. Ver Fig N° 55.

Nota: Todas las maniobras fueron aisladas y muy protegidas. Debido a que una vez logrado el Camber se torquearon todos los perno y soldaron todas las placas de empalme del puente.

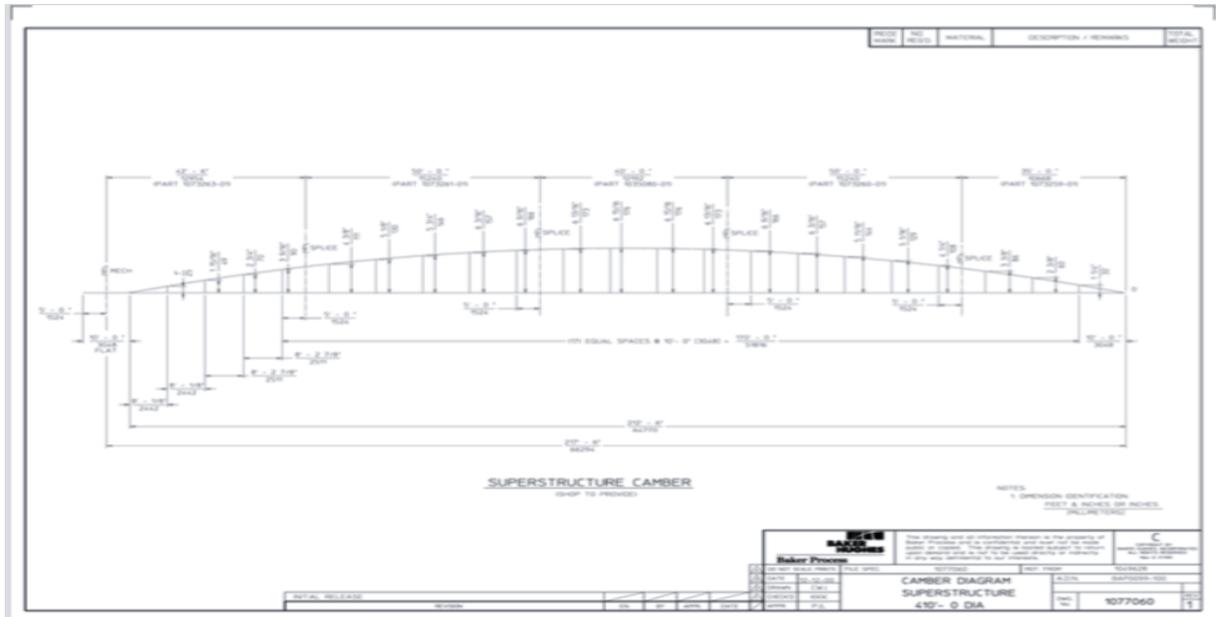


Fig. N° 55: Camber de la estructura del puente

Ver plano N° BAP 0099 – 100.1

Terminados los trabajos de soldadura de las placas de empalme y verificado el Camber, se observa que el flange indicado en Fig. 56 queda abierto, por lo que se decide torchar soldadura indicada en punto 3 de dicha Figura. Se alinea flange y apertó torqueando, luego se verifica unión de punto 3, una vez centrada por lo que se procede a hacer la soldadura, quedando el puente apoyado y fijo sobre la columna central.

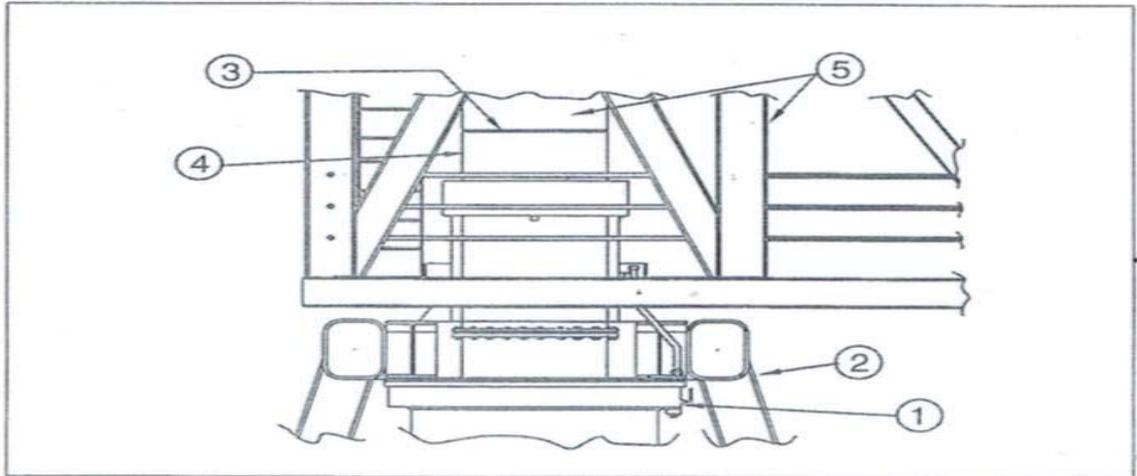


Gráfico N° 8

1 – Unidad de Columna central superior	3 – Soldar de acuerdo a especificaciones	5 – Superestructura interna
2 – Jaula	4 – Unidad de pendolón / anillo deslizante	

