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

"HERRAMIENTA COMPUTACIONAL BASADA EN UN MODELO PREDICTIVO PARA LA DETERMINACIÓN DEL DESGASTE EN REVESTIMIENTOS DE UN CHANCADOR PRIMARIO TIPO GIRATORIO"

Memoria para optar al Título de:

INGENIERO CIVIL MECÁNICO

ALUMNO: SEBASTIÁN VILLARROEL GODOY.

PROFESOR GUÍA: IGNACIO DE ARTEAGA JORDÁ.

2016

Agradecimientos

Especialmente agradezco a mi familia por ser un apoyo incondicional durante todos estos años de formación profesional.

A mis padres Cecilia y Humberto, por creer siempre en mí y apoyarme en momentos díficiles.

A mis hermanos, Ignacio y Alejandro por entregarme su apoyo, motivación y cariño.

A mis compañeros y amigos, quienes me acompañaron durante estos 6 años de estudio.

A Valentina, por su cariño, apoyo y paciencia durante estos últimos meses.

A los profesores que guiaron mi formación académica, especialmente al profesor Ignacio de Arteaga, por su tiempo, dedicación y consejos durante el desarrollo de este trabajo.

A mis tutores dentro de la empresa, Sr. Raúl Caro y Sr. Efraín Moya, por la oportunidad de realizar este trabajo en la empresa FLSmidth, el tiempo y su buena disposición para la elaboración de esta memoria.

RESUMEN

La presente memoria de título se desarrolla en el marco de la búsqueda del aumento de la productividad enla Industria Minera cuprífera, mediante el mantenimiento preventivo y predictivo de un Chancador primario de tipo giratorio, equipo utilizado en el proceso de conminución del mineral de cobre.

Para la obtención de cobre refinado a partir del mineral de cobre contenido en las rocas de los yacimientos mineros cupríferos,se requieren los siguientes procesos: extracción, transporte, conminución, flotación, fundición y refinación del mineral.

Tras la extracción y el transporte del mineral, desde el yacimiento de cobre hasta la planta de procesos, comienza la conminución, cuyo objetivo es lograr una reducción del tamaño del mineral para el posterior proceso de flotación. Esta reducción de tamaño se lleva a cabo en dos etapas: trituración y molienda. La trituración se realiza a través de un “Chancador Primario”, el cual reduce en primera instancia el tamaño del mineral, enviándolo a un depósito de compensación previo al proceso de molienda. En la etapa de molienda, las partículas de mineral disminuyen nuevamente su tamaño mediante equipos llamados “Molinos”, obteniéndose fracciones pequeñas de material, con un tamaño necesario para el proceso de flotación.

Los equipos utilizados en el proceso de conminución (Chancador Primario y Molino), estánconstruidos en su interior con revestimientos antiabrasivos, éstos evitan el desgaste y deterioro de los equipos. Dichos revestimientos son reemplazados mediante mantenciones programadas, requiriendo la detención total del equipo. Esta detención tiene como consecuencia el aumento en los costos de operación.

Una forma de disminuir el costo de operación, y mejorar así la productividad es encontrar el instante de tiempo óptimo para el cambio de los revestimientos. En la presente memoria se da solución a este problema, mediante un modelo predictivo queinforma y evalúa el desgaste en revestimientos de un Chancador Primario de tipo giratorio instalado en minera “Los Pelambres”, el cual es suministrado y mantenido por FLSmidth, empresa que aporta los antecedentes técnicos para el desarrollo de la presente tesis.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN 12

1.1 OBJETIVOS 14

CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO 16

2.1 CHANCADOR PRIMARIO TIPO GIRATORIO 16

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO 23

3.1 FUNDAMENTO TEÓRICO CONMINUCIÓN 23

3.2 TÉCNICAS DE MEDICIÓN PARA MANTENIMIENTO DE REVESTIMIENTOS 25

3.2.1 TÉCNICAS ACTUALES 25
3.2.2 TÉCNICA DE MEDICIÓN EN IMPLEMENTACIÓN 26

3.3 MODELO MATEMÁTICO PREDICTIVO 29

3.3.1 MODELO MATEMÁTICO PREDICTIVO PARA LOS REVESTIMIENTOS 31
3.3.2 ANÁLISIS DEL MODELO PREDICTIVO 34

CAPÍTULO IV

REVESTIMIENTOS 35

4.1 REVESTIMIENTOS DEL CHANCADOR PRIMARIO TIPO GIRATORIO 35

4.1.1 MANTO 37
4.1.2 CÓNCAVAS 38

4.2 REVESTIMIENTOS DEL CHANCADOR PRIMARIO EN ESTUDIO 42

CAPÍTULO V

FUNDAMENTOS DEL MODELO PREDICTIVO 43

5.1 DESCRIPCIÓN DE CAMPAÑAS 44

5.2 PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DEL HISTORIAL DE DESGASTE 47

5.2.1 PROCEDIMIENTO PARA MANTOS 47
5.2.2 PROCEDIMIENTO PARA CÓNCAVAS 50

5.3 ANÁLISIS DE LA FUNCIÓN MATEMÁTICA PARA CÓNCAVAS 53

5.4 ANÁLISIS DE LA FUNCIÓN MATEMÁTICA PARA MANTOS 63

CAPÍTULO VI

HERRAMIENTA COMPUTACIONAL 71

6.1 MATLAB / GUI 72

6.2 DESCRIPCIÓN ARCHIVOS EXCEL 73

6.2.1 ARCHIVO EXCEL MANTO: 73
6.2.2 ARCHIVO EXCEL CÓNCAVAS 77

6.3 ORGANIZACIÓN DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL.....81

6.3.1 ARCHIVO 82
6.3.2 ANÁLISIS MEDICIÓN 83
6.3.3 ANÁLISIS CÓNCAVAS 86
6.3.4 ANÁLISIS MANTO 90
6.3.5 RESUMEN CONTROL 94

CAPÍTULO VII

EVALUACIÓN ECONÓMICA DE RESULTADOS.....96

7.1 PRONÓSTICOS DE CAMBIO DE CÓNCAVAS.....96

7.2 ANÁLISIS ECONÓMICO 99

CAPÍTULO VIII

CONCLUSIONES 105

NOMENCLATURA 107

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS 108

ANEXOS.....109

ANEXO 1 110

RESULTADO DE MEDICIONES CÓNCAVAS POR CAMPAÑA 110
ANEXO 2 116
RESULTADO DE MEDICIONES MANTOS POR CAMPAÑA 116
ANEXO 3 122
ARCHIVO EXCEL CÓNCAVAS 122
ANEXO 4 124
ARCHIVO EXCEL MANTO 124
ANEXO 5 126
TERRESTRIAL LASER SCANNER 126

ÍNDICE DE IMÁGENES

Fig. 1: Disposición típica Chancador Giratorio. 17
Fig. 2: Chancador Primario tipo Giratorio. 18
Fig. 3: Componentes Chancador Primario tipo Giratorio....19
Fig. 4: Medidas Principales del Chancador. 20
Fig. 5: OSS y CSS del Chancador. 21
Fig. 6: Nube de puntos Chancador Primario. 28
Fig. 7: Tendencia general de desgaste, Cóncavas. 30
Fig. 8: Tipos de Revestimientos Chancador Giratorio. 36
Fig. 9: Manto, revestimiento del Eje Principal. 37
Fig. 10: Perfil de Altura Manto. 38
Fig. 11: Perfil de Altura Cóncavas. 39
Fig. 12: Descripción angular, vista superior del Chancador. 40
Fig. 13: Perfiles de desgaste en Manto y Cóncavas. 41
Fig. 14: Descripción modelo CAD, Mantos. 47
Fig. 15: Procedimiento Análisis Manto Superior. 48
Fig. 16: Procedimiento Análisis Manto Intermedio. 49
Fig. 17: Procedimiento Análisis Manto Inferior. 49
Fig. 18: Descripción modelo CAD, Cóncavas 50
Fig. 19: Procedimiento Análisis Cóncavas (Liner 3 y 4). 51
Fig. 20: Procedimiento Análisis Cóncavas (Liner 1 y 2). 52
Fig. 21: Gráfico Campaña N°6, Liner 4. 53
Fig. 22: Gráfico Campaña N°7, Liner 4. 54
Fig. 23: Gráfico Campaña N°8, Liner 4. 55
Fig. 24: Gráfico Campaña N°6, Liner 3. 55
Fig. 25: Gráfico Campaña N°7, Liner 3. 56
Fig. 26: Gráfico Campaña N°8, Liner 3. 57
Fig. 27: Gráfico Campaña N°6, Liner 2. 58
Fig. 28: Gráfico Campaña N°7, Liner 2. 58
Fig. 29: Gráfico Campaña N°8, Liner 2. 59
Fig. 30: Gráfico Campaña N°6, Liner 1. 60

Fig. 31: Gráfico Campaña N°7, Liner 1. 61
Fig. 32: Gráfico Campaña N°8, Liner 1 61
Fig. 33: Gráfico Campaña N°6, Manto Superior 113 in. 64
Fig. 34: Gráfico Campaña N°6, Manto Intermedio 113 in. 64
Fig. 35: Gráfico Campaña N°6, Manto Inferior 113 in. 65
Fig. 36: Gráfico Campaña N°6, Manto Superior 115 in. 65
Fig. 37: Gráfico Campaña N°6, Manto Intermedio 115 in. 66
Fig. 38: Gráfico Campaña N°6, Manto Inferior 115 in. 66
Fig. 39: Gráfico Campaña N°7, Manto Superior 110in. 67
Fig. 40: Gráfico Campaña N°7, Manto Intermedio 110in. 67
Fig. 41: Gráfico Campaña N°7, Manto Inferior 110 in. 68
Fig. 42: Gráfico Campaña N°7, Manto Superior 115 in. 68
Fig. 43: Gráfico Campaña N°7, Manto Intermedio 115in. 69
Fig. 44: Gráfico Campaña N°7, Manto Inferior 115 in. 69
Fig. 45: Flujo de tratamiento de la información. 71
Fig. 46: Perfil de desgaste promedio Manto. 74
Fig. 47: Matriz valores numéricos Manto. 75
Fig. 48: Perfil de desgaste promedio Cóncavas. 78
Fig. 49: Matriz de valores numéricos Cóncavas. 79
Fig. 50: Pantalla principal SCD. 81
Fig. 51: Diagrama general SCD. 82
Fig. 52: Menú Archivo. 82
Fig. 53: Menú Análisis Medición. 83
Fig. 54: Pantalla Análisis Medición Cóncavas. 83
Fig. 55: Pantalla Análisis Medición Manto. 85
Fig. 56: Menú Análisis Cóncavas. 86
Fig. 57: Pantalla Perfil de desgaste promedio Cóncavas. 87
Fig. 58: Pantalla Pronóstico de cambio para Cóncavas. 88
Fig. 59: Menú Análisis Manto. 90
Fig. 60: Pantalla Perfil de desgaste promedio Manto. 91
Fig. 61: Pantalla Pronóstico de cambio Manto. 92

Fig. 62: Pantalla Resumen Control de Desgaste. 94
Fig. 63: Menú Resumen Control. 94
Fig. 64: Caso "Punto de Inflexión".....97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen Fechas de Medición y Tonelajes Procesados, Campaña N°6. 44
Tabla 2: Resumen Fechas de Medición y Tonelajes Procesados, Campaña N°7. 45
Tabla 3: Resumen Fechas de Medición y Tonelajes Procesados, Campaña N°8. 46
Tabla 4: Resultados Campaña N°6, Liner 4. 53
Tabla 5: Resultados Campaña N°7, Liner 4. 54
Tabla 6: Resultados Campaña N°8, Liner 4. 54
Tabla 7: Resultados Campaña N°6, Liner 3. 55
Tabla 8: Resultados Campaña N°7, Liner 3. 56
Tabla 9: Resultados Campaña N°8, Liner 3. 57
Tabla 10 :Resultados Campaña N°6, Liner 2. 57
Tabla 11: Resultados Campaña N°7, Liner 2. 58
Tabla 12: Resultados Campaña N°8, Liner 2. 59
Tabla 13: Resultados Campaña N°6, Liner 1. 60
Tabla 14: Resultados Campaña N°7, Liner 1. 60
Tabla 15: Resultados Campaña N°8, Liner 1. 61
Tabla 16: Cantidad de mediciones realizadas a Mantos. 63
Tabla 17: Resultados Campaña N°6, Manto Superior 113 in. 64
Tabla 18: Resultados Campaña N°6, Manto Intermedio 113 in. 64
Tabla 19: Resultados Campaña N°6, Manto Inferior 113 in. 65
Tabla 20: Resultados Campaña N°6, Manto Superior 115 in. 65
Tabla 21: Resultados Campaña N°6, Manto Intermedio 115 in. 66
Tabla 22: Resultados Campaña N°6, Manto Inferior 115 in. 66
Tabla 23: Resultados Campaña N°7, Manto Superior 110 in. 67
Tabla 24: Resultados Campaña N°7, Manto Intermedio 110 in. 67
Tabla 25: Resultados Campaña N°7, Manto Inferior 110 in. 68
Tabla 26: Resultados Campaña N°7, Manto Superior 115 in. 68
Tabla 27: Resultados Campaña N°7, Manto Intermedio 115 in. 69
Tabla 28: Resultados Campaña N°7, Manto Inferior 115 in. 69
Tabla 29: Resumen Proyecciones de Fecha de Cambio Cóncavas. 98
Tabla 30: Resumen Campañas. 98

Tabla 31: Ítems considerados en Flujo de Caja. 101
Tabla 32: Resumen duración anual de campañas 101
Tabla 33: Flujo de Caja de Gastos, sin control de desgaste. 103

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

Chile es líder en producción de cobre, alcanzando alrededor de un 31% de la producción mundial(ChileanCopperComission, 2016), siendo la Industria Minera el sector más activo en el desarrollo económico de este país. En el transcurso de los últimos cuatro años, se han presentado algunos problemas para el crecimiento de este sector, tales como la caída sostenida del precio de la libra decobre (Cochilco, 2016), la oposición de las comunidades a nuevos proyectos y principalmente al menor crecimiento económico del principal consumidor de cobre, China.

Para mantener el nivel de producción, se hace fundamental el constante aumento en la productividad de la Industria Minera, maximizando las utilidades con los menores costos posibles. Otro objetivo importante para el desarrollo de esta industria es el aumento de la disponibilidad de los equipos, es decir, que el equipo se encuentre dispuesto para operar el tiempo que se necesite y cuando se lo requiera.

Las principales etapas que componen el proceso productivo del mineral de cobre sulfurado, son las siguientes:

1. Extracción y transporte del mineral de cobre desde la mina hasta la planta de procesos.
2. Conminución (trituración y molienda), reducción del tamaño de la roca para su posterior tratamiento.
3. Flotación, proceso físico-químico cuyo objetivo es la separación de los minerales sulfurados de cobre, del resto de minerales que conforman la roca extraída en el yacimiento.
4. Fundición, tratamiento a altas temperaturas cuyo objetivo es separar el cobre de otros minerales.
5. Refinación, purificación de los metales para la obtención de cobre de alta pureza (99,99%).

Dentro del proceso productivo de la minería, específicamente en la segunda etapa (conminución), se encuentra un equipo fundamental para el proceso de producción de mineral cobre, cuyo propósito es ser la primera reducción del tamaño de la roca extraída desde el yacimiento.

El equipo encargado de cumplir este objetivo es el Chancador Primario, el cual opera hasta 24 horas al día y puede procesar más de6.000 [ton/hr] (Minera Los Pelambres, 2016). Dentro de una instalación minera, es un equipo de gran importancia, ya que sin este no se podría llevar a cabo la obtención del producto final, cátodos de cobre de alta pureza.

FLSmidth, es una compañía de origen danés, fundada en 1882, líder en el mercado de la ingeniería, equipos y servicios a las industrias del cemento y minerales a nivel mundial.

La empresa suministra desde equipos individuales, hasta la instalación de plantas completas. Proporciona soporte técnico a los clientes para aumentar la capacidad de producción, reducir costos de operación y disminuir el impacto ambiental. Además, procura repuestos para los equipos que se encuentran en operación

La compañía posee 4 divisiones: “Minerals”, “Cement”, “ProductCompanies” y “CustomerService”. Cada una de éstas tiene subdivisiones orientadas a solucionar problemas específicos.

La presente tesis se desarrolla para la división Servicio al Cliente (CustomerService), la cual tiene dentro de sus labores entregar soporte técnico, servicios de operación, mantenimiento y mejoras en diseño de piezas o partes a todos los equipos que suministra.

Dentro de la división CustomerService se encuentra el área de Conminución, la cual incluye Chancado y Molienda (Crushing and Grinding). Esta área se encarga de realizar el mantenimiento de Chancadores y Molinos dispuestos en diversas instalaciones mineras. Entre los Chancadores instalados y mantenidos por la

compañía, se encuentra el Chancador primario de tipo giratorio, objeto de estudio en la presente tesis.

Los Chancadores son construidos interiormente con revestimientos de acero resistentes al desgaste, siendo éstos un elemento fundamental en el funcionamiento del equipo, ya que la reducción del tamaño de mineral se lleva a cabo gracias al contacto directo entre la roca y el revestimiento del equipo.

Los revestimientos, son los elementos más exigidos en este equipo de conminución, y por lo tanto, para obtener un funcionamiento óptimo se requiere el reemplazo de éstos en forma periódica. Su vida útil está determinada por diversos factores que serán descritos en éste documento.

1.1 OBJETIVOS

Dada la importancia económica que tienen los tiempos de detención de los equipos de conminución dentro del proceso productivo del cobre, el objetivo principal de la presente tesis es:

- Seleccionar un modelo predictivo que permita determinar el desgaste en los revestimientos del Chancador Primario de tipo giratorio y su posterior aplicación en una herramienta computacional.

Para alcanzar lo anteriormente expuesto, se llevarán a cabo los siguientes objetivos específicos:

- Estudio y análisis técnico del funcionamiento de un ChancadorPrimario de tipo giratorio.
- Identificación de las partes y piezas principales de un Chancador Primario.
- Estudio del método utilizado para la obtención de información sobre puntos de desgaste en los revestimientos del Chancador Primario.
- Análisis de mediciones realizadas a través de Terrestrial Laser Scanner, con el objetivo de determinar espesores en los revestimientos y el posterior desgaste de estos.

- Recopilar y analizarinformación histórica que posee FLSmidth con respecto al desgaste de revestimientos en Chancador Primario.
- Estudio de modelos predictivos, selección del modelo más apropiado según las tendencias históricas y su comportamiento.
- Desarrollo de una herramienta computacional basada en el modelo predictivo seleccionado para diagnosticar, controlar, evaluar y efectuar un pronóstico de cambio de revestimientos, basado en la información generada por mediciones TerrestrialLaser Scanner (TLS).
- Evaluación económica de la implementación de la herramienta computacional desarrollada.

CAPÍTULO II
DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

El Chancador Primario es el equipo mecánico principal en la fase de trituración, tiene por objetivo provocar la fractura de las rocas. Dependiendo del tamaño de mineral requerido en cada instalación minera, se pueden realizar múltiples etapas de chancado (primaria, secundaria, terciaria), provocando cada una de ellas una reducción progresiva de tamaño de mineral. Si bien es cierto, puede existir un Chancador secundario y terciario, nunca puede faltar un Chancador Primario.

El Chancador Primario separa los enlaces atómicos de las rocas, ésta separación se debe a un mecanismo de falla y en función de este mecanismo, se clasifican los distintos tipos de Chancadores. Los equipos de trituración que FLSmidth provee a la industria minera cuprífera son tres tipos:

1. Chancadores de cono (compresión y abrasión).
2. Chancadores de mandíbula (impacto).
3. Chancadores giratorios (compresión y abrasión).

En la presente tesis, se analizará el desgaste de los revestimientos del Chancador Primario de tipo giratorio (Cóncavas y Mantos), ya que corresponde al equipo de trituración más utilizado en la Industria Minera de Chile.

2.1 CHANCADOR PRIMARIO TIPO GIRATORIO

Se diferencia de los otros tipos de Chancadores por su alta capacidad de procesamiento de mineral. La mayor parte de las instalaciones mineras de cobre en Chile son clasificadas como gran minería, es decir que poseen altos flujos de producción de mineral (cercanos a las 100.000 ton/día) (Minera Los Pelambres, 2016), aplicación para la cual fue diseñado este equipo.

El Chancadorpuede ser instalado dedos formas dentro de la planta de procesamiento de mineral, fija o semi-móvil. La primera, (instalación fija) corresponde a un edificio que contiene al Chancador, la segunda forma de instalarlo es dentro de una estructura de acero (semi-móvil).

En la parte superior del equipo se ubica una tolva de alimentación con capacidad suficiente para mantener la operación del Chancador a tasa llena. Además,está equipado con elementos mecánicos adicionales como una grúa para facilitar el mantenimiento y un martillo pica rocas (Fig. 1), cuya función es disminuir el tamaño de las rocas que superen la abertura de la cámara de alimentación del equipo.

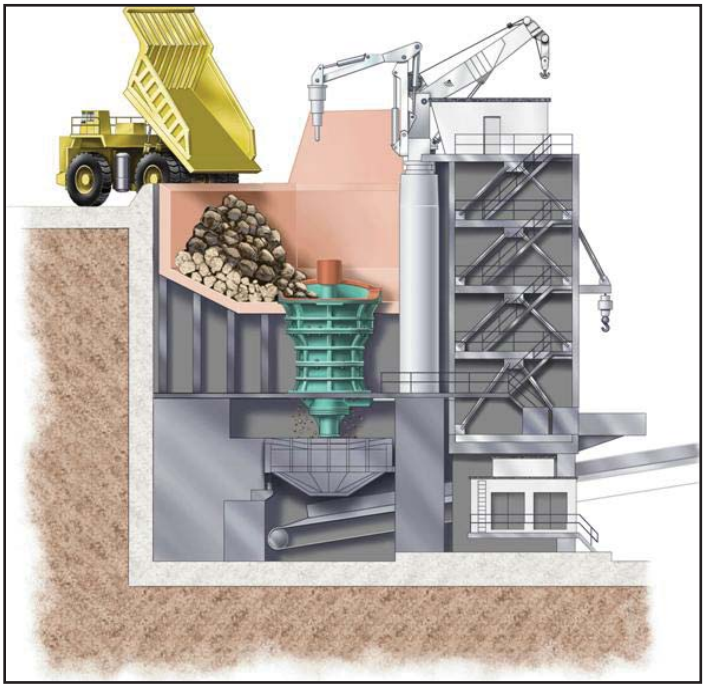


Fig. 1: Disposición típica Chancador Giratorio (FLSmidthMinerals, 2009).