Fig. N° 56: Puente apoyado sobre columna central



Fig. N° 57: Soldadura interior de punto N° 3 de Fig. N° 56



Fig. N° 58: Soldadura exterior de punto N° 3 de Fig. N° 56

Una vez terminado los trabajos de fijación del puente sobre columna central se procede a cambiar las placas deslizantes del extremo libre, es decir, de la entrada del puente y corrigen todos los pernos guías, además se cambian los pernos de fijación de la canaleta de alimentación, ya que esta tiene distinta dilatación con el puente, por lo que hay un desplazamiento entre la canaleta y el puente. Ver Fig. N° 59.

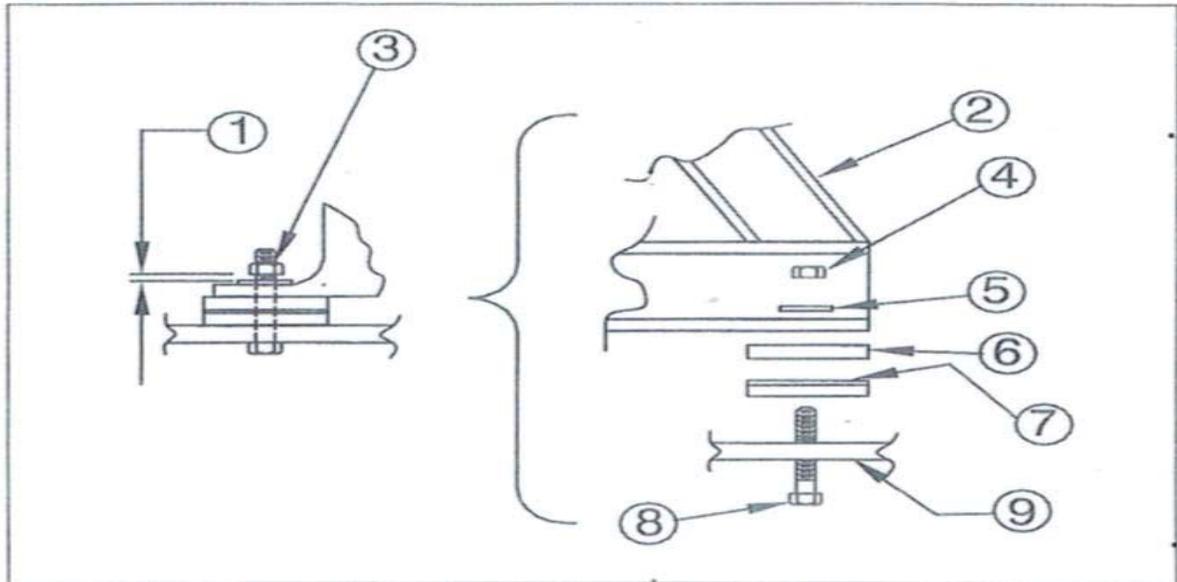


Gráfico N° 7

1 - Separación de 1/16" (1.6 mm)	4 - Perno de anclaje	7 - Placa deslizante (cara de teflón)
2 - Superestructura	5 - Arandela	8 - Perno de anclaje
3 - Roscas en perno de boca que impiden soltar la tuerca.	6 - Placa flotante	9 - Soporte de superestructura

Fig. N° 59: Apoyo libre de la estructura del puente

En resumen, se cumple con el objetivo de eliminar causas que inducen a tensiones en direcciones para lo cual el rodamiento no fue diseñado o mayores a las cargas nominales de trabajo.

6. ARMADO DEL ESPESADOR

6.1 Secuencia de armado del espesador

- Finalizado los trabajos de correcciones en la columna central, se da por iniciado la secuencia de armado del espesador, siendo el montaje del rodamiento el primer ítem del armado del espesador.
- Como segundo ítem relevante es el montaje de la jaula central y continua con el montaje de las rastras, siguiendo y realizando todas las correcciones y medidas tomadas.
- Posterior a esto el tercer ítem relevante es el montaje de la sección del puente que había sido retirado, pero igual que en puntos anteriores, realizando todas las correcciones y medidas tomadas, en especial alcanzando las medidas del Camber y mejoras en puntos de apoyo deslizantes.

Esta secuencia de montajes y todas las correcciones y medidas tomadas, **mencionadas en capítulo 5.1 y 5.2**, son con la finalidad de lograr un armado perfecto al mecanismo de suportación, no agregando fuerzas o tensiones inadecuadas, pésimas condiciones de operación u otro que afecte el normal funcionamiento del espesador.

Se continua con montaje, se debe conectar la estructura proyectada de puente que soporta feedwell, permitiendo liberar las cuatro alzaprimas SP 2 de feedwell, al igual se debe liberar alzaprima SP 1 del puente, luego de esto se realiza un último control topográfico general.

En este momento hace retiro de grúa Ac 350 Demag. 06. Dic. 2008. Camiones, Compactadores y otros equipos menores.

Como se menciona en punto 4.2.3 se decide cambiar Eductores, boquillas, cajones y ductos de alimentación por su excesivo desgaste, comenzando con el armado de andamios para su retiro: Desmontaje de Eductores

Desmontaje de Cajones y ductos.

Ahora que esta todo despejado se retira alzaprima de puente y se continúa con el retiro de las cuatro alzaprimas de feedwell.

Cerrando desde el centro se realiza montaje de Scrapper

- **Trabajos en sistema de alimentación**, cerrando lo indicado en punto 4.2.3 se montan nuevos sectores de feedwell N° 3, tubos de mezcla N° 2, cajón de presión N° 4 y boquillas N° 1

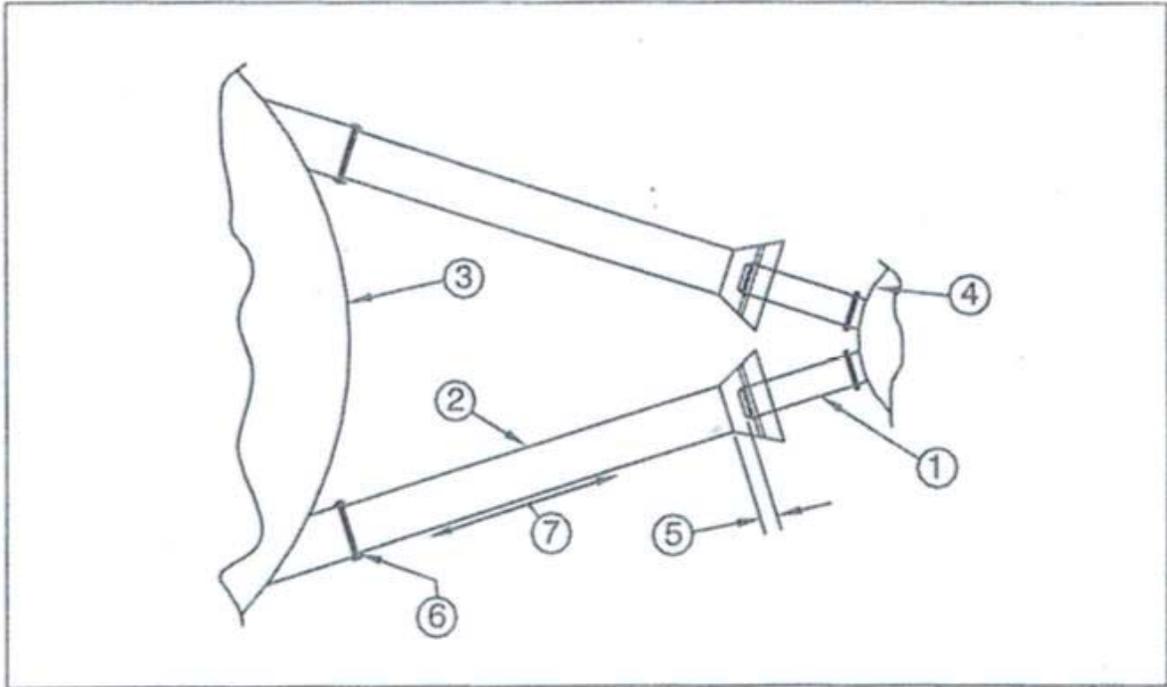


Gráfico N° 13

1 – Boquilla de inspección del sistema E-Duc	4 – Caja de propulsión (referencia)	7 – Tubo de mezcla de cambio, según requerimientos para obtener 1' - 4 ½" de distancia entre el extremo de la boquilla del E-Duc y la garganta del tubo de mezcla.
2 – Tubo de mezcla	Distancia de 5 - 1' - 4 ½" (419 mm)	
3 – Depósito de alimentación	6 – Brida suelta de soldadura hacia el tubo de mezcla, según especificaciones.	

Fig. N° 60: Trabajos en sistema de alimentación.

Dentro del montaje de todas las piezas indicadas en la Fig. N° 44 por tener un desgaste excesivo, también es la corrección del ajuste del tubo de mezcla y la boquilla, para tener la distancia de 1' - 4 ½" (419 mm).

En reunión semanal con gerencia se informa avance positivo de acuerdo a programa, recibiendo la instrucción de apurar termino de los trabajos, para no tener personal adicional en periodo de fin de año. Por lo que se mantiene toda la dotación.

- **Trabajos en túnel**, ya que se encuentran montados los tubos espigot se procede al sellado de estos por arriba en el cono central. Luego por interior túnel se cambian las cuatros válvulas de seguridad, las válvulas de 20" superiores, luego se instala separador e insertan mejoras en líneas de agua lavado y aire a presión. Para finalizar se cambian las cuatro válvulas de control de descarga.
- Por parte de personal de instrumentación de MEL se realiza mantención y habilitación de panel de control neumático de válvulas.
- **Trabajos en el carro de tracción**, este es uno de los trabajos que se adelantaron en la programación, siendo apoyado por personal de MEL, para su supervisión en el cambio de motores y reductores, luego en el cambio de ruedas en especial por maniobras y para su alineamiento.