En la parte inferior del edificio se encuentra la tolva de descarga, es aquí donde el material puede ser extraído mediante correas transportadoras u otro medio de carga, llevándolo a la siguiente etapa de molienda.

El Chancador es alimentado de material ROM (tal como sale de la mina, Run of mine), el cual es triturado y enviado a una cavidad de compensación situada debajo del Chancador. Un operador ubicado en la sala de control, se encarga de regular la alimentación de mineral para mantener los niveles apropiados de producción y funcionamiento óptimo del equipo.

El Chancadoranalizado en la presente tesis es el Fuller-TraylorGyratoryCrusher (Fig. 2), instalado en minera “Los Pelambres” ubicada en la región de Coquimbo.

Este yacimiento minero posee 2 Chancadores Giratorios FFE Traylor 60 x 110in, tipo “TC”, denominadosPC1 y PC2.

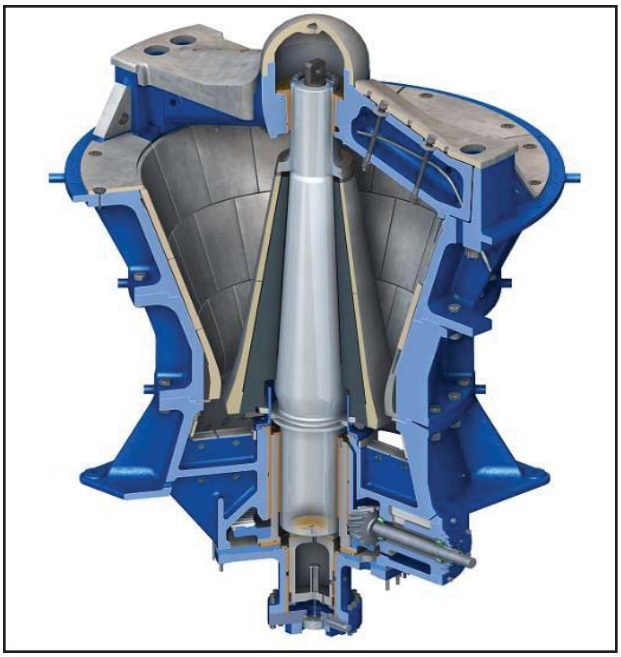


Fig. 2: Chancador Primario tipo Giratorio (FLSmidthMinerals, 2009).

El Chancador giratorio está compuesto esencialmente por los siguientes elementos (Fig.3) :

1. Carcasa, dividida en 3 secciones: Bottom Shell, Middle Shell y Top Shell.
2. Eje principal (MainShaft).
3. Núcleo cónico (Core): Se encuentra entre el eje principal y el manto.
4. Manto, dividido en dos o tres secciones (según el tamaño del Chancador):MantleLower, MantleMiddle y MantleUpper. Corresponde a uno de los elementos de desgaste.
5. Cóncavas (Concaves): Elementos activos de desgaste, adosados a las paredes de la carcasa.
6. Conjunto de la Araña (Spider Assembly): Sistema de soporte superiordel eje principal.
7. Sistema de accionamiento mecánico: Compuesto de un contra-eje (Countershaftassembly), piñón (PinionShaft), y corona (EccentricGear).
8. Sistema de ajuste hidráulico (HydraulicAdjustment Assembly).

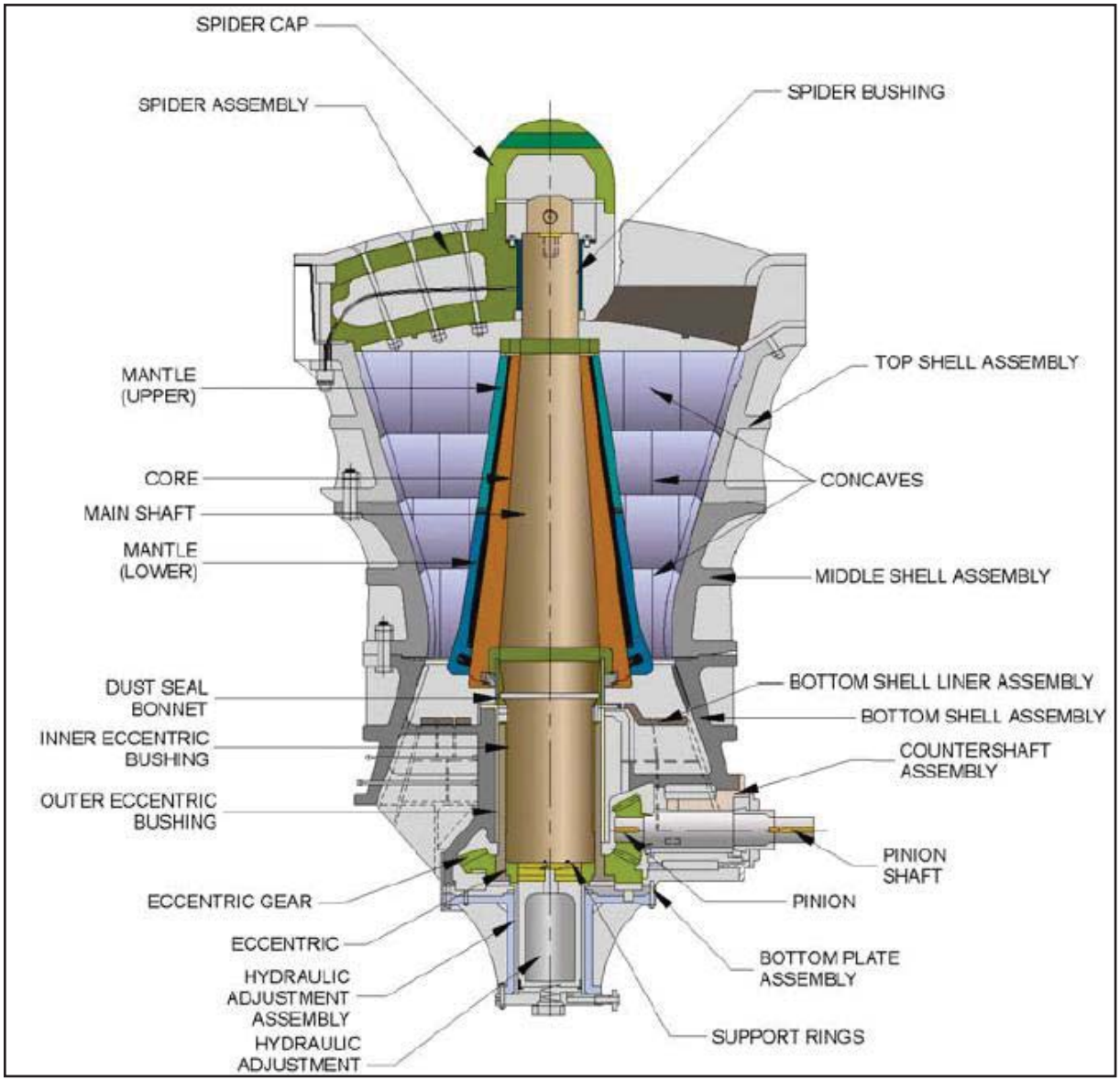


Fig. 3: Componentes Chancador Primario tipo Giratorio (FLSmidthMinerals, 2009).

La denominación del equipo (A" x B"), corresponde a las medidas principales de éste y son especificadas en pulgadas (Fig.4).

A: Abertura de la cámara de trituración.

B: Diámetro inferior del manto.

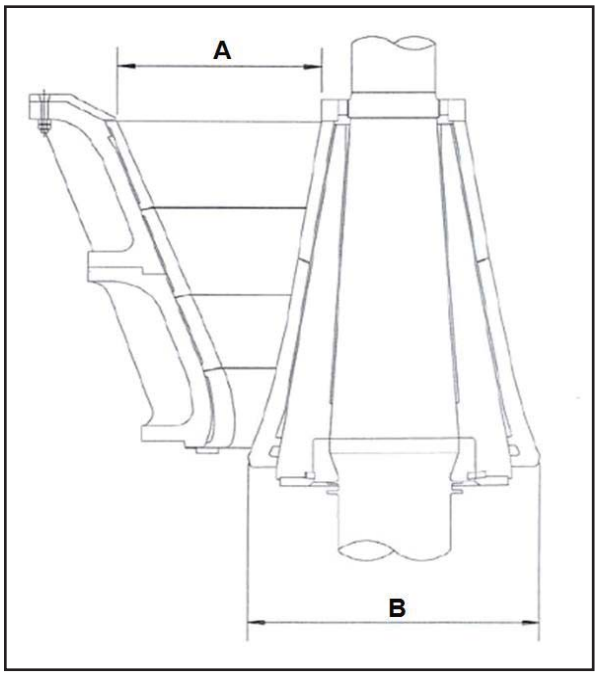


Fig. 4: Medidas Principales del Chancador.

El principio de funcionamiento de este equipo permite la compresión y abrasión de las rocas, provocando la disminución de tamaño de mineral. Las rocas caen por gravedad desde la parte superior del Chancador hasta un depósito de carga, donde deben pasar entre un eje vertical cónico revestido con un elemento de desgaste (Manto), y las Cóncavas (elemento de desgaste de la carcasa).

La parte inferior del eje principal (solidario al eje cónico) es girado excéntricamente, mientras el extremo superior está sujeto por un buje, que permite sólo el movimiento rotatorio del eje, el buje se encuentra inserto en un elemento estructural llamado conjunto de la araña. El giro del eje principal es producido mediante un motor eléctrico, a través de un contra-eje y un sistema de piñón corona que provoca el movimiento de la excéntrica (extremo inferior del eje principal)(FLSmidthMinerals, 2009).

Los Chancadores, son fabricados en diferentes tamaños y potencias, seleccionándose de acuerdo a:

1. Tipo de mineral a chancar.
2. Sistema de alimentación.

3. Tamaño del mineral en la alimentación.
4. Tonelaje de mineral deseado.
5. Índice de trabajo (WorkIndex) del mineral.
6. Densidad másica.
7. Resistencia a la compresión.
8. Contenido de humedad en el mineral.
9. Tamaño de producto requerido.

El Chancador giratorio, tiene un sistema de ajuste hidráulico en la parte inferior del equipo que consta de un pistón dentro de un cilindro hidráulico, encargado de subir y bajar el eje principal, regulando el Open SideSetting (apertura de descarga, OSS) y el CloseSideSetting (ajuste de lado cerrado, CSS). El OSS, corresponde a la distancia más lejana entre el manto y las cóncavas (sección inferior del eje principal o zona descarga de mineral), mientras que el CSS es la menor distancia entre el manto y las cóncavas, tal como se indica en la Fig.5.

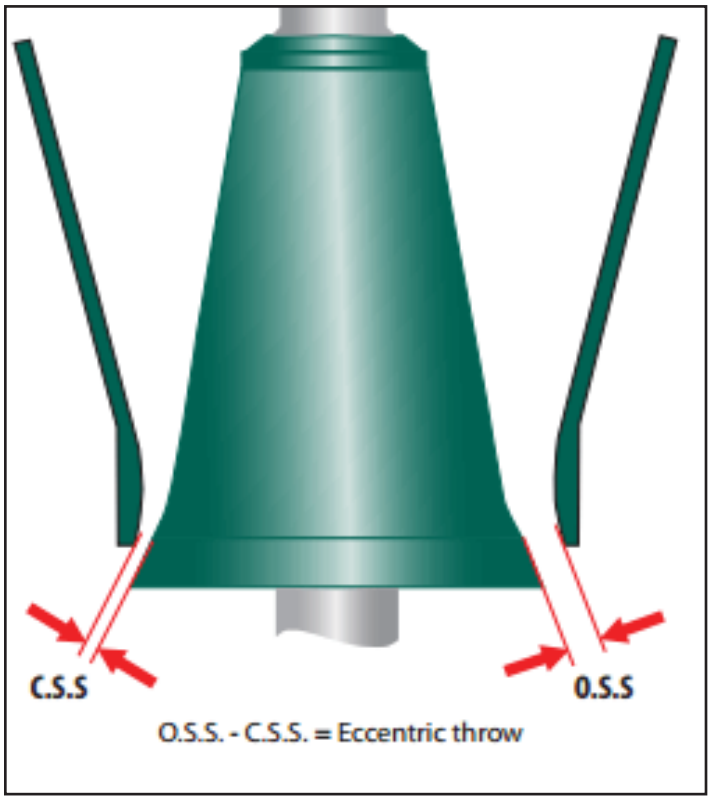


Fig. 5: OSS y CSS del Chancador.

A medida que el eje principal en conjunto con el manto se mueven hacia arriba, la distancia entre el manto y las cóncavas del Chancador disminuye (disminuyendo el tamaño de salida del mineral triturado), de manera contraria, si el manto se mueve hacia abajo, la distancia entre el manto y las cóncavas del Chancador aumenta (aumentando el tamaño de salida del mineral triturado).

Otra función del sistema de ajuste hidráulico es absorber las cargas de impacto al momento de caer las rocas(por medio de un acumulador hidráulico), ya que durante el chancado las cargas son variables.

CAPÍTULO III
MARCO TEÓRICO

El objetivo del presente capítulo es contextualizar la tesis exponiendo en primer lugar el fundamento teórico del proceso de conminución. Posteriormente, es descrita la situación actual del mantenimiento de los revestimientos del Chancador Primario de tipo Giratorio (Manto y Cóncavas), mostrando de la misma manera la propuesta de mejora en mantenimiento preventivo y predictivo del equipo nombrado anteriormente.

Se presenta el método de medición de puntos de desgaste en los revestimientos junto con la transferencia de informacióny análisis de estos puntos. Además, se muestra el modelo predictivo seleccionado, el cuál determina la vida útil del revestimiento y su respectiva fecha de reemplazo.

3.1 FUNDAMENTO TEÓRICO CONMINUCIÓN

Dentro del proceso productivo del cobre, la conminución corresponde a la etapa posterior a la extracción y transporte del mineral desde el yacimiento minero hasta la planta de procesos. El objetivo de la conminución es la disminución del tamaño de las partículas de mineral para el tratamiento siguiente en la etapa de flotación.

El proceso de reducción de tamaño se efectúa en dos fases: trituración y molienda. La trituración es la encargada de reducir el tamaño del mineral en primera instancia, procesando las rocas desde su tamaño original (extraída desde mina) hasta aproximadamente 8 pulgadas. En la molienda, se reduce nuevamente el tamaño de la roca, obteniéndose partículas del orden de las micras; dimensión necesaria para el posterior manejo y tratamiento en la etapa de flotación, donde son separados los minerales sulfurados de cobre del resto de minerales. En una planta de procesamiento de minerales, la trituración es efectuada por un Chancador primario, el cual debe ser seleccionado de acuerdo diversos parámetros.

La selección de un Chancador primario en cuanto a dimensiones y potencia del motor, se establece por la energía que necesita el proceso de conminución. La teoría que actualmente rige este proceso pertenece a Fred Bond, quien en el año 1952

publica sobre la metodología de la trituración, previo a esta se encuentran las teorías de Rittinger(1867) y Kick (1885).

Napier-Munn, Morrel, Morrison &Kojovic (1996) explican el planteamiento de Bond (1952) de la siguiente manera: "El trabajo aportado esproporcional a la longitud de la punta de la nueva fisura producida en la rotura de partículay es igual al trabajo representado por el producto menos el representado por laalimentación". Lo anterior queda expresado en la siguiente ecuación:

$$W = 10 * W_i * (\frac{1}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{F_{80}}})$$

y

$$P = T * W$$

W = Consumo específico de energía por tonelada [kWh/ton].
Wi = Índice de trabajo (Workindex), propio del mineral [kWh/ton].
P80 = Tamaño al cual pasa un 80% del producto [µm].
F80 = Tamaño al cual pasa un 80% de la alimentación [µm].
T = Rendimiento de la alimentación [ton/h].
P = Consumo de energía [kW].

El índice de trabajo es el parámetro de trituración que expresa la resistencia del material a ser triturado. Numéricamente es el consumo específico por tonelada requerido para reducir elmaterial desde un tamaño de alimentación teórico infinito, a un 80% pasando 100 micrones.

3.2 TÉCNICAS DE MEDICIÓN PARA MANTENIMIENTO DE REVESTIMIENTOS

A continuación, se describirán técnicas de medición de espesores de revestimientosde los equipos de conminución, ya sea Chancadores y/o Molinos. Las técnicas de medición están enfocadas en el mantenimiento de piezas sometidas a desgaste abrasivo.

3.2.1 TÉCNICAS ACTUALES

Las mediciones de desgaste en los revestimientos (Cóncavas y Manto) del Chancador primario, se realizan mediante dos métodos, la medición física y la medición por ultrasonido. Ambas mediciones requieren que el equipo se encuentre totalmente detenido, por lo que se debe planificar la fecha de medición de acuerdo al programa de mantenimiento de la planta, donde es especificada la fecha determinada para la detención del equipo.

Una desventaja importante en los siguientes métodos de medición es el requerimiento de personal de trabajo expuesto para realizar esta labor, con los riesgos que este procedimiento implica.

1. Medición física: Consiste en ingresar a la parte inferior del Chancador, específicamente a la cámara de compensación (debe estar llena) y realizar medición mediante flexómetro o reglilla (medición directa). La medición del espesor del manto se realiza desde el borde exterior del núcleo del eje principal hasta la superficie exterior del manto. De la misma manera, la medición de las cóncavas se realiza desde el borde de la carcasa del Chancador y la superficie exterior de las cóncavas.

   La desventaja que la medición física implica, es la carencia de exactitud debido a que la medición puede tener un error de lectura.

2. Medición mediante ultrasonido: Es una técnica de ensayo no destructivo, utilizada para medir espesores de diversos elementos o piezas mecánicas, en este caso es empleado para medir el espesor de los revestimientos del

equipo. Algunas ventajas de este tipo de medición respecto al método anterior, es que requiere el acceso a sólo una pared de la pieza que se desea medir y además permite que las mediciones puedan ser almacenadas en el mismo dispositivo, a diferencia del método anterior.

La medición del espesor del revestimiento se hace por medio de ladeterminación del tiempo de vuelo de una señal de alta frecuencia, emitida por una sonda llamada transductor ultrasónico. El tiempo de vuelo se refiere al tiempo quedemora la señal en atravesar la pieza que se desea medir y el regreso de ésta al dispositivo.

La señal emitida al ingresar al material que se está midiendo, cambia su velocidad de propagación, ésta depende de la densidad del material, variando en una relación directamente proporcional entre densidad y velocidad de propagación en el medio (Rimoldi& Mundo, 2012).

3.2.2 TÉCNICA DE MEDICIÓN EN IMPLEMENTACIÓN

Los métodos de medición tienen como finalidad apoyar el desarrollo de un mantenimiento de tipo preventivo, una opción para aumentar la productividad de la industria es realizar algún tipo de mejora en mantenimiento predictivo. Para esto se propone la obtención de un perfil de desgaste, el cual permite realizar un análisis y posterior pronóstico de cambio de revestimientos, modificando así el tipo de mantenimiento, de unopreventivo a uno predictivo.

El mantenimiento predictivo es el que permite relacionar variables físicas del equipo analizado con el estado del mismo, tiene como objetivo el pronóstico de problemas o fallas en componentes del equipo para que éstos puedan ser reemplazados (García, 2012).

Para satisfacer las necesidades del mantenimiento predictivo es necesaria la implementación de algún tipo de innovación tecnológica en la técnica de medición. La técnica que actualmente se está implementando en FLSmidth con el fin de obtener un perfil de desgaste es la medición medianteTerrestrial Laser Scanning.

Este tipo de medición es utilizada ampliamente en diversas aplicaciones ingenieriles, tales como alineación de elementos mecánicos, calibración de máquinas y controles dimensionales a gran escala. Además, posee la característica de no requerir el contacto directo entre el instrumento y el objeto que se desea escanear.

La técnica de medición Terrestrial Laser Scanning, utiliza un instrumento llamado Terrestrial Laser Scanner (en adelante TLS) (Anexo 5), con el cual se realizan mediciones en terreno. Las cuales tras un post procesado, permitenconocer la forma y dimensiones de los objetos que rodean al TLS (en 3 dimensiones), además posibilita la generación de un archivo Excel (.xlsx) con información sobre las coordenadas de los puntosdel sólido en estudio y la creación de un modelo CAD del objeto en análisis.

En el ámbito de la presente memoria, la técnica Terrestrial Laser Scanninges utilizada para la obtención de la geometría de los revestimientos del Chancador primario. La cual, obtenida en distintos instantes de tiempo proporcionala información para conocer el comportamiento dedesgaste de los revestimientos del equipo (Cóncavas y Manto).

El TLS consta de dos componentes básicos, en primer lugar, un dispositivo de medida de distancias (láser)y, en segundo lugar, un mecanismo de barrido (sistema de espejos con movimiento giratorio), encargado de desviar el láser en todas direcciones (Márquez, 2010).

Mediante la emisión de un haz de luz (láser) generado por el instrumento, al ser reflejado sobre las superficies y volver al dispositivo, capta la posición de un conjunto de puntos (nube de puntos) de los distintos sólidos que se encuentran a su alrededor. El TLS gira en el eje “X” 360° y en el eje “Y” 320°, limitado a éste valor ya que el TLS va montado sobre un trípode. El tiempo de estudio promedio es de 18 minutos, dependiendo del grado de resolución requerido (distancia que hay entre un punto y otro).

El nivel de detalle requerido por el usuario tiene directa relación con el tiempo que debe estar el TLS haciendo el estudio. Ya que, para un mayor nivel de detalle,

elmecanismo de barrido disminuye su velocidad de giro (sin disminuir la cantidad de puntos captados por segundo), obteniendo una nube de puntos con una mayor cantidad de puntos y menor separación entre ellos. Por lo tanto, debido a la disminución de la velocidad de giro, mayor es el tiempo que debe estar el instrumento realizando la medición.

A continuación, se exponenlas nubes de puntos obtenidas en la medición TLS (Fig.6), de acuerdo a las siguientes descripciones:

1. Parte superior del Chancador, se muestra el conjunto de la Araña y sección superior del Manto.
2. Manto, revestimiento del eje principal.
3. Vista superior, Cóncavas y Manto.