6.2 Up Grade (mejoras)

Up Grade (mejoras), en un trabajo de esta envergadura es la oportunidad:

- Se estima que uno de los motivos que provocó la falla del rodamiento es la pésima lubricación, por lo que se observa la dificultad para drenar el condensado, tomar muestra y/o cambiar el aceite. Se alarga drenaje 2,2 m y se introduce a la columna, para luego conectar una válvula y así poder realizar las tareas de lubricación desde el interior, rápidamente, seguro y cuando sea necesario.



Fig. N° 61: Entrada de drenaje de aceite a interior columna. Se instalará una válvula de bola como se indica y un codo en extremo.

- Panel de control Sistema Motriz, este Up-grade es básicamente renovación de tecnología:
 - 1 Sensores de las nuevas celdas de carga.
 - 2 Sensores de agua clara.
 - 3 RTD de motores.
 - 4 Conexión del sistema eléctrico auxiliar.
 - 5 Revisión de sistema de Telemetría.
- Cambio de líneas de floculante:
 - 1 Se decide cambiar válvulas de aplicación de floculante, por estar agripadas, pero ahora se instala una segunda de cierre rápido, además entre las válvulas se instala una entrada de agua, para limpiar o destapar la línea. Las cañerías de acero se reemplazaron por mangueras corrugadas, fácil de instalar, limpiar o reponer.



Fig. N° 62: Válvulas de adición de floculante.

7. PRUEBAS FUNCIONALES DEL ESPESADOR

7.1 Pruebas Funcionales del espesador

Una vez terminado el armado del espesador se comienza con la puesta en marcha del espesador de relaves N° 8.

- Verificación de lubricación:

Se verifica que depósito de rodamiento central este lleno con aceite, es decir con sus 98,4 lts.

Se verifica que unidad motriz este con todos sus lubricantes, como reductores, descansos de ruedas y rodamientos de motores.

- Verificación de sentido de giro

Sistema motriz, es decir rotación de las rastras, en vacío, es decir, con los motores desacoplados se verifica sentido de rotación de los motores.

En este caso no es necesario verificar en los reductores, porque no cuentan con dispositivo anti retorno, (back to).

El sentido de giro también se debe verificar en la postura de la punta de la cuchilla de la rastra, estas deben instalarse enfrentando el sentido de rotación.

- Verificar altura de las cuchillas de todas las rastras, estas deben estar lo más cerca de 6" de altura.
- Una vez verificado que todo está en regla y la limpieza es total, se da comienzo al giro, se deja girar un 4 ó 5 revoluciones y se revisa que no existan ruidos en la columna central o del rodamiento. Al mismo tiempo los eléctricos van verificando el desplazamiento de los cuchillos deslizantes toma corriente, aquí lo importante es la continuidad, que no existan saltos y chispas, porque eso significa micro corte y calentamiento. También se va tomando mediciones de amperajes de los motores, con espesador sin agua.

Como primera prueba del espesador es el planeo de las rastras.

- Planeo: Después de los giros iniciales se planea, que es la medición de la altura de las cuchillas de las rastras con respecto del piso, 6".

En el muro del espesador se hacen marcas cada 45°, y en cada marca se lee la altura, es importante que todas las rastras en una marca tengan un valor lo más cercano $\pm \frac{1}{2}$ ". También es importante que a 180° de cada lectura este nuevo valor también sea cercano, porque esto demuestra que el piso del espesador esta en toda dirección paralelo a la nivelación de las rastras. De ser más de 2" de diferencia en puntos opuestos se debe corregir en el apoyo de la jaula sobre el rodamiento.

Después de aprobado el planeo se comienza a llenar con agua, una vez lleno se realizan giros y miden consumos en los motores, para que una vez lleno de agua, comience con el llenado de carga paulatinamente, para no producir cerros que podrían atascar y detener el espesador.

Si el espesador tiene un comportamiento normal con el aumento de carga pasa a cargo de operaciones y su operación en función del nivel de agua clara.

7.2 Protocolo final

Mientras más completo es el informe (dosier), mejor en todo sentido. Se pueden justificar las decisiones, re hacer la historia en caso de reparaciones futuras y respaldo.

Todas las actividades son en base a un protocolo:

- Verticalidad de la columna central inferior.
- Nivelación de flange superior de columna central superior
- Nivelación de rodamiento
- Verticalidad de Jaula central
- Altura de cuchillas de cada rastra
- Torque de pernos de cada empalme
- Prueba de tintas penetrantes en las soldaduras
- Dimensionales con levantamientos topográficos
- Actividades eléctricas

8. COSTO DE LA REPARACIÓN DEL ESPESADOR

8.1 Costo de la reparación del espesador

Esta es una valorización de los costos aproximados de la reparación del espesador de relaves N° 8 de la Concentradora Laguna Seca de Minera Escondida Ltda.