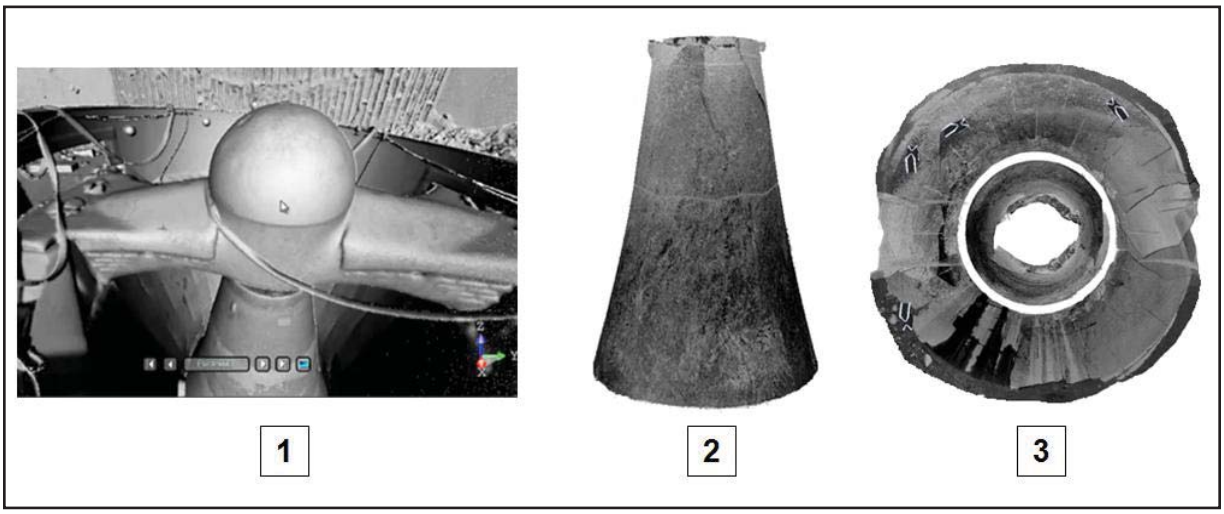


Fig. 6: Nube de puntos Chancador Primario.

Para la medición del desgaste y posterior pronóstico de cambio de los revestimientos del Chancador giratorio analizado, es necesario:

1. Realizar la medición mediante TLS: Se deben realizar una serie de mediciones para determinar el comportamiento de desgaste de los revestimientos. Cabe señalar que necesariamente se debe efectuar una primera medición al momento de instalación de los revestimientos nuevos en el Chancador.

2. Conocer el tonelaje procesado hasta la fecha en que se realiza la medición, ya que el nivel de desgaste depende directamente de la cantidad de mineral triturado.

A partir de la información obtenida en estas mediciones, se desarrolla una herramienta computacional basada en un modelo predictivo. Esta herramienta es creada en software “MATLAB”, la cual permite controlar, evaluar y pronosticar una fecha óptima de cambio de revestimientos asociada al tonelaje procesado por el equipo.

3.3 MODELO MATEMÁTICO PREDICTIVO

Los datos utilizados para la determinación de la función matemática que permite la predicción de la fecha de cambio de los revestimientos son: Los espesores de los revestimientos (información obtenida a través de mediciones TLS) y Tonelaje procesado por el Chancador en cada medición.

Con estos datos se genera un diagrama de dispersión (Fig. 7), donde se representa el Espesor vs. Tonelaje procesado, éstos son valores discretos (puntos), por lo que se debe encontrar una función dependiente del tonelaje, que represente con el mínimo error al espesor. Esta función permite proyectar o predecir el espesor para un cierto tonelaje, a través de la regresión.

Existen diversas funciones matemáticas para aproximar el comportamiento de un conjunto de datos: lineal, exponencial, polinómica, etc. Éstas representan una tendencia general o global de los datos, pudiendo determinar el comportamiento futuro de manera aproximada.

La determinación del tipo de curva se basa en el historial de comportamiento del desgaste de los revestimientos, facilitado por la empresa FLSmidth y correspondiente alChancador primario de tipo giratorio N°2, instalado en minera "Los Pelambres", este historial de desgaste será expuesto en el capítulo V de la presente tesis.

Como se puede observar en la figura 7, el diagrama, está compuesto por una variable dependiente quepermite observar la variación del espesor en función del tonelaje procesado y una variable independiente.

1. Variable dependiente (Graficada en Eje Y): Resultado de la medición TLS de los espesores de los revestimientosque presenten el máximo desgaste.
2. Variable independiente (Graficada en Eje X): Tonelaje total procesado por el Chancador al momento de la medición TLS.

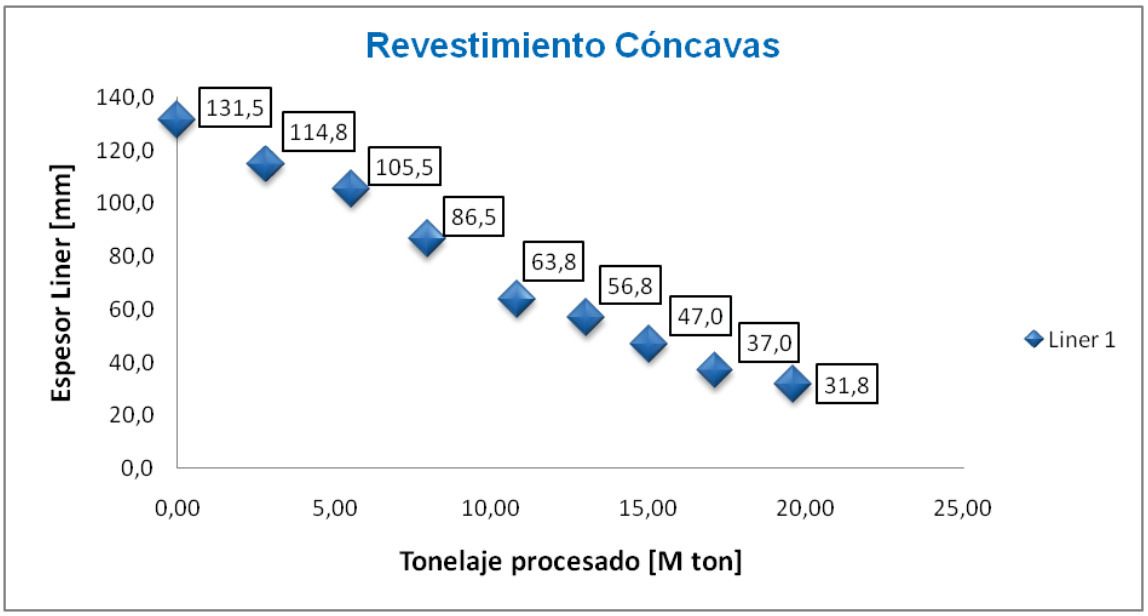


Fig. 7: Tendencia general de desgaste, Cóncavas.

3.3.1 MODELO MATEMÁTICO PREDICTIVO PARA LOS REVESTIMIENTOS

Se presenta de forma teórica el fundamento para la obtención de la función matemática, que se ajustaal comportamiento del conjunto de datosgraficados en el diagrama de dispersión.

En el capítulo V, se desarrolla la selección de la función matemática. A continuación sólo se expone el modelo matemático que mejor se aproxima al comportamiento de desgaste.

Cabe señalar que el modelo presentado será válido, siempre y cuando se mantengan:

- Las características de los revestimientos (composición química y tratamiento térmico).
- La geometría de Cóncavas y Mantos.
- Y las características del Mineral Procesado.

Modelo Matemático de Mínimos Cuadrados:

Curva Polinómica de orden 2.

Una de las formas para aproximar un conjunto de datos, es el ajuste de curvas mediante mínimos cuadrados, basado en un polinomio de segundo orden (Chapra&Canale, 2007) de la forma:

$$y_i = a_0 + a_1 X_i + a_2 {X_i}^2 + \varepsilon_t$$

y_i: Variable dependiente, corresponde a los valores de espesores controlados, medidos en mm.

a_0, a_1, a_2: Coeficientes de la ecuación.

X_i: Variable independiente, valor de tonelaje procesado por el Chancador, hasta el momento de efectuar la medición.

ε_t: Error, diferencia medida verticalmente entre el valor real y el valor estimado (curva de regresión propuesta).

Se define un residuo(Sr), que busca minimizar la suma global de errores cuadráticos entre el modelo de regresiónplanteado y el conjunto de datos. Para lograrlo, se debe aislar el residuo de la ecuación planteada.

$$Sr = \sum_{i=1}^{n} (\varepsilon_t)^2 = \sum_{i=1}^{n} (y_i - a_0 - a_1 X_i - a_2 X_i^2)^2$$

Para la obtención de los valores de los coeficientes de la ecuación (a_0, a_1, a_2), el Sr debe ser derivadorespecto a cada uno de los coeficientes e igualadosa cero,obteniendo un sistema de 3 ecuaciones y 3 incógnitas. El procedimiento para obtener este sistema es presentado a continuación:

Ecuación 1:

$$\frac{\partial Sr}{\partial a_0} = 0$$

$$\frac{\partial Sr}{\partial a_0} = -2 * \sum_{i=1}^{n} (y_i - a_0 - a_1 X_i - a_2 X_i^2) \quad = 0$$

$$\sum_{i=1}^{n} y_i = \sum_{i=1}^{n} a_0 + \sum_{i=1}^{n} a_1 X_i + \sum_{i=1}^{n} a_2 X_i^2$$

$$\sum_{i=1}^{n} y_i = a_0 * n + a_1 * \sum_{i=1}^{n} X_i + a_2 * \sum_{i=1}^{n} X_i^2 \qquad (1)$$

Ecuación 2:

$$\frac{\partial Sr}{\partial a_1} = 0$$

$$\frac{\partial Sr}{\partial a_1} = -2 * \sum_{i=1}^{n} (y_i - a_0 - a_1 X_i - a_2 X_i^2) * X_i = 0$$

$$\sum_{i=1}^{n} X_i y_i = \sum_{i=1}^{n} a_0 X_i + \sum_{i=1}^{n} a_1 X_i^2 + \sum_{i=1}^{n} a_2 X_i^3$$

$$\sum_{i=1}^{n} X_i y_i = a_0 * \sum_{i=1}^{n} X_i + a_1 * \sum_{i=1}^{n} X_i^2 + a_2 * \sum_{i=1}^{n} X_i^3 \qquad (2)$$

Ecuación 3:

$$\frac{\partial Sr}{\partial a_2} = 0$$

$$\frac{\partial Sr}{\partial a_2} = -2 * \sum_{i=1}^{n} (y_i - a_0 - a_1 X_i - a_2 X_i^2) * X_i^2 = 0$$

$$\sum_{i=1}^{n} X_i^2 y_i = \sum_{i=1}^{n} a_0 X_i^2 + \sum_{i=1}^{n} a_1 X_i^3 + \sum_{i=1}^{n} a_2 X_i^4$$

$$\sum_{i=1}^{n} X_i^2 y_i = a_0 * \sum_{i=1}^{n} X_i^2 + a_1 * \sum_{i=1}^{n} X_i^3 + a_2 * \sum_{i=1}^{n} X_i^4 \qquad (3)$$

A través de un sistema matricial se resuelven las ecuaciones (1), (2) y (3), determinando el valor de los coeficientes a_0,a_1 y a_2. De esta forma, queda definida completamente la curva de regresión.

$$\begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^{n} X_i & \sum_{i=1}^{n} X_i^2 \\ \sum_{i=1}^{n} X_i & \sum_{i=1}^{n} X_i^2 & \sum_{i=1}^{n} X_i^3 \\ \sum_{i=1}^{n} X_i^2 & \sum_{i=1}^{n} X_i^3 & \sum_{i=1}^{n} X_i^4 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{n} y_i \\ \sum_{i=1}^{n} X_i y_i \\ \sum_{i=1}^{n} X_i^2 y_i \end{bmatrix}$$

3.3.2ANÁLISIS DEL MODELO PREDICTIVO

El modelo predictivo planteado, busca estimar el valor del espesor para un cierto tonelaje procesado de mineral. Mediante la aproximación de una función matemática, tal y como se muestra en el apartado 3.3.1.

Para minimizar el error de aproximación, se analiza el coeficiente de determinación(R^2)(Martínez, 2005).

Coeficiente de Determinación (R^2):

Este coeficiente toma valores entre 0 y 1, en función del grado de correlación entre las variables estudiadas. Si el resultado de R^2es 1, significa que no hay diferencia entre los valores reales y estimados, indicando una correlación perfecta en el conjunto de datos. Mientras más cercano a 0 sea el valor del coeficiente de determinación, menor es la validez que tiene el modelo predictivo, no siendo útil para estimar un valor de espesor.

La ecuación que permite el cálculo deR^2 es la siguiente:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(y_{real} - y_{estimado})^2}{\sum(y_{real} - \overline{y_i})^2}$$

$\mathrm{y}_{\mathrm{real}}$: Valores de espesores, producto de las mediciones TLS.

$\mathrm{y}_{\mathrm{estimado}}$: Valor estimado de espesor. Este valor se obtiene evaluando el tonelaje en la curva del modelo predictivo.

$\overline{\mathrm{y}_{\mathrm{i}}}$: Media. Valor aritmético que se obtiene al sumar todos los datos y dividir éste entre el número total de datos.

CAPÍTULO IV
REVESTIMIENTOS

Debido a las condiciones de trabajo a las que está sometido el Chancador primario, se genera un desgaste abrasivo en determinados componentes, objeto de estudio en la presente tesis. Este tipo de desgaste se define como la pérdida de masa de un elemento, proveniente de la interacción entre partículas (Sedriks&Mulhearn, 1963). En este caso, dicha interacción se debe a la fricción entre las rocas y el equipo en funcionamiento.

Para proteger y evitar el contacto directo entre las rocas y el cuerpo del Chancador, éste posee elementos resistentes al desgaste (revestimientos), los cuales deben ser reemplazados mediante mantenciones programadas en forma periódica.

El desgaste de los revestimientos depende de factores, tales como:

1. Tonelaje de mineral procesado.
2. Características del mineral (dureza, tamaño, peso específico y humedad).
3. Porcentaje de llenado de la cámara de trituración del Chancador.

De acuerdo a estos factores, se produce un perfil de desgaste particular para cada operación minera.

En el presente capítulo, se exponen los elementos de desgaste a analizar, correspondientes a los revestimientos del Chancador Primario de tipo giratorio.

4.1 REVESTIMIENTOS DEL CHANCADOR PRIMARIO TIPO GIRATORIO

El Chancador primario de tipo giratorio posee tres tipos de revestimientos (Fig. 8), de los cuales únicamente dos serán estudiados con la finalidad de obtener el comportamiento de desgaste y una fecha de cambio óptima de estos.

Los 3 tipos de revestimientos que posee el Chancador primario de tipo giratorio son:

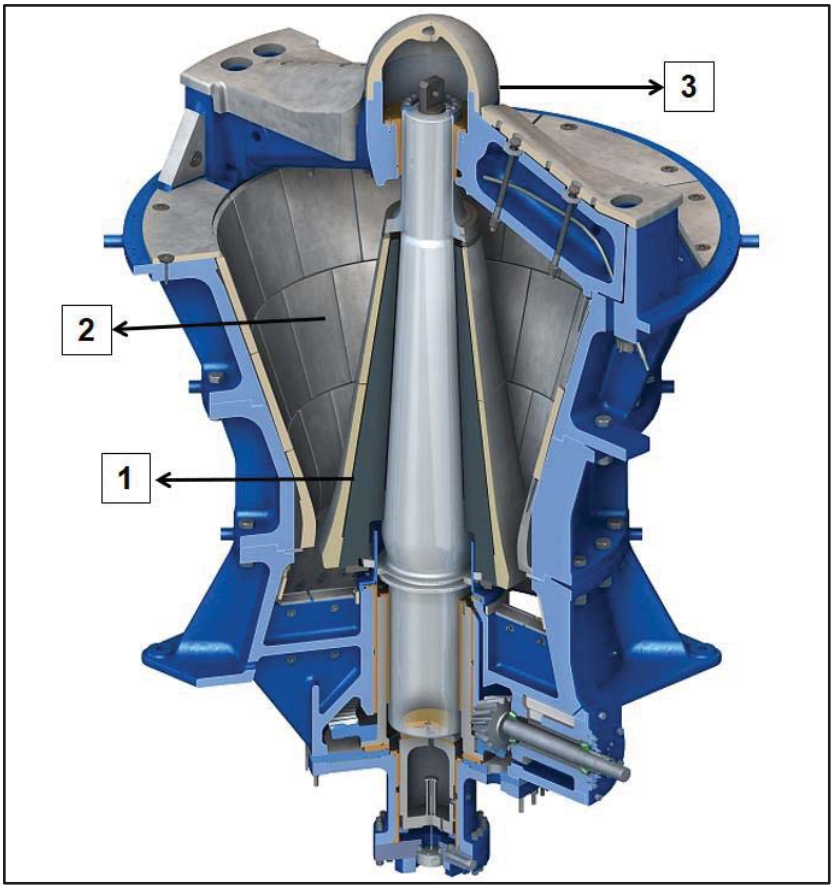


Fig. 8: Tipos de Revestimientos Chancador Giratorio.

1. Manto, revestimiento del eje principal.
2. Cóncavas, revestimiento del cuerpo o carcasa del Chancador.
3. Revestimiento de la araña, revestimiento del conjunto de la araña.

A continuación, se muestran los intervalos de tiempo (aproximados) entre los que son realizadas las mantenciones asociadas al cambio de éstos componentes, donde se destacael mayor transcurso de tiempo entre un cambio y otro del revestimiento de la araña, ya que tiene un desgaste menor. La razón por la cual se produce ésta diferencia es que éste revestimiento sólo recibe cargas de impacto de las rocas al momento de caer sobre el Chancador, no así los otros dos revestimientos (Manto y

Cóncavas) diseñados especialmente para soportar las fuerzas de roce provocadas por el contacto directo entre la roca y el equipo.

1. Manto, revestimiento del eje principal: Cambio cada 3 a 4 meses.
2. Cóncavas: Cambio entre 6 a 8 meses.
3. Revestimiento de la Araña: Cambio 1 vez al año.

Los elementos a analizar en la presente memoria son: el Manto y las Cóncavas, por tener un desgaste comparativamente mayor en relación al revestimiento de la araña.

4.1.1 MANTO

Este revestimiento está fabricado de una aleación de acero manganeso fundido (ASTM-A128). Se encuentra fijo al núcleo por: su forma geométrica, la tuerca de la parte superior del eje principal y el material de relleno epóxico(backing) que ocupa el espacio entre el manto y el núcleo (FLSmidthMinerals, 2009).

El revestimiento es instalado sobre el núcleo cónico dividido en dos o tres partes, según el tamaño del Chancador.

a) Dividido en 2 partes: Manto Inferior y Manto Superior.
b) Dividido en 3 partes: Manto Inferior, Manto Intermedio y Manto Superior.

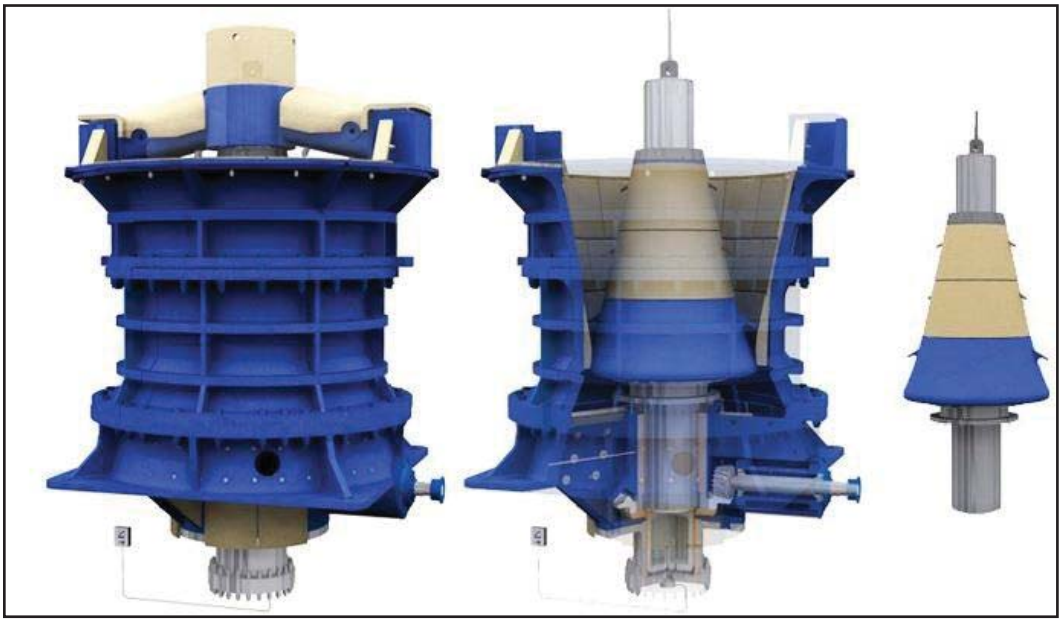
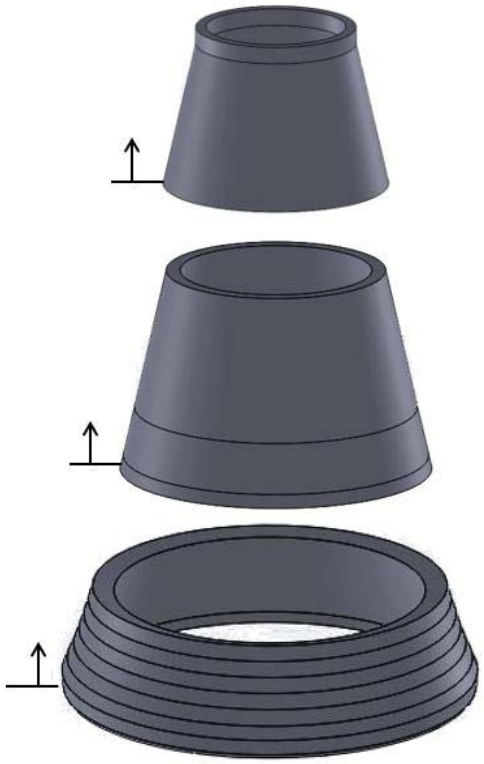


Fig. 9: Manto, revestimiento del Eje Principal.

Un concepto que debe ser definido con objetivo de localizar el punto exacto donde se produce el máximo desgaste del revestimiento es el de “Perfil de Altura”, el cual corresponde a la distancia medida desde el comienzo del sector del manto que se quiere analizar. Las secciones de perfil de altura varían de acuerdo a la siguiente figura:



Manto Superior	Desde	50 [mm]
	Hasta	950 [mm]
Manto Intermedio	Desde	50 [mm]
	Hasta	1000 [mm]
Manto Inferior	Desde	0 [mm]
	Hasta	1200 [mm]

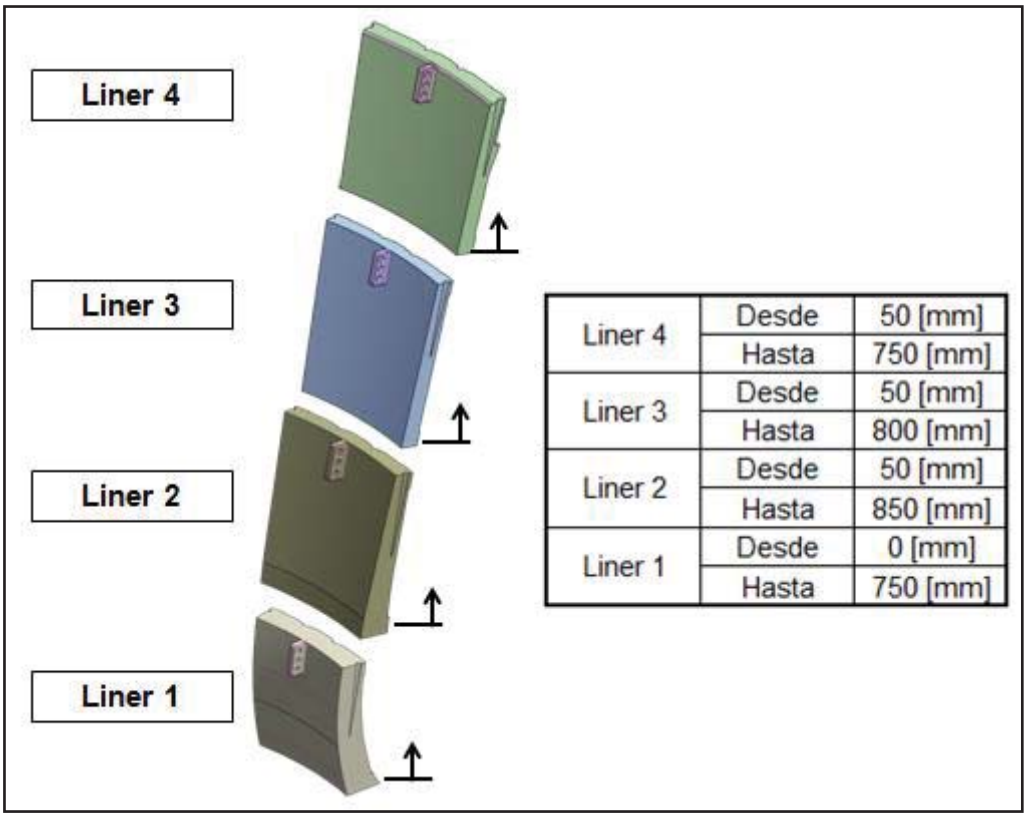
Fig. 10: Perfil de Altura Manto.

4.1.2 CÓNCAVAS

Elementos de desgaste cuyo material es acero martensíticoCromo-Molibdeno, adosados a las paredes de la carcasa del Chancador primario, mediante un material de relleno epóxico (backing) entre las Cóncavas y la carcasa (FLSmidthMinerals, 2009).

Las cóncavas están alineadas de forma horizontal, dividiéndose en filas, o también llamadas Liners. Dependiendo de la dimensión del Chancador, puede tener 3, 4 o 5 filas. Cada una de estas filas tiene un número de Cóncavas determinado.

El “Perfil de Altura” corresponde a la distancia medida desde la base de la Cóncava que se quiere analizar hasta la parte superior de la misma. Las secciones de perfil de altura son expuestas a continuación:



Liner 4	Desde	50 [mm]
	Hasta	750 [mm]
Liner 3	Desde	50 [mm]
	Hasta	800 [mm]
Liner 2	Desde	50 [mm]
	Hasta	850 [mm]
Liner 1	Desde	0 [mm]
	Hasta	750 [mm]

Fig. 11: Perfil de Altura Cóncavas.

Para distinguir la ubicación de un punto de los revestimientos desde una vista superior, se mide angularmente desde 0° a 360° en sentido anti horario, tal como se muestra en la figura 12:

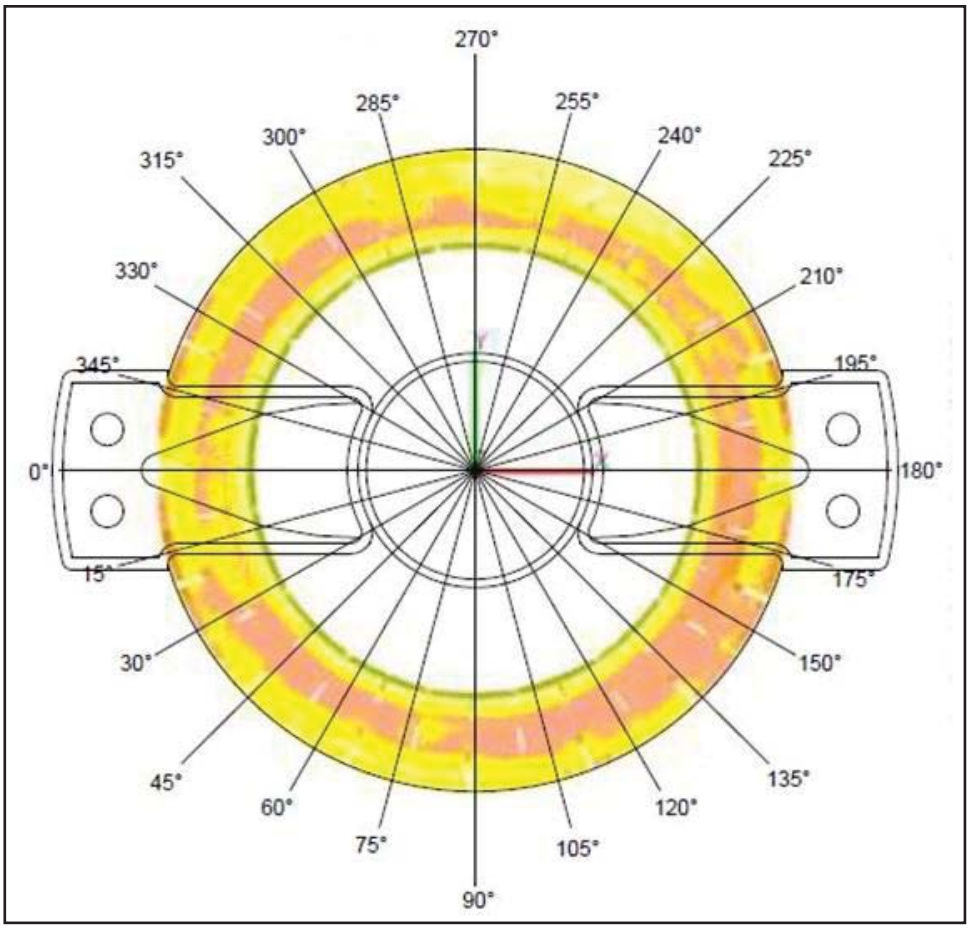


Fig. 12: Descripción angular, vista superior del Chancador.

En la presente memoria se analizará el aspecto más crítico en el diseño de las cóncavas: el perfil de desgaste de la cámara de chancado, es decir la superficie de desgaste de las Cóncavas y Mantos. Este perfil comprende entre la abertura de la alimentación ubicada en el Top Shell hasta la última fila de cóncavas situada en el Bottom Shell.

En la figura 13 se representa el perfil de desgaste del Manto y Cóncavas, objeto de análisis en los capítulos siguientes.

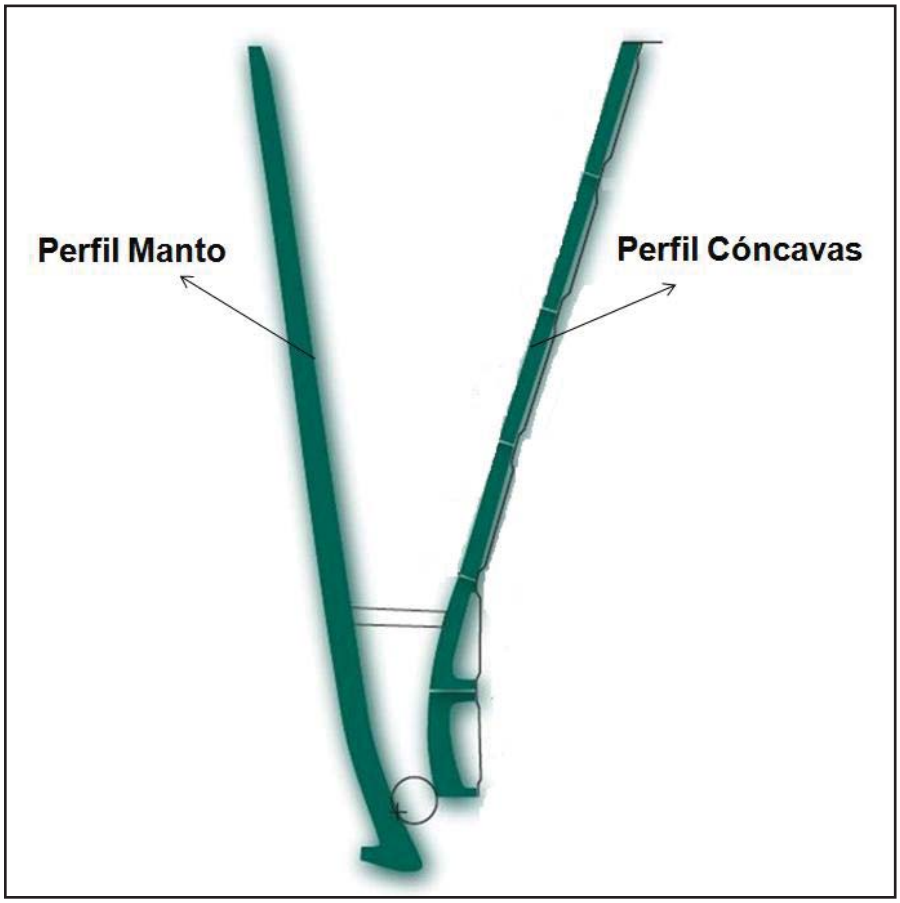


Fig. 13: Perfiles de desgaste en Manto y Cóncavas.

Las descripciones, vertical (Liners) y angular (grados), serán utilizadas posteriormente para ubicar el punto con mayor desgaste y el posterior pronóstico de vida útil del revestimiento en estudio.

4.2 REVESTIMIENTOS DEL CHANCADOR PRIMARIO EN ESTUDIO

El Chancador primario giratorio analizado (FFE Traylor 60 x 110 in, tipo “TC”), corresponde al PC2 instalado en minera “Los Pelambres”.

MANTO

El modelo del Chancador nombrado anteriormente (60 x 110 in), el diámetro inferior del manto corresponde a 110 iny se encuentra dividido en 3 secciones: Manto Inferior, Manto Intermedio y Manto Superior.

Para facilitar la operación del equipo, se encuentran disponibles tres diámetros de mantos para ser reemplazados (113 in, 115 in y 117 in), permitiendo la obtención de una cierta granulometría de mineral en la descarga.

El desgaste máximo permitido para el Manto según convenio entre minera “Los Pelambres” y FLSmidth, corresponde al nivel de desgastede un 50% del espesor del manto instalado (sin desgaste).

CÓNCAVAS

Este Chancador posee 4 filas de Cóncavas o 4 Liners. El mínimo espesor permitido(desgaste máximo) para las Cóncavas según convenio entre minera “Los Pelambres” y FLSmidth es 30 mm de espesor.

CAPÍTULO V
FUNDAMENTOS DEL MODELO PREDICTIVO

En el presente capítulo se analizan los distintos modelos matemáticos, con el objetivo de determinar aquel que más se ajusta al comportamiento de desgaste. Para ello, se estudia el historial de mediciones de espesores, las cuales representan el comportamiento del desgaste en los revestimientos del Chancador primario de tipogiratorio en estudio.

El historial estudiado, corresponde a las campañas N°6, N°7 y N°8 del ChancadorPC2.Una campaña se define como el tiempo transcurrido entre la instalación y el cambio del revestimiento. Las distintas campañasson analizadas de forma independiente para fundamentar la selecciónde l modelo predictivo, de acuerdo al capítulo III (sección 3.3).

La recopilación de la información proveniente de mediciones TLS, realizadas a intervalos aproximados de un mes, entre los años 2013 y 2015, permiten la obtención del historial de desgaste de los revestimientos del equipo. Esta información ha sido facilitada por FLSmidth.

Los criterios de cambio para los revestimientos durante los años 2013 y 2015, fueron:

- Para las Cóncavas:El mínimo espesor controlado (desgaste máximo), correspondiente a 30 mm de espesor.
- Para los Mantos: El desgaste máximo, correspondiente al espesor del manto que presente un desgaste del50% del espesor inicial instalado.

5.1 DESCRIPCIÓN DE CAMPAÑAS

CAMPAÑA N°6

Esta campaña abarca desde el día 9 de marzo hasta el día 30 de septiembre de 2013; periodo en que se procesó un total de 19.581.638 toneladas. Esta utiliza un conjunto de cóncavas y 3 conjuntos de mantos con diferentes diámetros: 110 in, 113 in y 115 in.

En la tabla 1 se muestra un resumen de las fechas en que fueron realizadas las mediciones TLS, junto con el tonelaje procesado entreuna medición y otra.

CÓNCAVAS: CAMPAÑA N°6	
Fecha Medición	Tonelaje Procesado [ton]
09-mar-13	0
09-abr-13	2.816.397
08-may-13	2.732.876
04-jun-13	2.398.540
03-jul-13	2.869.952
24-jul-13	2.197.675
13-ago-13	1.991.585
04-sep-13	2.095.701
30-sep-13	2.478.913
Total	19.581.638

MANTOS: CAMPAÑA N°6		
	Fecha Medición	Tonelaje Procesado [ton]
Diámetro 110 [in]	09-mar-13	0
	09-abr-13	2.816.397
	08-may-13	2.732.876
	Total	5.549.272

MANTOS: CAMPAÑA N°6		
	Fecha Medición	Tonelaje Procesado [ton]
Diámetro 113 [in]	08-may-13	0
	04-jun-13	2.398.540
	03-jul-13	2.869.952
	24-jul-13	2.197.675
	Total	7.466.167

MANTOS: CAMPAÑA N°6		
	Fecha Medición	Tonelaje Procesado [ton]
Diámetro 115 [in]	24-jul-13	0
	13-ago-13	1.991.585
	04-sep-13	2.095.701
	30-sep-13	2.478.913
	Total	6.566.199

Tabla 1:Resumen Fechas de Medición y Tonelajes Procesados, Campaña N°6.

CAMPAÑA N°7

Esta campaña abarca desde el día 1 de octubre de 2013 hasta el día 1 de junio de 2014; periodo en que se procesó un total de 24.669.278 toneladas. Esta utiliza un conjunto de cóncavas y 4 conjuntos de mantos de diferentes diámetros: 110 in, 113 in, 115 in y 117in.

En la tabla 2 se muestra un resumen de las fechas en que fueron realizadas las mediciones TLS, junto con el tonelaje procesado entre una medición y otra.

CÓNCAVAS: CAMPAÑA N°7	
Fecha Medición	Tonelaje Procesado [ton]
01-oct-13	0
05-nov-13	3.506.508
27-nov-13	2.385.333
18-dic-13	2.363.862
08-ene-14	2.063.192
05-mar-14	5.375.196
25-mar-14	1.882.143
22-abr-14	2.945.041
06-may-14	1.448.978
01-jun-14	2.699.025
Total	24.669.278

MANTOS: CAMPAÑA N°7		
Diámetro 110 [in]	Fecha Medición	Tonelaje Procesado [ton]
	01-oct-13	0
	05-nov-13	3.506.508
	27-nov-13	2.385.333
	18-dic-13	2.363.862
	Total	8.255.703

MANTOS: CAMPAÑA N°7		
Diámetro 113 [in]	Fecha Medición	Tonelaje Procesado [ton]
	18-dic-13	0
	08-ene-14	2.063.192
	05-mar-14	5.375.196
	Total	7.438.388

MANTOS: CAMPAÑA N°7		
Diámetro 115 [in]	Fecha	Tonelaje
	05-mar-14	0
	25-mar-14	1.882.143
	22-abr-14	2.945.041
	06-may-14	1.448.978
	Total	6.276.162

MANTOS: CAMPAÑA N°7		
Diámetro 117 [in]	Fecha Medición	Tonelaje Procesado [ton]
	06-may-14	0
	01-jun-14	2.699.025
	Total	2.699.025

Tabla 2: Resumen Fechas de Medición y Tonelajes Procesados, Campaña N°7.

CAMPAÑA N°8

Esta campaña abarca desde el día 1 de junio de 2014 hasta el día 3 de febrero de 2015, procesando un total de 23.998.063 toneladas. Se utiliza un conjunto de cóncavas y 4 conjuntos de mantos de diferentes diámetros: 110 in, 113 in, 115 in y 117 in.

En la tabla 3 se muestra un resumen de las fechas en que fueron realizadas las mediciones TLS, junto con el tonelaje procesado entre una medición y otra.

CÓNCAVAS: CAMPAÑA N°8	
Fecha Medición	Tonelaje Procesado [ton]
01-jun-14	0
22-jul-14	4.961.498
19-ago-14	2.783.677
09-sep-14	2.045.035
19-nov-14	7.190.721
03-feb-15	7.017.132
Total	23.998.063

MANTOS: CAMPAÑA N°8		
Diámetro 110 [in]	Fecha Medición	Tonelaje Procesado [ton]
	01-jun-14	0
	22-jul-14	4.961.498
	19-ago-14	2.783.677
	Total	7.745.175

MANTOS: CAMPAÑA N°8		
Diámetro 113 [in]	Fecha Medición	Tonelaje Procesado [ton]
	19-ago-14	0
	09-sep-14	2.045.035
	19-nov-14	7.190.721
	Total	9.235.756

MANTOS: CAMPAÑA N°8		
Diámetro 115 [in]	Fecha	Tonelaje
	19-nov-14	0
	12-ene-15	5.058.477
	Total	5.058.477

MANTOS: CAMPAÑA N°8		
Diámetro 117 [in]	Fecha Medición	Tonelaje Procesado [ton]
	12-ene-15	0
	03-feb-15	1.958.655
	Total	1.958.655

Tabla 3:Resumen Fechas de Medición y Tonelajes Procesados, Campaña N°8.

5.2 PROCEDIMIENTO DE ANÁLISISDELHISTORIAL DE DESGASTE

A continuación se expone el procedimiento para análisis del comportamiento de desgaste de los revestimientos del Chancador, el procedimiento para cóncavas y mantos es diferente, ya que los criterios de cambio para los revestimientos son distintos.

5.2.1 PROCEDIMIENTO PARA MANTOS

Tomando como partida un archivo CAD con el perfil de desgaste promedio de la superficie de los mantos y la línea base de los mismos, los pasos a seguir, son los siguientes:

1. Crear coordenadas radiales en mm, de la superficie y de la línea base de los mantos. Se deben generar 64 coordenadas de forma vertical a intervalos de 50 mm, completando un alto de 3150 mm.

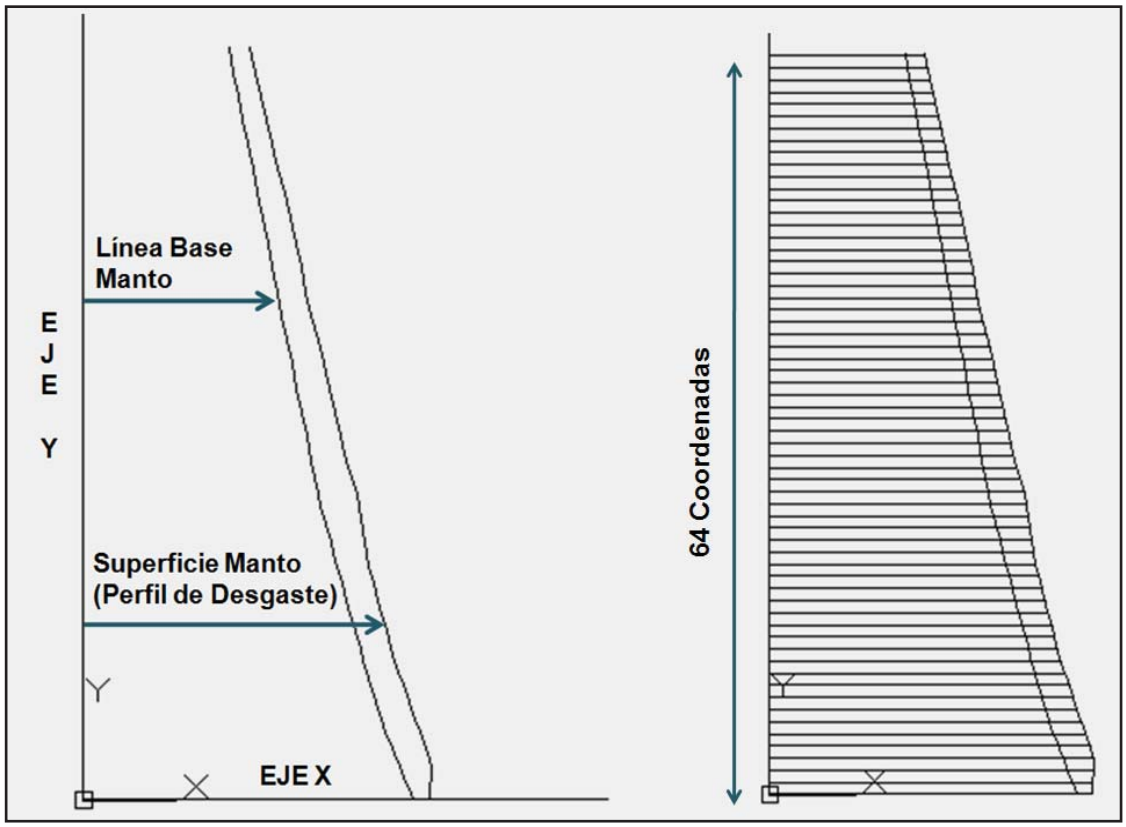


Fig. 14: Descripción modelo CAD, Mantos.

2. Obtención de espesores del manto. Esto se logra realizando la resta entre las coordenadas radiales de la superficie del manto (SUPMTO)y las coordenadas de la línea base del manto (BOLMTO).

$$\text{Espesor Manto [mm]} = \text{SUPMTO} - \text{BOLMTO}$$

3. División vertical (eje Y) para cada sección del manto. Se debe crear una tabla por sección del manto, con los espesores correspondientes a cada coordenada en cada medición realizada.
   A) Manto Inferior: Coordenadas radiales entre 0 y 1200 mm.
   B) Manto Intermedio: Coordenadas radiales entre 1250 y 2200 mm.
   C) Manto Superior: Coordenadas radiales entre 2250 y 3150 mm.
4. Cálculo del nivel de desgaste (%). Se analiza el porcentaje de desgaste que presenta la última medición realizada respecto a la primera medición (espesor sin desgaste).
5. Selección del punto con mayor nivel de desgaste por sección. Este punto es el crítico de la sección, por lo tanto, es el que determina la tendencia del comportamiento de desgaste del manto.