Este trabajo se realizó entre Octubre y Diciembre de 2008, el valor del dólar en esa época era de \$ 520,0.

En el primer recuadro abajo se muestra el detalle de los insumos ya sean comprados o mandados a fabricar

Compras

Descripción	Proveedor	N° OC.	Monto CL(\$)	Monto (US\$)	
Estructuras Alzaprimas	Gordillo	6200337597	98.617.200	189.648	
Ángulos AR1,2,3,4,5,6	Gordillo	6200337597			
Consolas terraplén grúa	Gordillo	6200339422	4.091.000	7.867	
Monturas MO-01/02/03			2.000.000	3.846	*
Pernos Hilti (5,5" x 200 c/u)		6200337937	579.000	1.113	
Cama Durmientes Dimensionadas	MN Ingeniería	6200339429	12.988.196	24.977	
Estrobos y eslingas		6200340594	2.600.000	5.000	*
Pernos y otros			7.800.000	15.000	
Bolas Rodamiento 3"			1.560.000	3.000	*
			130.235.396	250.451	

Contratos

Descripción	Colaborador	N°	Monto (US\$)		
Asesoría reparación	FLSmith CS.		19.240.000	37.000	
Ingeniería de soporte desarme	PROMECC		7.648.680	14.709	
MO trabajos previos semana 7/11	FLSmith S.		6.729.840	12.942	
MO trabajos del 14/11 suspendidos	FLSmith S.		10.199.800	19.615	
MO retoma semana del 28/11	FLSmith S.		6.599.840	12.692	
MO retoma del 4/12 (20x10)	FLSmith S.		92.000.000	176.923	
MO adicional anticipo entregas	FLSmith S.		28.000.000	53.846	
MO desarme eléctrico	MB Ingeniería		14.360.000	27.615	
MO montaje eléctrico	MB Ingeniería		26.600.000	51.154	
Rellenos ingreso equipos (retiro de relleno)	AMECO		25.600.000	49.230	*
Grúas móviles	AMECO		63.200.000	121.538	*
Flete estructuras	LIMSA		12.000.000	23.077	*
Topografía espesador			12.820.000	24.654	
Recomendación Reparación	Scorin		28.200.000	54.230	
Reparación de Rieles					
Reparación Rodamiento			38.704.000	83000	

* : valores estimados

Total Reparación US\$ 1.012.676

En el recuadro arriba se muestran principalmente los contratos por mano de Obra, ya sea de asesorías, ingenierías, mano de obra directa.

También están incluidos los costos de operación de las grúas, camiones, cargadores y otros proporcionados por Ameco, Si bien este costo puede ser no tan alto, es porque los equipos son de Escondida, pero administrado, operado y mantenido por Ameco.

En estos dos cuadros se muestran principalmente insumos y costos directos de contratos, lo que nos da un costo base de la reparación de:

Total Reparación US\$	1.012.676
------------------------------	------------------

Adicional a estos gasto se deben sumar otros como Hotelería (campamento y alimentación) y movilización interna. Que son asumidos por los gastos generales de mantención planta en el año fiscal. OPEX

9. CONCLUSIONES

9.1 Conclusiones

Del estudio realizado, se tiene que:

- La falla del espesador se presentó en el rodamiento central, tal como se muestra en el capítulo 4.2.1
- Se identificaron deficiencias en el montaje de la estructura del mecanismo del espesador, faltando a las normas de montajes estructurales, e indicaciones del fabricante (Vendor y planos). Esta condición produce sobre esfuerzos y un comportamiento fuera de diseño.
- Aunque se llegue a utilizar aceites lubricantes con mejores propiedades mecánicas, pero si el sellado del depósito es deficiente y no se realice un control semanal del nivel, calidad del aceite y análisis en busca de residuos barrosos o metálicos, retiro de agua de condensación, los problemas se presentarán inevitablemente.
- Con el estudio de las características de los daños causados en las bolas y pistas de rodadura del rodamiento, se identificaron deficiencias en el diseño de los sellos, ya que se encontró descamación, típico de contacto de ácido sulfhídrico en elementos con una alta carga (Tensiones), producto del ingreso de concentrado y agua de condensación al depósito de lubricación.
- Los sobre esfuerzo observados en la operación del espesador producto de trabajar sin control automático, sólo con la experiencia y disponibilidad del operador. Fueron aliviados gracias a la utilización de un nuevo tablero de control con tecnología vigente, transformándose en un punto clave para el operador sala control al tener por telemetría datos de torque y nivel de agua clara.
- Con el nuevo montaje, que tomó en cuenta todas las recomendaciones entregadas por el manual de diseño del espesador, se resolvió la falla.
- El manual de diseño del espesador, no entrega una confiabilidad y precisión en cuanto a la duración de estos equipos por separado, pero si asegurando una vida

mínima de 2 años, siendo riguroso en la operación, cumplimiento de la
mantención se llega más allá de este tiempo.