Los pasos 3,4 y 5 anteriormente descritos, se resumen en las figuras 15, 16 y 17:

SECCIÓN	Eje Y [mm]	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Nivel de Desgaste (%)
SUPERIOR	3150	76,3	66,2	63,7	16,5
	3100	77,8	67,2	64,7	16,9
	3050	79,4	68,3	65,7	17,2
	3000	80,9	69,3	66,7	17,5
	2950	82,6	70,4	67,8	18,0
	2900	84,6	71,9	69,2	18,2
	2850	86,7	73,6	70,8	18,3
	2800	88,7	75,1	72,3	18,5
	2750	90,2	76,4	73,5	18,5
	2700	90,7	77,4	74,5	17,9
	2650	93,3	78,6	75,7	18,9
	2600	98,9	80,2	77,2	21,9
	2550	103,6	81,7	78,6	24,1
	2500	107,1	83,2	80,1	25,2
	2450	110,6	84,7	81,5	26,3
	2400	113,9	86,3	83,1	27,1
	2350	117,2	87,8	84,5	27,9
	2300	120,4	89,3	86,0	28,6
	2250	123,7	90,9	87,5	29,3

Fig. 15: Procedimiento Análisis Manto Superior.

SECCIÓN	Eje Y [mm]	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Nivel de Desgaste (%)
INTERMEDIO	2200	123	98	92,1	25,1
	2150	124,1	101,1	95,0	23,5
	2100	125,1	104,1	97,8	21,8
	2050	126,1	105,1	98,7	21,7
	2000	127,1	106	99,6	21,6
	1950	128,2	106,6	100,2	21,9
	1900	129,4	107,2	100,7	22,2
	1850	130,9	108,3	101,8	22,3
	1800	132,5	109,3	102,7	22,5
	1750	134,1	110,4	103,7	22,7
	1700	135,4	111,4	104,7	22,7
	1650	136,4	112,4	105,6	22,6
	1600	137,7	113,2	106,4	22,8
	1550	139,3	113,8	106,9	23,2
	1500	141,1	114,3	107,4	23,9
	1450	143,2	114,8	107,9	24,7
	1400	145,2	114,6	107,7	25,8
	1350	147	113,7	106,8	27,3
	1300	148,8	113	106,2	28,7
	1250	144,1	111	104,3	27,6

Fig. 16: Procedimiento Análisis Manto Intermedio.

SECCIÓN	Eje Y [mm]	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Nivel de Desgaste (%)
INFERIOR	1200	140,9	104,5	97,9	30,5
	1150	138,7	102,8	96,3	30,6
	1100	135,6	100,7	94,3	30,4
	1050	132,5	98,3	92,1	30,5
	1000	129,6	94,2	88,2	31,9
	950	127,2	90	84,3	33,7
	900	124,4	85,8	80,4	35,4
	850	122,6	81,8	76,6	37,5
	800	122,4	78,7	73,7	39,8
	750	123,4	76	71,2	42,3
	700	125	73,9	69,2	44,6
	650	127,1	72,4	67,8	46,6
	600	128,6	72	67,4	47,6
	550	131	72,7	68,1	48,0
	500	134,1	74,4	69,7	48,0
	450	138,8	76,5	71,6	48,4
	400	144,1	80,3	75,2	47,8
	350	152	84,5	79,1	47,9
	300	157,6	91,4	85,6	45,7
	250	169,3	102	95,5	43,6
	200	156,6	113,7	106,5	32,0
	150	142,2	125,4	117,4	17,4
	100	133,9	130,4	122,1	8,8
	50	112,8	109,5	102,6	9,1
	0	89,4	86	80,5	9,9

Fig. 17: Procedimiento Análisis Manto Inferior.

5.2.2 PROCEDIMIENTO PARA CÓNCAVAS

Tomando como partida un archivo CAD con el perfil de desgaste promedio de la superficie de los mantos y la línea base de los mismos, los pasos a seguir, son los siguientes:

1. Crear coordenadas radiales en mm, de la superficie y de la línea base de los mantos. Se deben generar 64 coordenadas de forma vertical a intervalos de 50 mm, completando un alto de 3150 mm.

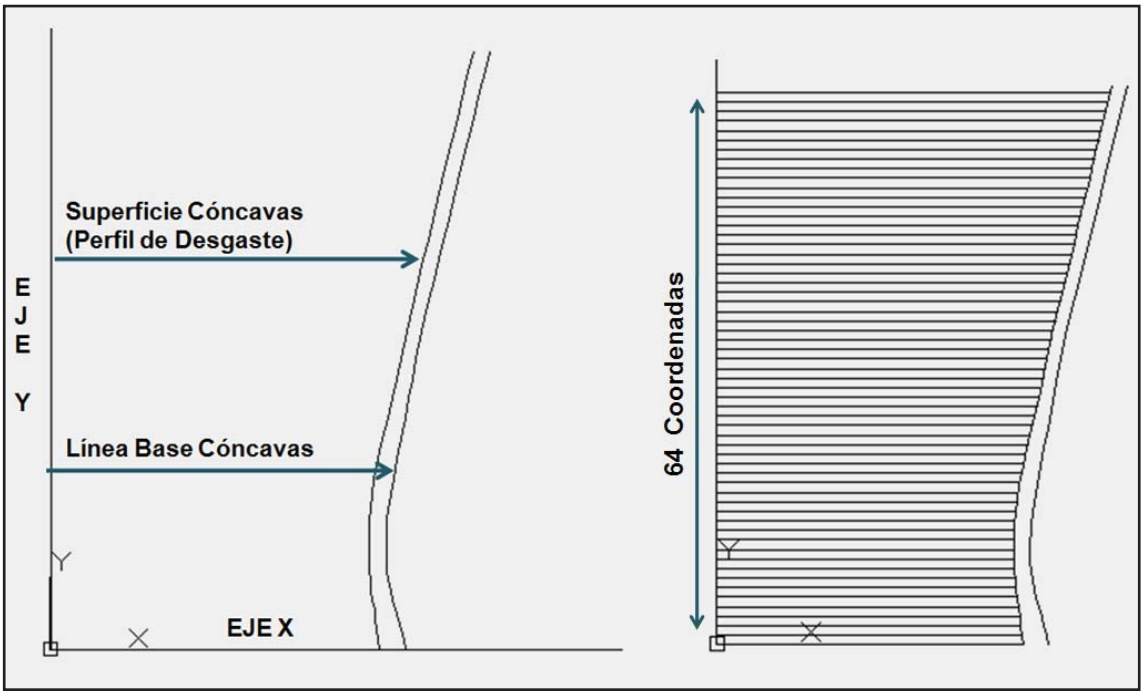


Fig. 18: Descripción modelo CAD, Cóncavas

2. Obtención de espesores de las cóncavas. Estos se consigue realizando la resta de las coordenadas del eje X de la superficie de las cóncavas (SUPCCV) y las coordenadas de la línea base de las cóncavas (BOLCCV).

$$\text{Espesor Cóncavas}[\text{mm}] = \text{SUPCCV} - \text{BOLCCV}$$

3. División vertical (eje Y) de las Cóncavas enLiners. Se debe crear una tabla por Liner, con los espesores correspondientes a cada coordenada en cada medición realizada.
   A) Liner 1: Coordenadas radiales entre 0 y 750 mm.
   B) Liner 2: Coordenadas radiales entre 800 y 1600mm.
   C) Liner 3: Coordenadas radiales entre 1650 y 2400mm.
   D) Liner 4: Coordenadas radiales entre 2450 y 3150 mm.
4. Selección y ubicación del punto con menor espesor de la última medición realizada.Este punto es el crítico de la sección, por lo tanto, es el que determina la tendencia del comportamiento por cada Liner.

Los pasos 3 y 4anteriormente descritos, se resumen en las figuras 19 y 20:

Sección	Eje Y [mm]	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5	Medición 6
Liner 4	3150	88,2	86,2	84,2	86,7	83,7	83
	3100	87,7	85,7	83,7	85,1	82,1	80,9
	3050	87,2	85,2	83,2	83,6	80,6	78,8
	3000	86,7	84,7	82,7	82,1	79,1	76,8
	2950	86,2	84,2	82,2	80,5	77,5	74,7
	2900	85,6	83,3	81,6	78,9	75,9	72,9
	2850	85,2	82,3	81,2	77,5	74,5	71,5
	2800	84,6	81,6	80,3	76,3	72,9	69,5
	2750	84,1	81,1	79,2	75,2	71,3	67,4
	2700	84	80,6	78,6	74,6	69,8	65,8
	2650	84	80,1	78,1	74,1	68,3	64,3
	2600	83,6	80	78	73,6	67,6	63,6
	2550	83,1	80	78	73,1	67,1	63,1
	2500	83	80	77,5	72,5	66,5	62,1
	2450	83	80	77	72	66	61

Sección	Eje Y [mm]	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5	Medición 6
Liner 3	2400	82,7	80	77,3	72,3	66,3	61,6
	2350	82,4	80	77,7	72,7	66,7	62,3
	2300	82	80	78	73	67	63
	2250	81,5	79,5	77,5	73	67,5	63,5
	2200	81	78,9	76,9	72,9	67,9	64
	2150	81	78,4	76,4	71,8	67,4	64
	2100	81	78	76	71	67	63,9
	2050	81	78	75,4	70,4	66,4	62,8
	2000	81	78	74,9	69,9	65,8	61,8
	1950	81	78	74,4	69,4	64,8	60,8
	1900	81,1	78	74	68,8	63,8	59,7
	1850	81,7	78	74	68,4	63,4	58,7
	1800	82	78	73,8	67,8	62,6	57,6
	1750	82	78	73,3	67,3	61,7	56,7
	1700	81,8	77,8	72,8	66,6	60,6	55,6
	1650	81,3	77,3	72,3	65,6	59,6	54,6

Fig. 19: Procedimiento Análisis Cóncavas (Liner 3 y 4).

Sección	Eje Y [mm]	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5	Medición 6
Liner 2	1600	81,4	77,4	72,3	65,2	59,1	54,1
	1550	82,5	78,5	73,1	65,8	59,4	54,4
	1500	83,4	79,4	73,8	66,2	59,6	54,6
	1450	84,5	80,5	74,6	66,8	59,9	54,9
	1400	86	81,8	75,8	67,5	60,2	55
	1350	88	83,3	77,3	68,5	60,7	55
	1300	90,7	85,4	78,9	69,6	61	55
	1250	93,7	88	80,4	70,6	61	55
	1200	96,5	90,5	82,2	71,6	61,6	55,3
	1150	99	93	84,2	72,6	62,6	55,8
	1100	101,6	95,6	86,3	74	63,3	56,3
	1050	104,1	98,1	88,3	75,5	63,8	56,8
	1000	107	100,7	90,3	77	64,7	57,7
	950	110	103,2	92,3	78,5	65,7	58,7
	900	111,7	104,7	93,3	79	66	58,3
	850	112,7	105,7	93,8	79	66	57,3
	800	112,6	105,6	93,1	77,8	64,8	55,8

Sección	Eje Y [mm]	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5	Medición 6
Liner 1	750	111,9	104,9	91,7	76,1	63,1	54,1
	700	111,1	104,1	90,3	74,4	61,4	52,4
	650	111	103,3	88,5	72,5	59,5	50,5
	600	111,7	102,2	87,2	69,7	56,7	46,9
	550	112,8	102,8	86,3	67,5	53,7	44,5
	500	113,8	103,8	86	65,5	50,7	41,7
	450	114	104	85,2	63,5	47,7	42,2
	400	114,8	105,5	86,5	63,8	47	45,3
	350	117,4	108,4	89,4	66,4	48,6	44,2
	300	121,2	111,4	93,2	71	52,2	41,2
	250	125,3	115,3	97,3	76,1	57,9	46,1
	200	130,3	122	103,2	83	65,9	54,7
	150	137,2	129,2	111,1	89,3	75	64
	100	143,6	138,4	121,4	98,4	85,4	75,3
	50	146,9	144,9	129,8	104,9	92,8	83,8
	0	147	145	130	105	93	84

Fig. 20: Procedimiento Análisis Cóncavas (Liner 1 y 2).

5.3 ANÁLISIS DE LA FUNCIÓN MATEMÁTICA PARA CÓNCAVAS

Vista la forma de analizar el historial de desgaste, a continuación se expone una tabla para cada Liner, con la información de cada medición: fechas de medición, tonelajes procesados, pérdidas de espesor por periodo, tasas de desgaste y espesores controlados.

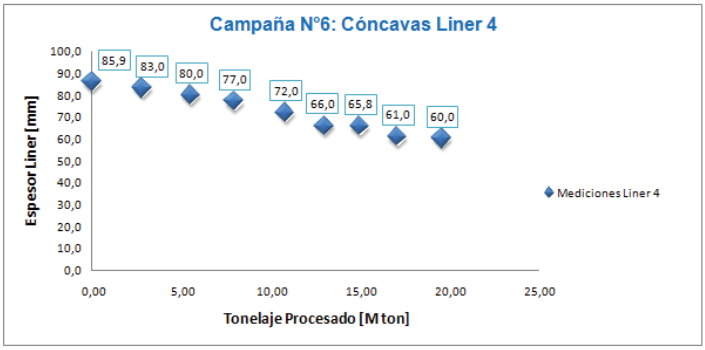
Con estos datos, se realiza un diagrama de dispersión, que sirve como inicio para la generación y selección de las distintas funciones de ajuste que proporcionan los modelos matemáticos. Junto a estos diagramas, se adjunta una tabla con la función matemática y su correspondiente coeficiente de determinación (R^2).

LINER 4:

1. Campaña N°6

CÓNCAVAS LINER 4 / CAMPAÑA N°6									
Fecha Medición	Dias		Tonelaje			Espesor (mm)	Pérdida de Espesor	Tasa de Desgaste	
	Comprendidos	Acumulados	Ton	Mton	Acumulado			mm/Semana	mm/ M ton
09-mar-13	0	0	0	0,00	0,00	85,9	-	-	-
09-abr-13	31	31	2.816.397	2,82	2,82	83,0	2,9	0,65	1,03
08-may-13	29	60	2.732.876	2,73	5,55	80,0	3,0	0,72	1,10
04-jun-13	27	87	2.398.540	2,40	7,95	77,0	3,0	0,78	1,25
03-jul-13	29	116	2.869.952	2,87	10,82	72,0	5,0	1,21	1,74
24-jul-13	21	137	2.197.675	2,20	13,02	66,0	6,0	2,00	2,73
13-ago-13	20	157	1.991.585	1,99	15,01	65,8	0,2	0,07	0,10
04-sep-13	22	179	2.095.701	2,10	17,10	61,0	4,8	1,53	2,29
30-sep-13	26	205	2.478.913	2,48	19,58	60,0	1,0	0,27	0,40

Tabla 4: Resultados Campaña N°6, Liner 4.



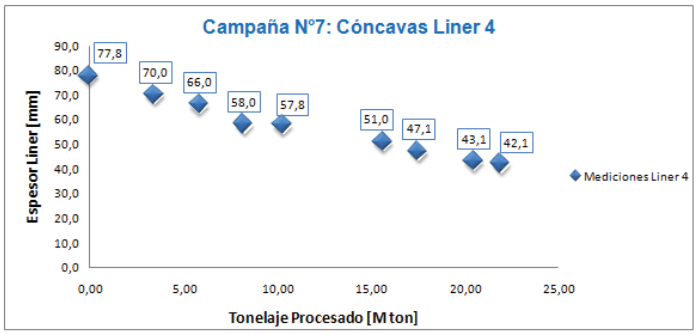
Modelo	Función	R^2
Lineal	y = - 1,438x+86,97	0,982
Exponencial	$y = 87{,}91e^{-0{,}02x}$	0,977
Polinómica Orden 2	$y = -0{,}004x^2-1{,}351x+86{,}72$	0,982

Fig. 21: Gráfico Campaña N°6, Liner 4.

2. Campaña N°7

CÓNCAVAS LINER 4 / CAMPAÑA N°7									
Fecha Medición	Dias		Tonelaje			Espesor (mm)	Pérdida de Espesor	Tasa de Desgaste	
	Comprendidos	Acumulados	Ton	Mton	Acumulado			mm/Semana	mm/ M ton
01-oct-13	0	0	0	0,00	0,00	77,8	-	-	-
05-nov-13	35	35	3.506.508	3,51	3,51	70,0	7,8	1,56	2,22
27-nov-13	22	57	2.385.333	2,39	5,89	66,0	4,0	1,27	1,68
18-dic-13	21	78	2.363.862	2,36	8,26	58,0	8,0	2,67	3,38
08-ene-14	21	99	2.063.192	2,06	10,32	57,8	0,2	0,07	0,10
05-mar-14	56	155	5.375.196	5,38	15,69	51,0	6,8	0,85	1,27
25-mar-14	20	175	1.882.143	1,88	17,58	47,1	3,9	1,37	2,07
22-abr-14	28	203	2.945.041	2,95	20,52	43,1	4,0	1,00	1,36
06-may-14	14	217	1.448.978	1,45	21,97	42,1	1,0	0,50	0,69
01-jun-14	26	243	2.699.025	2,70	24,67	-	**SIN MEDICIÓN**	-	-

Tabla 5: Resultados Campaña N°7, Liner 4.



Modelo	Función	R^2
Lineal	y = -1,576x+75,15	0,976
Exponencial	$y = 76{,}79e^{-0{,}02}$	0,989
Polinómica Orden 2	$y = 0{,}031x^2-2{,}289x+77{,}54$	0,99

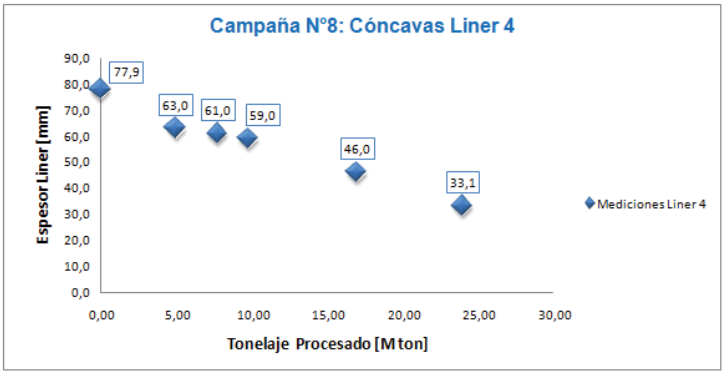
Fig. 22: Gráfico Campaña N°7, Liner 4.

Observación: La información de espesores en la fecha 1-junio-2014, no está disponible, ya que no se realizó la medición correspondiente.

3. Campaña N°8

CÓNCAVAS LINER 4 / CAMPAÑA N°8									
Fecha Medición	Dias		Tonelaje			Espesor [mm]	Pérdida de Espesor [mm]	Tasa de Desgaste	
	Comprendidos	Acumulados	Ton	Mton	Acumulado			mm/Semana	mm/ M ton
02-jun-14	0	0	0	0,00	0,00	77,9	-	-	-
22-jul-14	50	50	4.961.498	4,96	4,96	63,0	14,9	2,09	3,00
19-ago-14	28	78	2.783.677	2,78	7,75	61,0	2,0	0,50	0,72
09-sep-14	21	99	2.045.035	2,05	9,79	59,0	2,0	0,67	0,98
19-nov-14	71	170	7.190.721	7,19	16,98	46,0	13,0	1,28	1,81
03-feb-15	76	246	7.017.132	7,02	24,00	33,1	12,9	1,19	1,84

Tabla 6: Resultados Campaña N°8, Liner 4.



Modelo	Función	R^2
Lineal	y = -1,765x+75,34	0,982
Exponencial	$y = 78{,}57e^{-0{,}03x}$	0,979
Polinómica Orden 2	$y = 0{,}01x^2-2{,}032x+76{,}28$	0,984

Fig. 23: Gráfico Campaña N°8, Liner 4.

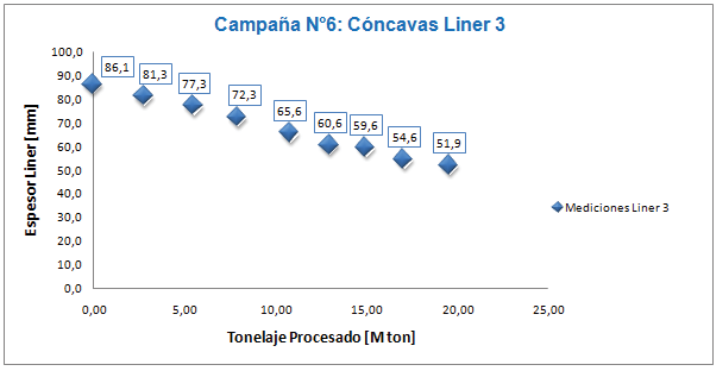
Observación: La información de espesores correspondiente a los meses octubre 2015, diciembre 2015 y enero 2016, no está disponible, ya que no se realizó la medición.

LINER 3:

1. **Campaña N°6**

CÓNCAVAS LINER 3 / CAMPAÑA N°6									
Fecha Medición	Dias		Tonelaje			Espesor (mm)	Perdida de Espesor	Tasa de Desgaste	
	Comprendidos	Acumulados	Ton	Mton	Acumulado			mm/Seman	mm/ M ton
09-mar-13	0	0	0	0,00	0,00	86,1	-	-	-
09-abr-13	31	31	2.816.397	2,82	2,82	81,3	4,8	1,08	1,70
08-may-13	29	60	2.732.876	2,73	5,55	77,3	4,0	0,97	1,46
04-jun-13	27	87	2.398.540	2,40	7,95	72,3	5,0	1,30	2,08
03-jul-13	29	116	2.869.952	2,87	10,82	65,6	6,7	1,62	2,33
24-jul-13	21	137	2.197.675	2,20	13,02	60,6	5,0	1,67	2,28
13-ago-13	20	157	1.991.585	1,99	15,01	59,6	1,0	0,35	0,50
04-sep-13	22	179	2.095.701	2,10	17,10	54,6	5,0	1,59	2,39
30-sep-13	26	205	2.478.913	2,48	19,58	51,9	2,7	0,73	1,09

Tabla 7: Resultados Campaña N°6, Liner 3.