10. BIBLIOGRAFIA

10.1 Bibliografía

- **EIMCO**

Manual instalación, Operación y Mantenimiento
EIMCO 410`DIA. Tracción Drive Thickener
Serial N° BAP 0099 – 100 A
Para Escondida Fase IV Proyecto Expansión

- **FAG**

Averías de los Rodamientos
Reconocimiento de daños e inspección de rodamientos
N.º publ. WL 82 102/2 SB
FAG Sales Europe-Iberia Schaeffler Group Industrial

- **SKF**

Revista Técnica Evolution
Agosto 2005
Trabajo bajo cargas en ambientes contaminados

- **Indura S.A.**

Manual de Sistemas y Materiales de Soldadura. Pag.34-43

- **ANSI** American National Standards Institute

AWS D1.1/D1.1M: 2015. Structural Welding Code Steel, 23rd Edition. Part. E-
Fabricación pag.269-270– Part F-Inspección pag.270-271.

- **Manual de Formulas Técnicas**

Por Kurt Gieck
17ª Edición y 31ª Edición

10.2 Nomenclatura

- Punta de cuchilla: Placas des gastables intercambiables instaladas en la parte inferior del brazo de rastra y cuchilla del brazo.
- Jaula : Unidad estructural montada en anillo de montaje de la unidad de columna central superior donde van instalados los brazos de rastras.
- Anillo de montaje : Anillo adaptador instalado en el rodamiento de la unidad de la columna central superior a la cual se conecta a Jaula.
- Des aireación : Eliminación de aire o burbujas de gas acumuladas en la pulpa
- Sistema de alimen: Sistema de alimentación utilizado para diluir la pulpa alimentada para obtener una floculación óptima.
E-Duc
- Floculante : Producto químico que se agrega a la pulpa para aglomerar las partículas sólidas y aumentar la velocidad de sedimentación de los sólidos.
- Rastra Larga : Unidad estructural que conecta la jaula rotatoria con el carro deslizante del accionamiento de tracción.
- Brazo de Rastra : Unidad estructural con cuchillas de rastra angulares que arrastran los sólidos sedimentados desde el fondo hacia el centro.
- Tubo de mezcla : Parte del sist. de alimentación con auto dilución del E Duc, es una tubería de gran diámetro donde se agrega agua de dilución y floculante.
- Nivel agua clara : Distancia entre la superficie líquida del espesador hasta el punto donde el líquido se oscurece porque existen partículas muy finas en suspensión.
- Descarga : Pulpa de colas espesadas que se elimina desde el fondo del estanque del espesador.

- Cama descarga : Cama de lodo espesado existente en el fondo del estanque del espesador.
- Pulpa : Mezcla de mineral molido o pulverizado con agua o una solución acuosa
- ASTM : American Society for Testing Materials.
- AWS : American Welding Society.
- ISO : International Organization for Standardization.
- λ : Relación de esbeltez.
- \emptyset : Diámetro.
- M : Momento flector kg x cm.
- q : Carga distribuida kg/cm²
- δ_c : Esfuerzo permisible de compresión.
- δ_p : Esfuerzo efectivo por pandeo.
- F_k : Carga de pandeo de Euler.
- C_L : Línea centro.
- F_s : Factor de seguridad.
- I_x : Momento de inercia en el eje X.
- I_y : Momento de inercia en el eje Y.
- Kg : Kilógramos.
- Kg/m : Peso por metro.
- m : Metros.
- m² : Metros cuadrados.
- mm : Milímetros.
- mm² : Milímetros cuadrados.
- mm³ : Milímetros al cubo (Unidad de medida del modulo resistente).
- mm⁴ : Milímetros a la cuarta (unidad de medida del momento de inercia).
- " in : Pulgadas

11 ANEXOS

11.1 Anexo 1: Propiedades de acero ASTM A-36.

Acero ASTM A36.

Es un acero estructural al carbono, utilizado en construcción de estructuras metálicas, puentes, torres de energía, torres para comunicación y edificaciones remachadas, atornilladas o soldadas, herrajes eléctricos y señalización.

Composición química de la colada.

Carbono (C)	0,26% máx
Manganeso (Mn)	No hay requisito
Fósforo (P)	0,04% máx
Azufre (S)	0,05% máx
Silicio (Si)	0,40% máx
* Cobre (Cu)	0,20% mínimo

*Cuando se especifique

Propiedades

Como la mayoría de los aceros, el A36, tiene una densidad de 7850 kg/m³ (0.28 lb/in³). El acero A36 en barras, planchas y perfiles estructurales con espesores menores de 8 pulg (203,2 mm) tiene un límite de fluencia mínimo de 250 MPA (36 ksi), y un límite de rotura mínimo de 410 MPA (58 ksi). Las planchas con espesores mayores de 8 plg (203,2 mm) tienen un límite de fluencia mínimo de 220 MPA (32 ksi), y el mismo límite de rotura.