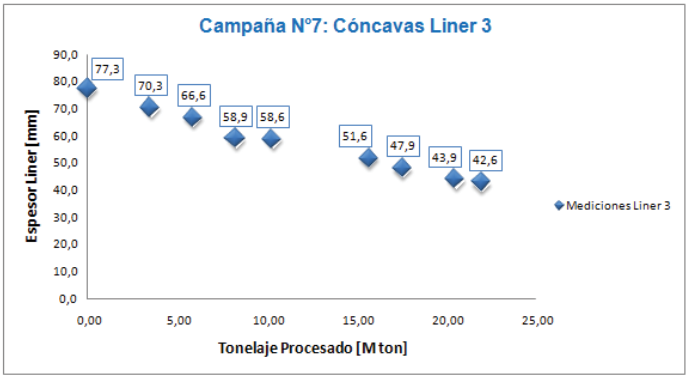
Modelo	Función	R^2
Lineal	y = - 1,822x+86,29	0,992
Exponencial	$y = 87{,}85e^{-0{,}02x}$	0,991
Polinómica Orden 2	$y = 0{,}009x^2-2{,}004x+86{,}81$	0,993

Fig. 24:Gráfico Campaña N°6, Liner 3.

2. Campaña N°7

CÓNCAVAS LINER 3 / CAMPAÑA N°7									
Fecha Medición	Dias		Tonelaje			Espesor (mm)	Perdida de Espesor	Tasa de Desgaste	
	Comprendidos	Acumulados	Ton	Mton	Acumulado			mm/Semana	mm/ M ton
01-oct-13	0	0	0	0,00	0,00	77,3	-	-	-
05-nov-13	35	35	3.506.508	3,51	3,51	70,3	7,0	1,40	2,00
27-nov-13	22	57	2.385.333	2,39	5,89	66,6	3,7	1,18	1,55
18-dic-13	21	78	2.363.862	2,36	8,26	58,9	7,7	2,57	3,26
08-ene-14	21	99	2.063.192	2,06	10,32	58,6	0,3	0,10	0,15
05-mar-14	56	155	5.375.196	5,38	15,69	51,6	7,0	0,88	1,30
25-mar-14	20	175	1.882.143	1,88	17,58	47,9	3,7	1,30	1,97
22-abr-14	28	203	2.945.041	2,95	20,52	43,9	4,0	1,00	1,36
06-may-14	14	217	1.448.978	1,45	21,97	42,6	1,3	0,65	0,90
01-jun-14	26	243	2.699.025	2,70	24,67	-	**SIN MEDICIÓN**	-	-

Tabla 8: Resultados Campaña N°7, Liner 3.



Modelo	Función	R^2
Lineal	y = -1,543x+75,31	0,982
Exponencial	$y = 76,93e^{-0,02}$	0,991
Polinómica Orden 2	$y = 0,024x^2-2,102x+77,18$	0,991

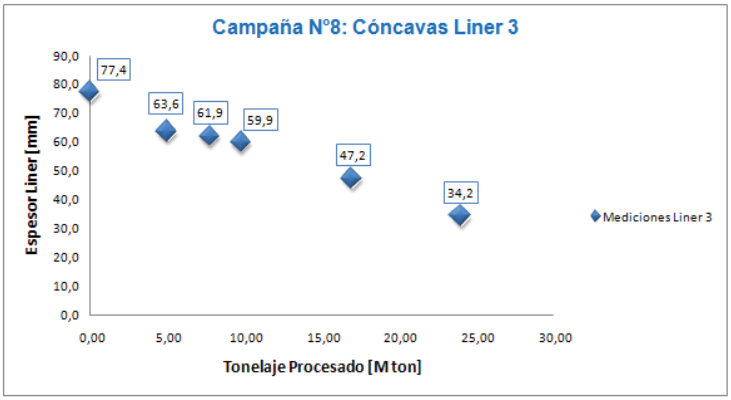
Fig. 25: Gráfico Campaña N°7, Liner 3.

Observación: La información de espesores en la fecha 1-junio-2014, no está disponible, ya que no se realizó la medición correspondiente.

3. Campaña N°8

CÓNCAVAS LINER 3 / CAMPAÑA N°8									
Fecha Medición	Dias		Tonelaje			Espesor (mm)	Pérdida de Espesor [mm]	Tasa de Desgaste	
	Comprendidos	Acumulados	Ton	Mton	Acumulado			mm/Semana	mm/ M ton
02-jun-14	0	0	0	0,00	0,00	77,4	-	-	-
22-jul-14	50	50	4.961.498	4,96	4,96	63,6	13,8	1,93	2,78
19-ago-14	28	78	2.783.677	2,78	7,75	61,9	1,7	0,43	0,61
09-sep-14	21	99	2.045.035	2,05	9,79	59,9	2,0	0,67	0,98
19-nov-14	71	170	7.190.721	7,19	16,98	47,2	12,7	1,25	1,77
03-feb-15	76	246	7.017.132	7,02	24,00	34,2	13,0	1,20	1,85

Tabla 9: Resultados Campaña N°8, Liner 3.



Modelo	Función	R^2
Lineal	y = -1,709x+75,44	0,984
Exponencial	$y = 78{,}51e^{-0{,}03x}$	0,976
Polinómica Orden 2	$y = 0{,}005x^2-1{,}832x+75{,}87$	0,984

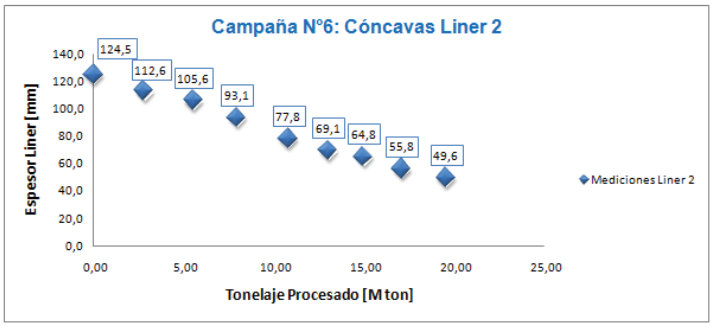
Fig. 26: Gráfico Campaña N°8, Liner 3.

LINER 2:

1. Campaña N°6

CÓNCAVAS LINER 2 / CAMPAÑA N°6									
Fecha Medición	Dias		Tonelaje			Espesor (mm)	Perdida de Espesor	Tasa de Desgaste	
	Comprendidos	Acumulados	Ton	Mton	Acumulado			mm/Semana	mm/ M ton
09-mar-13	0	0	0	0,00	0,00	124,5	124,5	-	-
09-abr-13	31	31	2.816.397	2,82	2,82	112,6	112,6	25,43	39,98
08-may-13	29	60	2.732.876	2,73	5,55	105,6	105,6	25,49	38,64
04-jun-13	27	87	2.398.540	2,40	7,95	93,1	93,1	24,14	38,82
03-jul-13	29	116	2.869.952	2,87	10,82	77,8	77,8	18,78	27,11
24-jul-13	21	137	2.197.675	2,20	13,02	69,1	69,1	23,03	31,44
13-ago-13	20	157	1.991.585	1,99	15,01	64,8	64,8	22,68	32,54
04-sep-13	22	179	2.095.701	2,10	17,10	55,8	55,8	17,75	26,63
30-sep-13	26	205	2.478.913	2,48	19,58	49,6	6,2	1,67	2,50

Tabla 10:Resultados Campaña N°6, Liner 2.



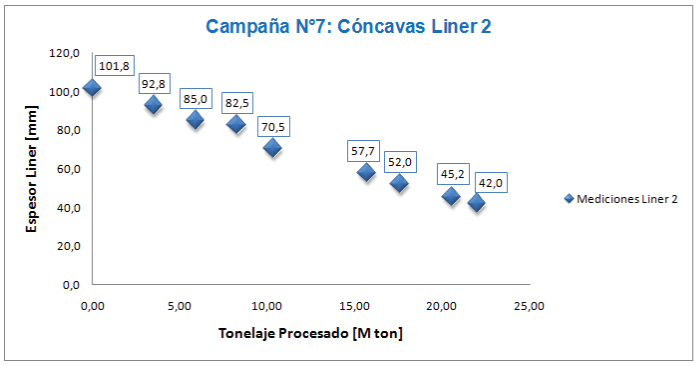
Modelo	Función	R^2
Lineal	y = -3,975x+124,2	0,991
Exponencial	$y = 131e^{-0,04x}$	0,988
Polinómica Orden 2	$y = 0,029x^2-4,557x+125,9$	0,993

Fig. 27:Gráfico Campaña N°6, Liner 2.

2. Campaña N°7

CÓNCAVAS LINER 2 / CAMPAÑA N°7									
Fecha Medición	Dias		Tonelaje			Espesor (mm)	Perdida de Espesor	Tasa de Desgaste	
	Comprendidos	Acumulados	Ton	Mton	Acumulado			mm/Semana	mm/ M ton
01-oct-13	0	0	0	0,00	0,00	101,8	-	-	-
05-nov-13	35	35	3.506.508	3,51	3,51	92,8	9,0	1,80	2,57
27-nov-13	22	57	2.385.333	2,39	5,89	85,0	7,8	2,48	3,27
18-dic-13	21	78	2.363.862	2,36	8,26	82,5	2,5	0,83	1,06
08-ene-14	21	99	2.063.192	2,06	10,32	70,5	12,0	4,00	5,82
05-mar-14	56	155	5.375.196	5,38	15,69	57,7	12,8	1,60	2,38
25-mar-14	20	175	1.882.143	1,88	17,58	52,0	5,7	2,00	3,03
22-abr-14	28	203	2.945.041	2,95	20,52	45,2	6,8	1,70	2,31
06-may-14	14	217	1.448.978	1,45	21,97	42,0	3,2	1,60	2,21
01-jun-14	26	243	2.699.025	2,70	24,67	-	**SIN MEDICIÓN**	-	-

Tabla 11:Resultados Campaña N°7, Liner 2.



Modelo	Función	R^2
Lineal	y = -2,785x+102	0,993
Exponencial	$y = 107,7e^{-0,04x}$	0,987
Polinómica Orden 2	$y = 0,006x^2-2,937+102,5$	0,994

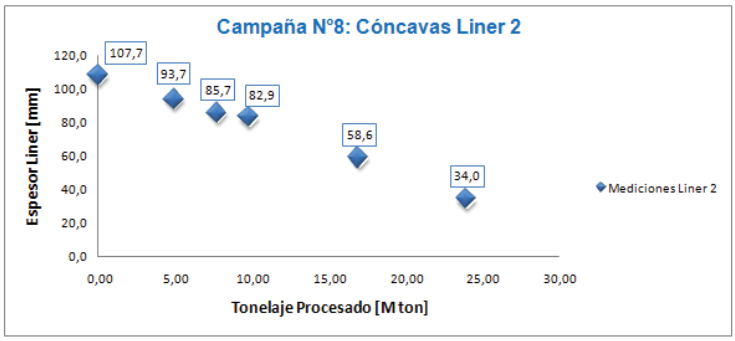
Fig. 28: Gráfico Campaña N°7, Liner 2.

Observación: La información de espesores en la fecha 1-junio-2014, no está disponible, ya que no se realizó la medición correspondiente.

3. Campaña N°8

CÓNCAVAS LINER 2 / CAMPAÑA N°8									
Fecha Medición	Dias		Tonelaje			Espesor (mm)	Pérdida de Espesor [mm]	Tasa de Desgaste	
	Comprendidos	Acumulados	Ton	Mton	Acumulado			mm/Semana	mm/ M ton
02-jun-14	0	0	0	0,00	0,00	107,7	-	-	-
22-jul-14	50	50	4.961.498	4,96	4,96	93,7	14,0	1,96	2,82
19-ago-14	28	78	2.783.677	2,78	7,75	85,7	8,0	2,00	2,87
09-sep-14	21	99	2.045.035	2,05	9,79	82,9	2,8	0,93	1,37
19-nov-14	71	170	7.190.721	7,19	16,98	58,6	24,3	2,40	3,38
03-feb-15	76	246	7.017.132	7,02	24,00	34,0	24,6	2,27	3,51

Tabla 12: Resultados Campaña N°8, Liner 2.



Modelo	Función	R^2
Lineal	y = -3,062x+109,4	0,994
Exponencial	$y = 119,5e^{-0,04x}$	0,949
Polinómica Orden 2	$y = 0,026x^2-2,402x+107,1$	0,998

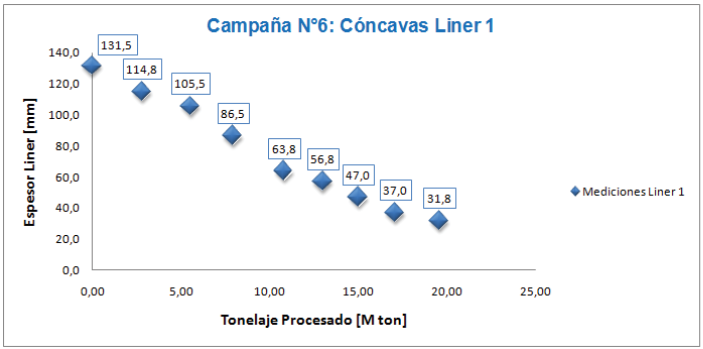
Fig. 29: Gráfico Campaña N°8, Liner 2.

LINER 1:

1. Campaña N°6

CÓNCAVAS LINER 1 / CAMPAÑA N°6									
Fecha Medición	Dias		Tonelaje			Espesor (mm)	Perdida de Espesor	Tasa de Desgaste	
	Comprendidos	Acumulados	Ton	Mton	Acumulado			mm/Semana	mm/ M ton
09-mar-13	0	0	0	0,00	0,00	131,5	-	-	-
09-abr-13	31	31	2.816.397	2,82	2,82	114,8	16,7	3,77	5,93
08-may-13	29	60	2.732.876	2,73	5,55	105,5	9,3	2,24	3,40
04-jun-13	27	87	2.398.540	2,40	7,95	86,5	19,0	4,93	7,92
03-jul-13	29	116	2.869.952	2,87	10,82	63,8	22,7	5,48	7,91
24-jul-13	21	137	2.197.675	2,20	13,02	56,8	7,0	2,33	3,19
13-ago-13	20	157	1.991.585	1,99	15,01	47,0	9,8	3,43	4,92
04-sep-13	22	179	2.095.701	2,10	17,10	37,0	10,0	3,18	4,77
30-sep-13	26	205	2.478.913	2,48	19,58	31,8	5,2	1,40	2,10

Tabla 13: Resultados Campaña N°6, Liner 1.



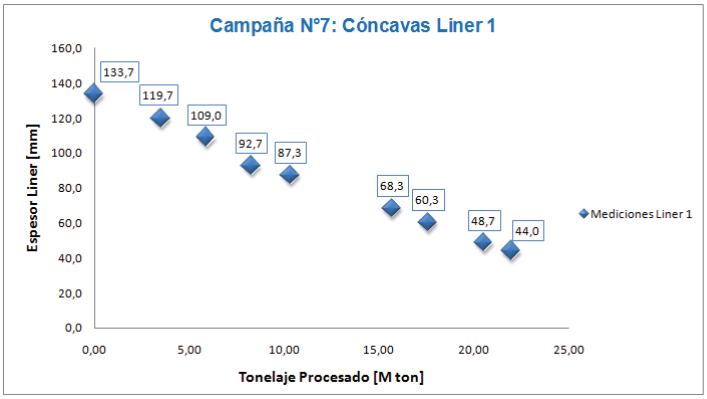
Modelo	Función	R^2
Lineal	y = - 5,387x+129,9	0,984
Exponencial	$y = 145,9e^{-0,07x}$	0,982
Polinómica Orden 2	$y = 0,074x^2-6,85x+134,1$	0,99

Fig. 30: Gráfico Campaña N°6, Liner 1.

2. Campaña N°7

CÓNCAVAS LINER 1 / CAMPAÑA N°7									
Fecha Medición	Dias		Tonelaje			Espesor (mm)	Perdida de Espesor	Tasa de Desgaste	
	Comprendidos	Acumulados	Ton	Mton	Acumulado			mm/Semana	mm/ M ton
01-oct-13	0	0	0	0,00	0,00	133,7	-	-	-
05-nov-13	35	35	3.506.508	3,51	3,51	119,7	14,0	2,80	3,99
27-nov-13	22	57	2.385.333	2,39	5,89	109,0	10,7	3,40	4,49
18-dic-13	21	78	2.363.862	2,36	8,26	92,7	16,3	5,43	6,90
08-ene-14	21	99	2.063.192	2,06	10,32	87,3	5,4	1,80	2,62
05-mar-14	56	155	5.375.196	5,38	15,69	68,3	19,0	2,37	3,53
25-mar-14	20	175	1.882.143	1,88	17,58	60,3	8,0	2,80	4,25
22-abr-14	28	203	2.945.041	2,95	20,52	48,7	11,6	2,90	3,94
06-may-14	14	217	1.448.978	1,45	21,97	44,0	4,7	2,35	3,24
01-jun-14	26	243	2.699.025	2,70	24,67	-	**SIN MEDICIÓN**	-	-

Tabla 14: Resultados Campaña N°7, Liner 1.



Modelo	Función	R^2
Lineal	y = -4,075x+131,8	0,993
Exponencial	$y = 142{,}2e^{-0{,}05x}$	0,987
Polinómica Orden 2	$y = 0{,}035x^2-4{,}89x+134{,}5$	0,996

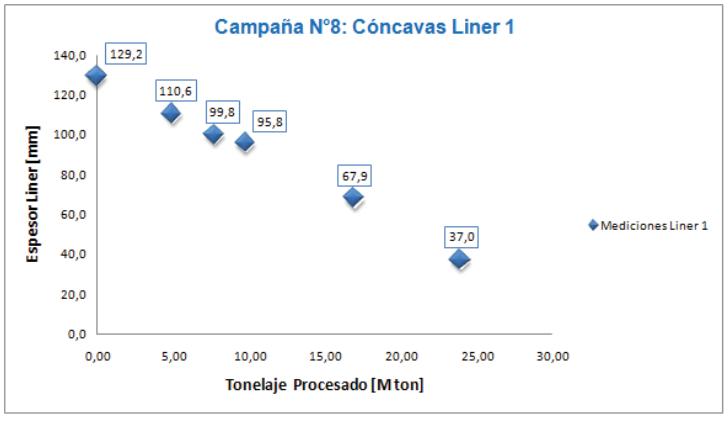
Fig. 31: Gráfico Campaña N°7, Liner 1

Observación: La información de espesores en la fecha 1-junio-2014, no está disponible, ya que no se realizó la medición correspondiente.

3. Campaña N°8

CÓNCAVAS LINER 1 / CAMPAÑA N°8									
Fecha Medición	Dias		Tonelaje			Espesor (mm)	Pérdida de Espesor [mm]	Tasa de Desgaste	
	Comprendidos	Acumulados	Ton	Mton	Acumulado			mm/Semana	mm/ M ton
02-jun-14	0	0	0	0,00	0,00	129,2	-	-	-
22-jul-14	50	50	4.961.498	4,96	4,96	110,6	18,6	2,60	3,75
19-ago-14	28	78	2.783.677	2,78	7,75	99,8	10,8	2,70	3,88
09-sep-14	21	99	2.045.035	2,05	9,79	95,8	4,0	1,33	1,96
19-nov-14	71	170	7.190.721	7,19	16,98	67,9	27,9	2,75	3,88
03-feb-15	76	246	7.017.132	7,02	24,00	37,0	30,9	2,85	4,40

Tabla 15: Resultados Campaña N°8, Liner 1.



Modelo	Función	R^2
Lineal	y = -3,793x+130,1	0,996
Exponencial	$y = 143{,}6e^{-0{,}05x}$	0,949
Polinómica Orden 2	$y = -0{,}022x^2-3{,}251x+128{,}2$	0,998

Fig. 32: Gráfico Campaña N°8, Liner 1.

La selección de la función matemática que mejor se ajusta al comportamiento de cada uno de los Liners de las Cóncavas, se basa en el valor del coeficiente de correlación (R^2).El valor de R^2 en el caso del modelo Polinómico de Orden 2 es mayor a los coeficientes de correlación de los modelos lineal y exponencial. Además el R^2 de la función Polinómica Orden 2 es el más cercano a 1 en todos los casos anteriores, esto indica un grado de correlación mayor que los otros dos modelos estudiados.

Dicho esto, se concluye que la función matemática que mejor se ajusta al comportamiento de cada uno de los Liners de las Cóncavas es la función Polinómica de Orden 2.

5.4 ANÁLISIS DE LA FUNCIÓN MATEMÁTICA PARA MANTOS

Dada la forma de analizar el historial de desgaste, a continuación se expone una tabla para cada sección del manto, con la información de cada medición: fechas de medición, tonelajes procesados, pérdidas de espesor por periodo, tasas de desgaste y espesores controlados.

Con estos datos, se realiza un diagrama de dispersión, que sirve como inicio para la generación y selección de las distintas funciones de ajuste que proporcionan los modelos matemáticos. Junto a estos diagramas, se adjunta una tabla con la función matemática y su correspondiente coeficiente de determinación (R^2).

Debido a la duración de una campaña de Mantos (alrededor de 3 meses), es que se cuenta con una baja cantidad de mediciones realizadas. Por esta razón, se decide realizar la selección de la función matemática que mejor se ajusta al comportamiento de desgaste con un mínimo de 4 mediciones, ya que representa un comportamiento más cercano a la realidad.

En la tabla 16, se indican la cantidad de mediciones realizadas durante las campañas N°6, N°7 y N°8, para cada diámetro de mantos instalados.

Cantidad de Mediciones			
Diámetro Manto [in]	Campaña N°6	Campaña N°7	Campaña N°8
110	3	**4**	3
113	**4**	3	3
115	**4**	**4**	2
117	-	2	2

Tabla 16: Cantidad de mediciones realizadas a Mantos.

De acuerdo a la tabla 16, las mediciones seleccionadas para estudiar el comportamiento de desgaste son las siguientes:

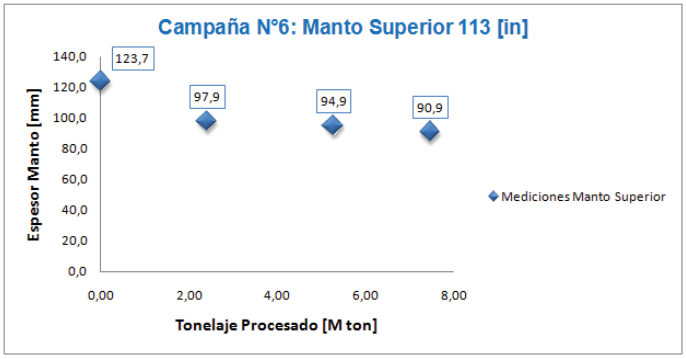
- Campaña N°6 : Mantos 113 y 115 in.
- Campaña N°7: Mantos 110 y 115 in.

1. Campaña N°6: Diámetro Manto 113 in.

MANTO SUPERIOR

MANTO SUPERIOR 113 [IN] / CAMPAÑA N°6									
Fecha Medición	Dias		Tonelaje			Espesor (mm)	Pérdida de Espesor	Tasa de Desgaste	
	Comprendidos	Acumulados	Ton	Mton	Acumulad			mm/Sema	mm/ M ton
08-may-13	0	0	0	0,00	0,00	123,7	-	-	-
04-jun-13	27	27	2.398.540	2,40	2,40	97,9	25,8	6,69	10,76
03-jul-13	29	56	2.869.952	2,87	5,27	94,9	3,0	0,72	1,05
24-jul-13	21	77	2.197.675	2,20	7,47	90,9	4,0	1,33	1,82

Tabla 17: Resultados Campaña N°6, Manto Superior 113 in.



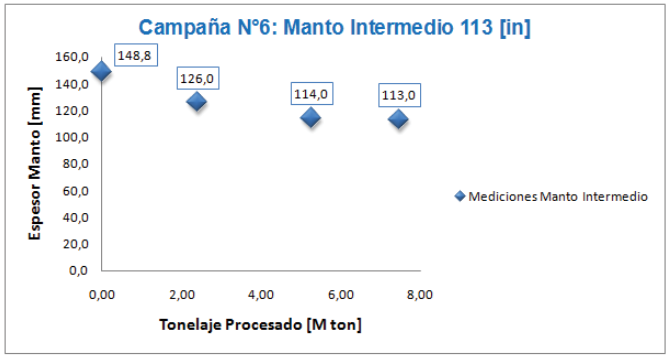
Modelo	Función	R^2
Lineal	y = -3,995x+116,9	0,772
Exponencial	$y = 116,5\ e^{-0,03x}$	0,794
Polinómica Orden 2	$y = 0,901x^2-10,71x+122,2$	0,945

Fig. 33: Gráfico Campaña N°6, Manto Superior 113 in.

MANTO INTERMEDIO

MANTO INTERMEDIO 113 [IN] / CAMPAÑA N°6									
Fecha Medición	Dias		Tonelaje			Espesor (mm)	Pérdida de Espesor	Tasa de Desgaste	
	Comprendidos	Acumulados	Ton	Mton	Acumulad			mm/Sema	mm/ M ton
08-may-13	0	0	0	0,00	0,00	148,8	-	-	-
04-jun-13	27	27	2.398.540	2,40	2,40	126,0	22,8	5,91	9,51
03-jul-13	29	56	2.869.952	2,87	5,27	114,0	12,0	2,90	4,18
24-jul-13	21	77	2.197.675	2,20	7,47	113,0	1,0	0,33	0,46

Tabla 18: Resultados Campaña N°6, Manto Intermedio 113 in.



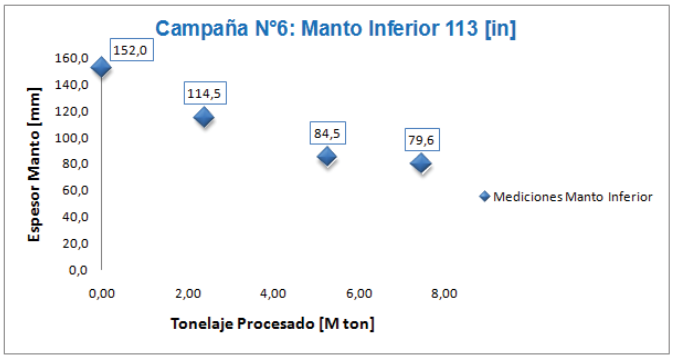
Modelo	Función	R^2
Lineal	y = -4,748x+143,4	0,867
Exponencial	$y = 143,3\ e^{-0,03x}$	0,884
Polinómica Orden 2	$y = 0,88x^2-11,31x+148,6$	0,999

Fig. 34: Gráfico Campaña N°6, Manto Intermedio 113 in.

MANTO INFERIOR

MANTO INFERIOR 113 [IN] / CAMPAÑA N°6									
Fecha Medición	Dias		Tonelaje			Espesor (mm)	Pérdida de Espesor	Tasa de Desgaste	
	Comprendidos	Acumulados	Ton	Mton	Acumulad			mm/Sema	mm/ M ton
08-may-13	0	0	0	0,00	0,00	152,0	-	-	-
04-jun-13	27	27	2.398.540	2,40	2,40	114,5	37,5	9,72	15,63
03-jul-13	29	56	2.869.952	2,87	5,27	84,5	30,0	7,24	10,45
24-jul-13	21	77	2.197.675	2,20	7,47	79,6	4,9	1,63	2,23

Tabla 19: Resultados Campaña N°6, Manto Inferior 113 in.



Modelo	Función	R^2
Lineal	y = -9,842x+144,8	0,929
Exponencial	$y = 145,9\ e^{-0,08x}$	0,955
Polinómica Orden 2	$y = 1,285x^2-19,42+152,4$	0,998

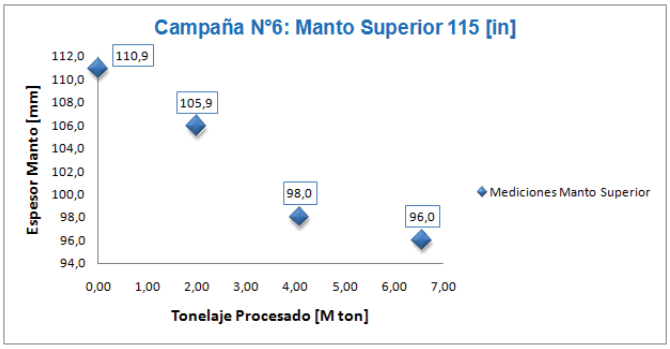
Fig. 35: Gráfico Campaña N°6, Manto Inferior 113 in.

2. Campaña N°6: Diámetro Manto 115 in.

MANTO SUPERIOR

MANTO SUPERIOR 115 [IN] / CAMPAÑA N°6									
Fecha Medición	Dias		Tonelaje			Espesor [mm]	Pérdida de Espesor [mm]	Tasa de Desgaste	
	Comprendidos	Acumulados	Ton	Mton	Acumulado			mm/Semana	mm/ M ton
24-jul-13	0	0	0	0,00	0,00	110,9	-	-	-
13-ago-13	20	20	1.991.585	1,99	1,99	105,9	5,0	1,75	2,51
04-sep-13	22	42	2.095.701	2,10	4,09	98,0	7,9	2,51	3,77
30-sep-13	26	68	2.478.913	2,48	6,57	96,0	2,0	0,54	0,81

Tabla 20: Resultados Campaña N°6, Manto Superior 115 in.



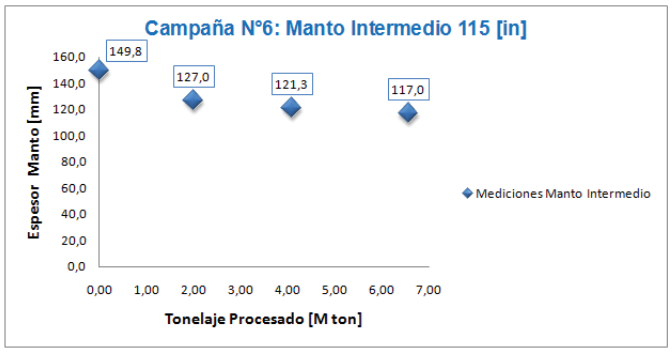
Modelo	Función	R^2
Lineal	y = -2,386x+110,2	0,938
Exponencial	$y = 110,3\ e^{-0,02x}$	0,941
Polinómica Orden 2	$y = 0,231x^2-3,917x+111,4$	0,973

Fig. 36: Gráfico Campaña N°6, Manto Superior 115 in.

MANTO INTERMEDIO

MANTO INTERMEDIO 115 [IN] / CAMPAÑA N°6									
Fecha Medición	Dias		Tonelaje			Espesor [mm]	Pérdida de Espesor [mm]	Tasa de Desgaste	
	Comprendidos	Acumulados	Ton	Mton	Acumulado			mm/Semana	mm/ M ton
24-jul-13	0	0	0	0,00	0,00	149,8	-	-	-
13-ago-13	20	20	1.991.585	1,99	1,99	127,0	22,8	7,98	11,45
04-sep-13	22	42	2.095.701	2,10	4,09	121,3	5,7	1,81	2,72
30-sep-13	26	68	2.478.913	2,48	6,57	117,0	4,3	1,16	1,73

Tabla 21: Resultados Campaña N°6, Manto Intermedio 115 in.



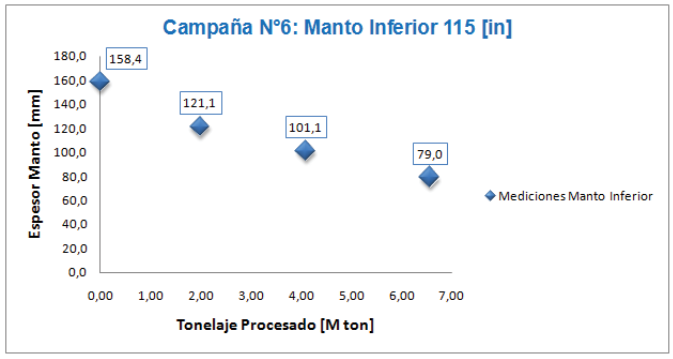
Modelo	Función	R^2
Lineal	y = -4,678x+143,5	0,814
Exponencial	$y = 143,3\ e^{-0,03x}$	0,836
Polinómica Orden 2	$y = 1,052x^2-11,64+148,8$	0,975

Fig. 37: Gráfico Campaña N°6, Manto Intermedio 115 in.

MANTO INFERIOR

MANTO INFERIOR 115 [IN] / CAMPAÑA N°6									
Fecha Medición	Dias		Tonelaje			Espesor [mm]	Pérdida de Espesor [mm]	Tasa de Desgaste	
	Comprendidos	Acumulados	Ton	Mton	Acumulado			mm/Semana	mm/ M ton
24-jul-13	0	0	0	0,00	0,00	158,4	-	-	-
13-ago-13	20	20	1.991.585	1,99	1,99	121,1	37,3	13,06	18,73
04-sep-13	22	42	2.095.701	2,10	4,09	101,1	20,0	6,36	9,54
30-sep-13	26	68	2.478.913	2,48	6,57	79,0	22,1	5,95	8,92

Tabla 22: Resultados Campaña N°6, Manto Inferior 115 in.



Modelo	Función	R^2
Lineal	y = -11,74x+152	0,964
Exponencial	$y = 154,4\ e^{-0,1x}$	0,991
Polinómica Orden 2	$y = 1,056x^2-18,74x+157,3$	0,994

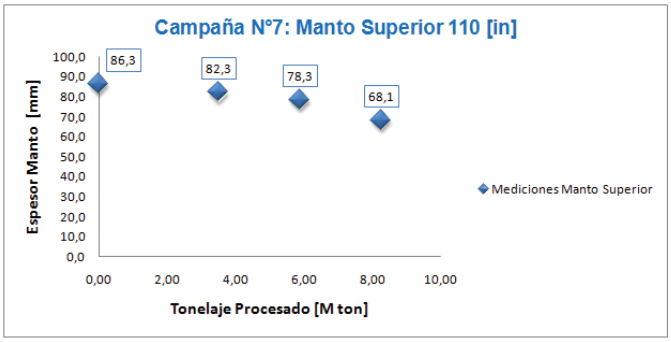
Fig. 38: Gráfico Campaña N°6, Manto Inferior 115 in.

3. Campaña N°7: Diámetro Manto 110 in.

MANTO SUPERIOR

MANTO SUPERIOR 110 [IN] / CAMPAÑA N°7									
Fecha Medición	Dias		Tonelaje			Espesor [mm]	Pérdida de Espesor [mm]	Tasa de Desgaste	
	Comprendidos	Acumulados	Ton	Mton	Acumulado			mm/Semana	mm/ M ton
01-oct-13	0	0	0	0,00	0,00	86,3	-	-	-
05-nov-13	35	35	3.506.508	3,51	3,51	82,3	4,0	0,80	1,14
27-nov-13	22	57	2.385.333	2,39	5,89	78,3	4,0	1,27	1,68
18-dic-13	21	78	2.363.862	2,36	8,26	68,1	10,2	3,40	4,31

Tabla 23: Resultados Campaña N°7, Manto Superior 110 in.



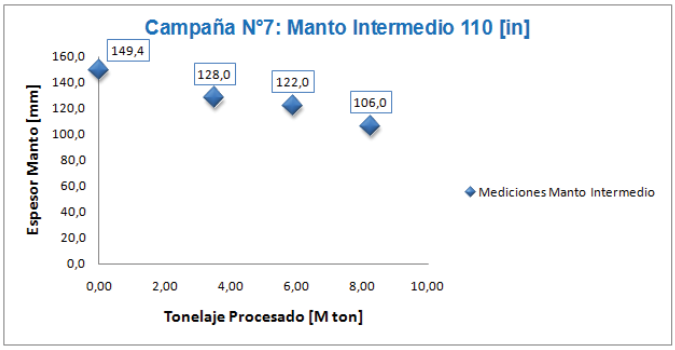
Modelo	Función	R^2
Lineal	y = -2,097x+88	0,894
Exponencial	$y = 88{,}42\ e^{-0{,}02x}$	0,873
Polinómica Orden 2	$y = -0{,}271x^2+0{,}107x+86{,}1$	0,989

Fig. 39: Gráfico Campaña N°7, Manto Superior 110 in.

MANTO INTERMEDIO

MANTO INTERMEDIO 110 [IN] / CAMPAÑA N°7									
Fecha Medición	Dias		Tonelaje			Espesor [mm]	Pérdida de Espesor [mm]	Tasa de Desgaste	
	Comprendidos	Acumulados	Ton	Mton	Acumulado			mm/Semana	mm/ M ton
01-oct-13	0	0	0	0,00	0,00	149,4	-	-	-
05-nov-13	35	35	3.506.508	3,51	3,51	128,0	21,4	4,28	6,10
27-nov-13	22	57	2.385.333	2,39	5,89	122,0	6,0	1,91	2,52
18-dic-13	21	78	2.363.862	2,36	8,26	106,0	16,0	5,33	6,77

Tabla 24: Resultados Campaña N°7, Manto Intermedio 110 in.



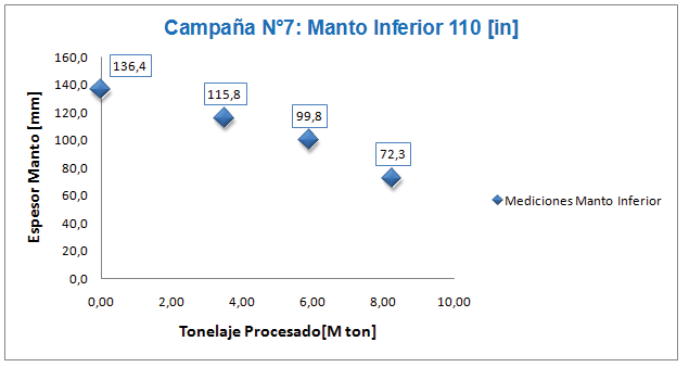
Modelo	Función	R^2
Lineal	y = -5,042x+148,6	0,979
Exponencial	$y = 149{,}4\ e^{-0{,}04x}$	0,975
Polinómica Orden 2	$y = 0{,}023x^2-5{,}229x+148{,}7$	0,979

Fig. 40: Gráfico Campaña N°7, Manto Intermedio 110 in.

MANTO INFERIOR

MANTO INFERIOR 110 [IN] / CAMPAÑA N°7									
Fecha Medición	Dias		Tonelaje			Espesor [mm]	Pérdida de Espesor [mm]	Tasa de Desgaste	
	Comprendidos	Acumulados	Ton	Mton	Acumulado			mm/Semana	mm/ M ton
01-oct-13	0	0	0	0,00	0,00	136,4	-	-	-
05-nov-13	35	35	3.506.508	3,51	3,51	115,8	20,6	4,12	5,87
27-nov-13	22	57	2.385.333	2,39	5,89	99,8	16,0	5,09	6,71
18-dic-13	21	78	2.363.862	2,36	8,26	72,3	27,5	9,17	11,63

Tabla 25: Resultados Campaña N°7, Manto Inferior 110 in.



Modelo	Función	R^2
Lineal	y = -7,562x+139,4	0,97
Exponencial	$y = 143{,}1\ e^{-0{,}07x}$	0,929
Polinómica Orden 2	$y = -0{,}49x^2-3{,}587x+136$	0,996

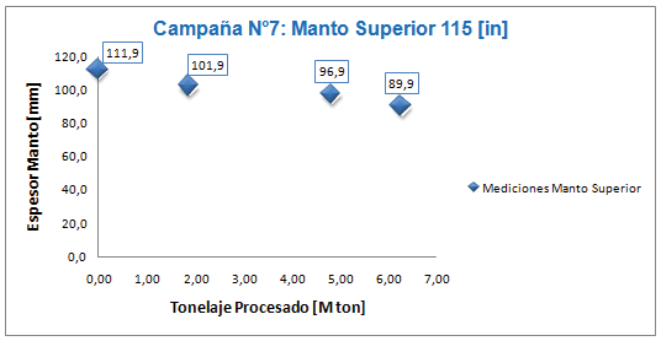
Fig. 41: Gráfico Campaña N°7, Manto Inferior 110 in.

4. Campaña N°7: Diámetro Manto 115 in.

MANTO SUPERIOR

MANTO SUPERIOR 115 [IN] / CAMPAÑA N°7									
Fecha Medición	Dias		Tonelaje			Espesor [mm]	Pérdida de Espesor [mm]	Tasa de Desgaste	
	Comprendidos	Acumulados	Ton	Mton	Acumulado			mm/Semana	mm/ M ton
05-mar-14	0	0	0	0,00	0,00	111,9	-	-	-
25-mar-14	20	20	1.882.143	1,88	1,88	101,9	10,0	3,50	5,31
22-abr-14	28	48	2.945.041	2,95	4,83	96,9	5,0	1,25	1,70
06-may-14	14	62	1.448.978	1,45	6,28	89,9	7,0	3,50	4,83

Tabla 26: Resultados Campaña N°7, Manto Superior 115 in.



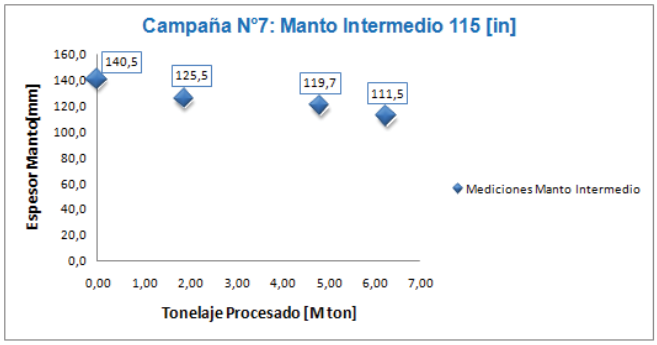
Modelo	Función	R^2
Lineal	y = -3,186x+110,4	0,952
Exponencial	$y = 110{,}6\ e^{-0{,}03x}$	0,955
Polinómica Orden 2	$y = 0{,}152x^2-4{,}141x+111$	0,957

Fig. 42: Gráfico Campaña N°7, Manto Superior 115 in.

MANTO INTERMEDIO

MANTO INTERMEDIO 115 [IN] / CAMPAÑA N°7									
Fecha Medición	Dias		Tonelaje			Espesor [mm]	Pérdida de Espesor [mm]	Tasa de Desgaste	
	Comprendidos	Acumulados	Ton	Mton	Acumulado			mm/Semana	mm/ M ton
05-mar-14	0	0	0	0,00	0,00	140,5	-	-	-
25-mar-14	20	20	1.882.143	1,88	1,88	125,5	15,0	5,25	7,97
22-abr-14	28	48	2.945.041	2,95	4,83	119,7	5,8	1,45	1,97
06-may-14	14	62	1.448.978	1,45	6,28	111,5	8,2	4,10	5,66

Tabla 27: Resultados Campaña N°7, Manto Intermedio 115 in.



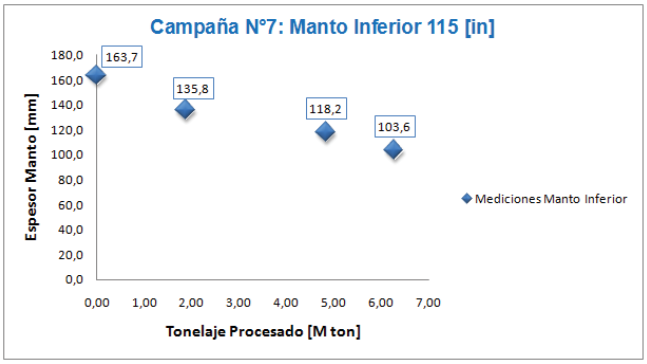
Modelo	Función	R^2
Lineal	y = -4,164x+137,8	0,93
Exponencial	$y = 137,9\ e^{-0,03x}$	0,939
Polinómica Orden 2	$y = 0,392x^2-6,632x+139,3$	0,95

Fig. 43: Gráfico Campaña N°7, Manto Intermedio 115 in.

MANTO INFERIOR

MANTO INFERIOR 115 [IN] / CAMPAÑA N°7									
Fecha Medición	Dias		Tonelaje			Espesor [mm]	Pérdida de Espesor [mm]	Tasa de Desgaste	
	Comprendidos	Acumulados	Ton	Mton	Acumulado			mm/Semana	mm/ M ton
05-mar-14	0	0	0	0,00	0,00	163,7	-	-	-
25-mar-14	20	20	1.882.143	1,88	1,88	135,8	27,9	9,77	14,82
22-abr-14	28	48	2.945.041	2,95	4,83	118,2	17,6	4,40	5,98
06-may-14	14	62	1.448.978	1,45	6,28	103,6	14,6	7,30	10,08

Tabla 28: Resultados Campaña N°7, Manto Inferior 115 in.



Modelo	Función	R^2
Lineal	y = -8,968x+159,4	0,966
Exponencial	y = 160,3 e-0,06x	0,978
Polinómica Orden 2	y = 0,703x2-13,39x+162,1	0,98

Fig. 44: Gráfico Campaña N°7, Manto Inferior 115 in.

La selección de la función matemática que mejor se ajusta al comportamiento de cada una de las secciones del Manto (Superior, Intermedio e Inferior), se basa en el valor del coeficiente de correlación (R^2).

El valor de R^2 en el caso del modelo Polinómico de Orden 2 es mayor en todos los resultados de los coeficientes de correlación de los modelos lineal y exponencial.Además el R^2 de la función Polinómica Orden 2 es el más cercano a 1 en todos los casos anteriores, esto indica un grado de correlación mayor que los otros dos modelos estudiados.