Propiedades Mecánicas

Límite de fluencia mínimo		Resistencia a la Tracción			
Mpa	Psi	Psi		Mpa	
		Min	Máx	Min	Máx
250	36000	58000	80000	400	550

Formas

El acero A36 se produce en una amplia variedad de formas, que incluyen:

Planchas, Perfiles estructurales, Tubos, Láminas.

11.2 Anexo 2: Temperatura interpasada según norma AWS D1.1.

Table 3.3
Prequalified Minimum Preheat and Interpass Temperature (see 3.5)

C a t e g o r y	Steel Specification	Welding Process	Thickness of Thickest Part at Point of Welding		Minimum Preheat and Interpass Temperature		
			in	mm	°F	°C	
A	ASTM A36	SMAW with other than low- hydrogen electrodes	1/8 to 3/4 incl.	3 to 20 incl.	32 ^a	0 ^a	
	ASTM A53						Grade B
	ASTM A106						Grade B
	ASTM A131						Grades A, B, CS, D, DS, E
	ASTM A139						Grade B
	ASTM A381						Grade Y35
	ASTM A500						Grade A Grade B Grade C
	ASTM A501						Grade A
	ASTM A516						
	ASTM A524						Grades I & II
	ASTM A573						Grade 65
	ASTM A709						Grade 36
	ASTM A1008 SS						Grade 30 Grade 33 Type 1 Grade 40 Type 1
	ASTM A1011 SS						Grade 30 Grade 33 Grade 36 Type 1 Grade 40 Grade 45 Grade 50 Grade 55
	ASTM A1018 SS						Grade 30 Grade 33 Grade 36 Grade 40
	API 5L						Grade B Grade X42
	ABS						Grades A, B, D, CS, DS Grade E
B	ASTM A36	SMAW with low- hydrogen electrodes, SAW, GMAW, FCAW	1/8 to 3/4 incl.	3 to 20 incl.	32 ^a	0 ^a	
	ASTM A53						Grade B
	ASTM A106						Grade B
	ASTM A131						Grades A, B, CS, D, DS, E AH 32 & 36 DH 32 & 36 EH 32 & 36
	ASTM A139						Grade B
	ASTM A381						Grade Y35
	ASTM A441						
	ASTM A500						Grade A Grade B Grade C
	ASTM A501						Grades A and B
	ASTM A516						Grades 55 & 60 65 & 70
	ASTM A524						Grades I & II
ASTM A529	Grades 50 & 55						

(Continued)

11.3 Anexo 3: Electrodo recomendados según norma AWS D1.1.

APENDICE XIV

METAL BASE PRECALIFICADO — COMBINACIONES DE METAL DE APORTE PARA ESFUERZOS COMPARABLES

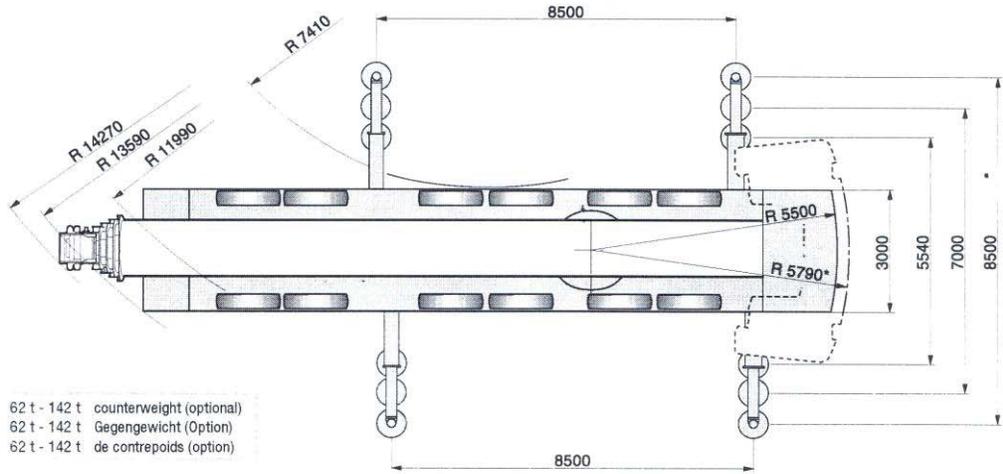
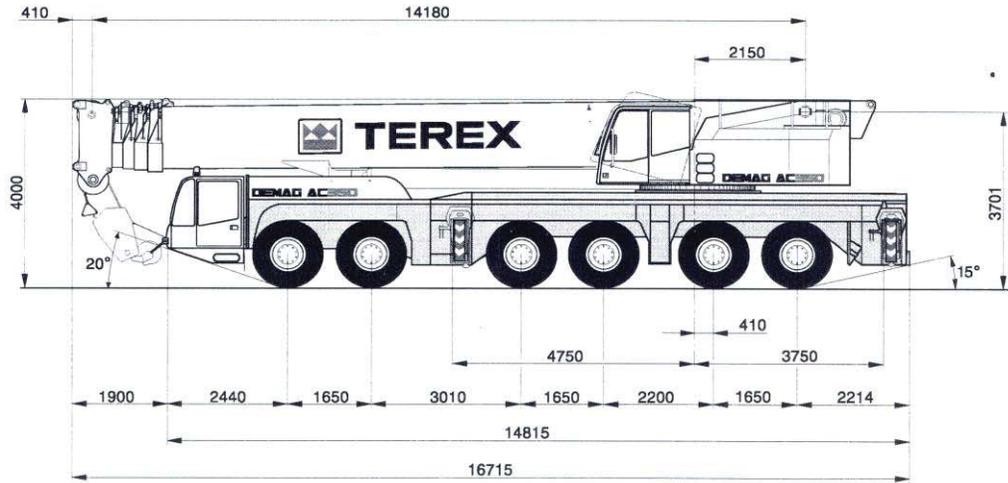
G R U P O	Requerimientos de Especificación de Acero					Requerimientos de Metales de Aporte		
	Especificación de Acero ^{a,b}	Punto mínimo de Resistencia cedencia		Rango de Tensión		Proceso	Especificación de Electrodo AWS ^c	Clasificación de Electrodo ⁹
		ksi	MPa	ksi	MPa			
ASMT A 36 ^d		36	250	58—80	400—550	SMAW	A5.1	E60XX, E70XX
ASMT A 53	A5.5	35	240	60 min.	415 min.		A5.5 ^f	E70XX-X
ASTM A 106	Grado B	35	240	60 min.	415 min.	SAW	A5.17	F6XX-EXXX, F6XX-ECXXX, F7XX-EXXX, F7XX-ECXXX
ASTM A 131	Grados A, B, CS, D, DS, E	34	235	58—71	400—490		A5.23 ^f	F7XX-EXXX-XX, F7XX-ECXXX-XX
ASTM A 139	Grado B	35	241	60 min.	414 min.			
ASTM A 381	Grado Y35	35	240	60 min.	415 min.			
ASTM A 500	Grado A	33	228	45 min.	310 min.			
	Grado B	42	290	58 min.	400 min.			
ASTM A 501		36	250	58 min.	400 min.			
ASTM A 516	Grado 55	30	205	55—75	380—515	GMAW	A5.18	ER70S-X, E70C-XC, E70C-XM (Electrodos con sufijos -GS son excluidos)
	Grado 60	32	220	60—80	415—550			
ASTM A 524	Grado I	35	240	60—85	415—586			
	Grado II	30	205	55—80	380—550			
I ASTM A 529		42	290	60—85	415—585			
ASTM A 570	Grado 30	30	205	49 min.	340 min.		A5.28 ^f	ER70S-XXX, E70C-XXX F7XX-ECXXX-XX
	Grado B	42	290	58 min.	400 min.			
ASTM A 501		36	250	58 min.	400 min.			
ASTM A 516	Grado 55	30	205	55—75	380—515	GMAW	A5.18	ER70S-X, E70C-XC, E70C-XM (Electrodos con sufijos -GS son excluidos)
	Grado 60	32	220	60—80	415—550			
ASTM A 524	Grado I	35	240	60—85	415—586			
	Grado II	30	205	55—80	380—550			
I ASTM A 529		42	290	60—85	415—585			
ASTM A 570	Grado 30	30	205	49 min.	340 min.		A5.28 ^f	ER70S-XXX, E70C-XXX
	Grado 33	33	230	52 min.	360 min.			
	Grado 36	36	250	53 min.	365 min.			
	Grado 40	40	275	55 min.	380 min.			
	Grado 45	45	310	60 min.	415 min.	FCAW	A5.20	E6XT-X, E6XT-XM, E7XT-X, E7XT-XM (Electrodos con el -2, -2M, -3, -10, -13, -14X, y sufijos -GS estan excluidos)
ASTM A 573	Grado 65	35	240	65—77	450—530			
	Grado 58	32	220	58—71	400—490			
ASTM A 709	Grado 36 ^d	36	250	58—80	400—550			
API 5L X	Grado B	35	240	60	415		A5.29 ^f	E6XTX-X, E6XTX-XM, E7XTX-X, E7XTX-XM
	Grado X42	42	290	60	415			
ABS	Grados A, B, D, CS, DS			58—71	400—490			
	Grado E ^g			58—71	400—490			

Nota: Acero ASTM A 570 Grado 50 ha sido eliminado del grupo I y añadido al grupo II.

(Continúa)

11.4 Anexo 4: Dimensiones de Grúa Ac 350 Demag

DIMENSIONS · ABMESSUNGEN · ENCOMBREMENT



62 t - 142 t counterweight (optional)
 62 t - 142 t Gegengewicht (Option)
 62 t - 142 t de contrepoids (option)

* with additional counterweight
 * mit Zusatzgegengewicht
 * avec contrepoids supplémentaire

11.5 Anexo 5: Rango de trabajo de Grúa Ac 350 Demag

HA/HASSL WORKING RANGES · ARBEITSBEREICHE · PORTÉES