Dicho esto, se concluye que la función matemática que mejor se ajusta al comportamiento de cada una de las secciones del Manto, es la función Polinómica de Orden 2.

CAPÍTULO VI
HERRAMIENTA COMPUTACIONAL

Se expone el desarrollo del diseño y funcionamiento de la herramienta computacional llamada “Sistema de Control de Desgaste”(en adelante SCD). Este SCDdetermina el perfil de desgaste de los revestimientos del Chancador primario y efectúa un pronóstico de la fecha óptima de cambio para los revestimientos del equipo.

Laherramienta computacional es desarrollada en ambiente “MATLAB”, específicamente en el entorno GUI (Interfaz gráfica del usuario).La GUI del SCD, permite al usuario el acceso a las informaciones más relevantes del desgaste en los revestimientos: tasa y perfil de desgaste, ubicación del punto con mayor desgaste de los revestimientos (Cóncavas, Mantos) y pronóstico de fecha óptima para cambio de revestimientos.

El SCD, analiza y procesa la información contenida en unarchivo Excel (.xlsx), mostrando gráficos, tablas y pronósticos de fecha de cambio de revestimientos.

El flujo del tratamiento de la información, es el siguiente:

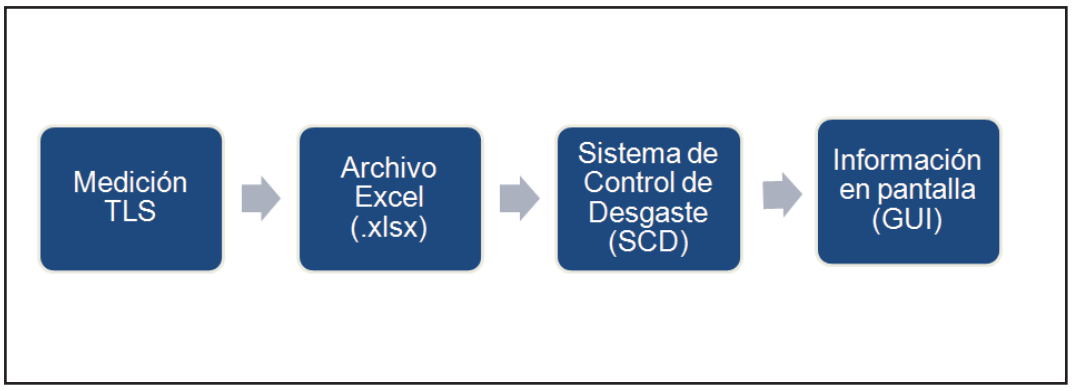


Fig. 45: Flujo de tratamiento de la información.

6.1 MATLAB / GUI

El software matemático “MATLAB” es desarrollado por la compañía MathWorks en el año 1984, actualizándose anualmente. Ofrece la posibilidad de manipular y representar matrices en un entorno gráfico, también permite la implementación de algoritmos mediante un lenguaje de programación propio.

Dentro de las aplicaciones disponibles en MATLAB, se encuentra la plataforma GUIDE (editor de interfaz gráfica de usuario), en ésta se desarrolla lainterfaz gráfica de usuario (GUI) de la herramienta computacional SCD. Cabe destacar que el usuario del SCD nonecesita saber ningún tipo de lenguaje de programación.

El desarrollo de una GUI en MATLAB, permite crear objetos y definir para cada uno de ellos una acción programada. Una vez finalizado el desarrollo de la GUI, se obtienen dos archivos:

1. Archivo.fig: Contiene la descripción de los componentes que tiene la interfaz.
2. Archivo .m: Contiene las funciones y los controles de la interfaz (callbacks).

Un callback se define como la acción que ejecuta un objeto situado en la GUI al ser activado por el usuario, esta activación puede ocurrir pulsando un botón (pushbutton), ingresando valores en un Edit Text, haciendo clic en un menú desplegable, o bien de otras formas que presenta el programa. Al ser realizada ésta operación, el programa ejecutará una serie de acciones o rutinas programadas.

Para el desarrollo de la herramienta computacional SCD, se utiliza la versión de Matlab R2015a 8.5.0

6.2 DESCRIPCIÓN ARCHIVOS EXCEL

Los archivos Excel analizados por el SCD deben estar ordenados siempre de la misma manera, en cuanto a filas y columnas, ya que la programación en MATLAB, lee las celdas de acuerdo a este orden.

El SCD lee todos los valores numéricos contenidos en el archivo Excel transformándolos a una matriz, para que posteriormente sean analizadas las distintas secciones de ésta. Estas secciones corresponden a los Liners en el caso de Cóncavas y a las secciones Inferior, Intermedio y Superior en el caso del Manto,

6.2.1 ARCHIVO EXCEL MANTO:

Los datos procesados por el TLS, son transferidos al archivo Excel en coordenadas radiales, es decir, la medición se hace desde el centro del eje principal hastala superficie del manto.

El archivo Excel consta de 1 Hoja de datos llamada MTO. La matriz de coordenadas que lee el programa es de 64 filas por 23 columnas. Esta matriz será descrita posteriormente.

Consideraciones / Observaciones:

- Las 64 filas, se deben a la división vertical del Manto (Eje “Z”) en 63 puntos (desde 0 a 63), las cuales corresponden a las mediciones desde 0 mm (borde inferior del manto) hasta 3150 mm (borde superior del manto), mediante intervalos de 50 mm.
- El SCD tiene la opción para analizar 3 mantos de diferentes diámetros: 110 in, 113 in y 115 in. Para la selección del diámetro del manto a analizar, el usuario debe ingresar el diámetro en un mensaje desplegado en pantalla.
- Se analizan 3 perfiles de desgaste para el Manto: Crítico, Promedio y Mayor. El perfil de desgaste crítico indica las menores coordenadas radiales (mayor desgaste). Por el contrario, el perfil de desgaste mayor, corresponde a las mayores coordenadas radiales (menor desgaste). El perfil de desgaste promedio, corresponde a la media entre el perfil de desgaste crítico y mayor.

- Posición de altura: Corresponde a las mediciones realizadas a intervalos de 50 mm.
- El SCD considera como mínimo 2 mediciones, una medición anterior (“Perfil Anterior Controlado”) y una correspondiente a la medición actual (“Perfil Actual Controlado”). Cada medición contiene los perfiles Crítico, Promedio y Mayor, nombrados anteriormente.
- Línea base compleja (Complex BOL): Corresponde a las coordenadas de la superficie del eje principal del Chancador, es decir, las coordenadas de la línea donde son instaladas las secciones del manto.

  Las coordenadas son extraídas desde planos y se utilizan para visualizar de mejor manera el gráfico que indica el perfil de desgaste del Manto (Fig. 46).

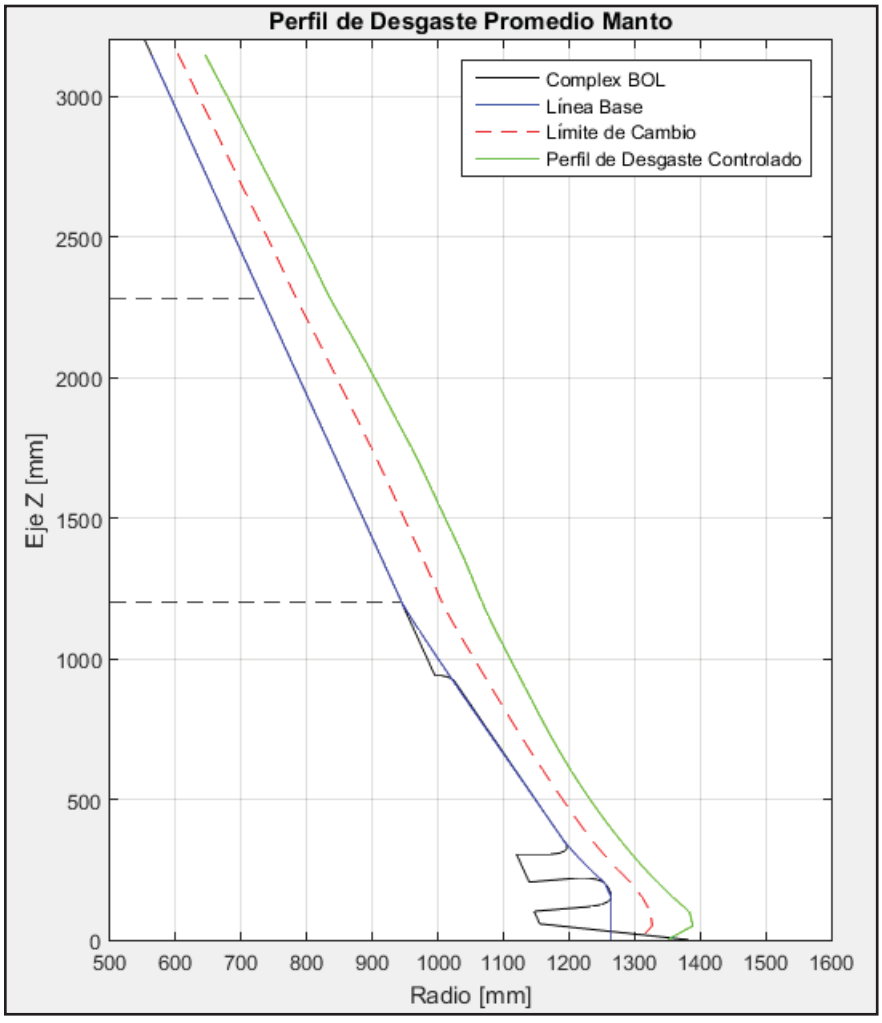


Fig. 46: Perfil de desgaste promedio Manto.

A continuación, se muestra la matriz de valores numéricos procesada por el SCD:

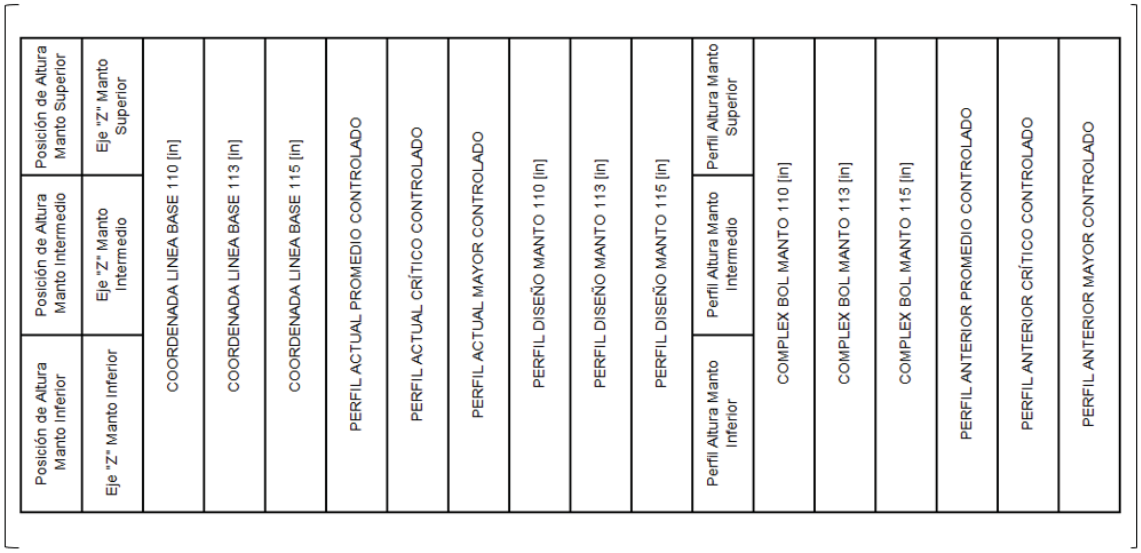


Fig. 47: Matriz valores numéricos Manto.

COLUMNAS:

- A: Componente: Manto.
- B: Sección: Inferior, Intermedio, Superior.
- C: Posición de altura: Números desde 0 a 63 indicando las mediciones a intervalos de 50 mm, descrito anteriormente.
- D: Eje Z mm: Medidas desde 0 a 3150 mm. Correspondiente a las mediciones a intervalos de 50 mm.
- E: Coordenada Línea Base Manto Ø 110 in: Coordenadas en mm.
- F: Coordenada Línea Base Manto Ø 113 in: Coordenadas en mm.
- G: Coordenada Línea Base Manto Ø 115 in:Coordenadas en mm.
- H: Perfil Actual Controlado Promediomm.
- I: Perfil Actual Controlado Críticamm.
- J: Perfil Actual Controlado Mayor mm.
- K: Perfil de Diseño Manto Ø 110 in: Coordenadas en mm.
- L: Perfil de Diseño Manto Ø 113 in: Coordenadas enmm.
- M: Perfil de Diseño Manto Ø 115 in: Coordenadas en mm.
- N: Perfil de altura mm.

- O: Complex BOL (Eje X) Manto Ø 110 in: Línea Base Compleja, coordenadas en mm.
- P: Complex BOL (Eje Y) Manto Ø 110 in: Línea Base Compleja, coordenadas en mm.
- Q: Complex BOL (Eje X) Manto Ø 113 in: Línea Base Compleja, coordenadas en mm.
- R: Complex BOL (Eje Y) Manto Ø 113 in: Línea Base Compleja, coordenadas en mm.
- S: Complex BOL (Eje X) Manto Ø 115 in: Línea Base Compleja, coordenadas en mm.
- T: Complex BOL (Eje Y) Manto Ø 115 in: Línea Base Compleja, coordenadas en mm.
- U: Perfil Anterior Controlado Promedio mm.
- V:Perfil Anterior Controlado Críticamm.
- W:Perfil Anterior Controlado Mayor mm.

FILAS:

- 1 y 2: Descripción de celdas.
- 3 a 21: Datos Manto Superior.
- 22 a 41: Datos Manto Intermedio.
- 42 a 66: Datos Manto Inferior.

6.2.2 ARCHIVO EXCEL CÓNCAVAS

Al igual que en la explicación anterior, los datos procesados por el TLS son transferidos al archivo Excel en coordenadas radiales, es decir, la medición se hace desde el centro del eje principal hasta la superficie de las cóncavas.

Este archivo Excel consta de 2 Hojas de datos llamadas “CCVAnterior” y “CCVActual”. La matriz de datos está formada por 65 filas y 78 columnas, descritas posteriormente.

Consideraciones / Observaciones:

- Las 64 primeras filas, se deben a la división vertical de las Cóncavas (Eje “Z”) en 63 puntos (desde 0 a 63), las cuales corresponden a las mediciones desde 0 mm (borde inferior del manto) hasta 3150 mm (borde superior del manto), es decir a intervalos de 50 mm.
- La fila n° 64 corresponde a los valores de ángulos desde 0° a 355°, divididos en intervalos de 5° (Vista superior. Explicada en el capítulo IV, sección 4.1 Cóncavas).
- La hoja “CCVAnterior”, contiene la información correspondiente a la primera medición de cóncavas.
- La hoja “CCVActual”, contiene la información de la medición actual de cóncavas, es decir cuando las cóncavas presentan un desgaste.

- Línea base compleja (Complex BOL): Corresponde a las coordenadas de la carcasa del Chancador, es decir son las coordenadas de la línea donde son instaladas las Cóncavas. Las coordenadas son extraídas desde planos y se utilizan para visualizar de mejor manera el gráfico que indica el perfil de desgaste de las Cóncavas (Fig. 48).

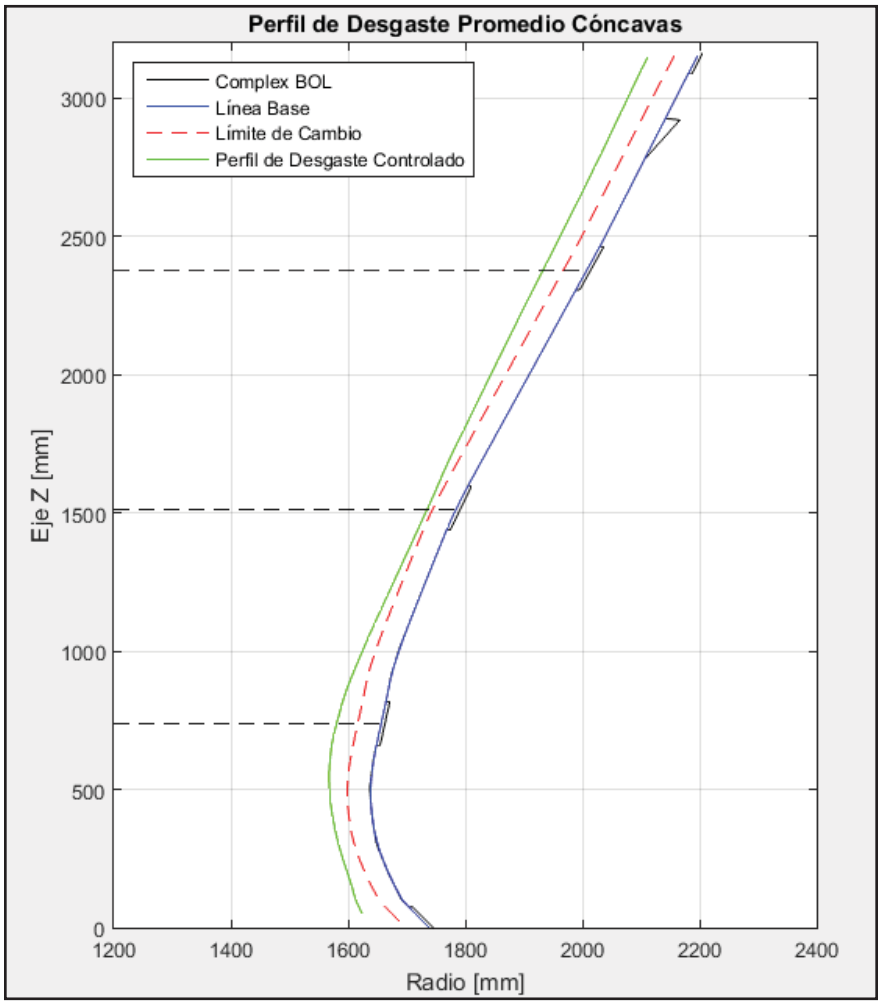


Fig. 48: Perfil de desgaste promedio Cóncavas.

A continuación, se muestra la matriz de valores numéricos procesada por el SCD:

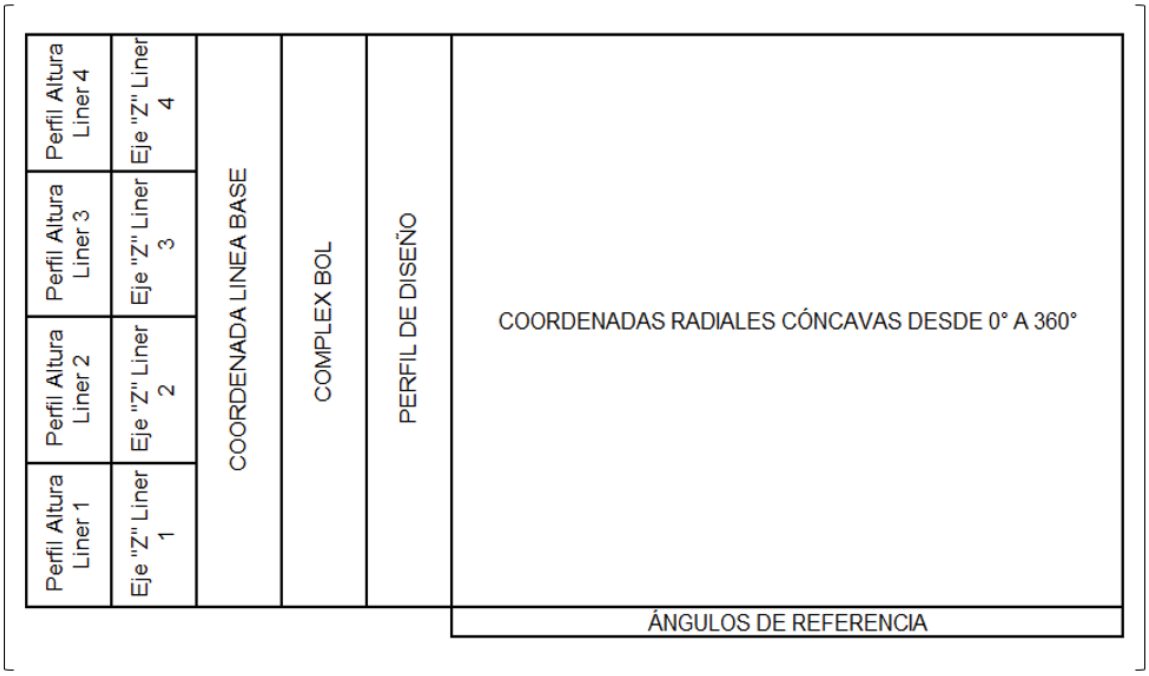


Fig. 49: Matriz de valores numéricos Cóncavas.

COLUMNAS:

- A: Componente: Cóncavas.
- B: Fila: 1 INF, 2 MED, 3 MED y 4 SUP.
- C: Perfil de Altura mm.
- D: Eje Z mm: Medidas desde 0 a 3150 mm. Correspondiente a las mediciones a intervalos de 50 mm.
- E: Coordenada Línea Base mm: Coordenadas en mm.
- F: Complex BOL (Eje X): Línea Base Compleja, coordenadas en mm.
- G: Complex BOL (Eje Y): Línea Base Compleja, coordenadas en mm.
- H: Perfil de diseño mm.
- I hasta CB: Coordenadas Radiales Medidas mm, mediciones de espesor, medidos angularmente desde 0° hasta 355°.

FILAS:

- 1 y 2: Descripción de celdas.
- 3 a 17: 4 SUP, Liner 4.
- 18 a 33: 3 MED, Liner 3.
- 34 a 50: 2 MED, Liner 2.
- 51 a 66: 1 INF, Liner 1.
- 67: Ángulos de referencia. (°)

En Anexo 3 y Anexo 4 se muestran las planillas Excel correspondientes a los formatos Excel para Cóncavas y Mantos.

6.3 ORGANIZACIÓN DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL

El “Sistema de Control de Desgaste” desarrollado durante la presente memoria, se presentamediante una interfaz grafica, con un menú de opciones desplegable. Cada una de estas opciones integra una rutina programada que ejecuta una acción determinada. Las opciones del menú son las siguientes:

1. Archivo.
2. Análisis Medición.
3. Análisis Cóncavas.
4. Análisis Manto.
5. Resumen Control.

Cada opción del menú tiene un submenúdesplegable asociado, al que se le asigna una programación.

La pantalla principal de la herramienta computacional SCD es la mostrada en Fig. 50:

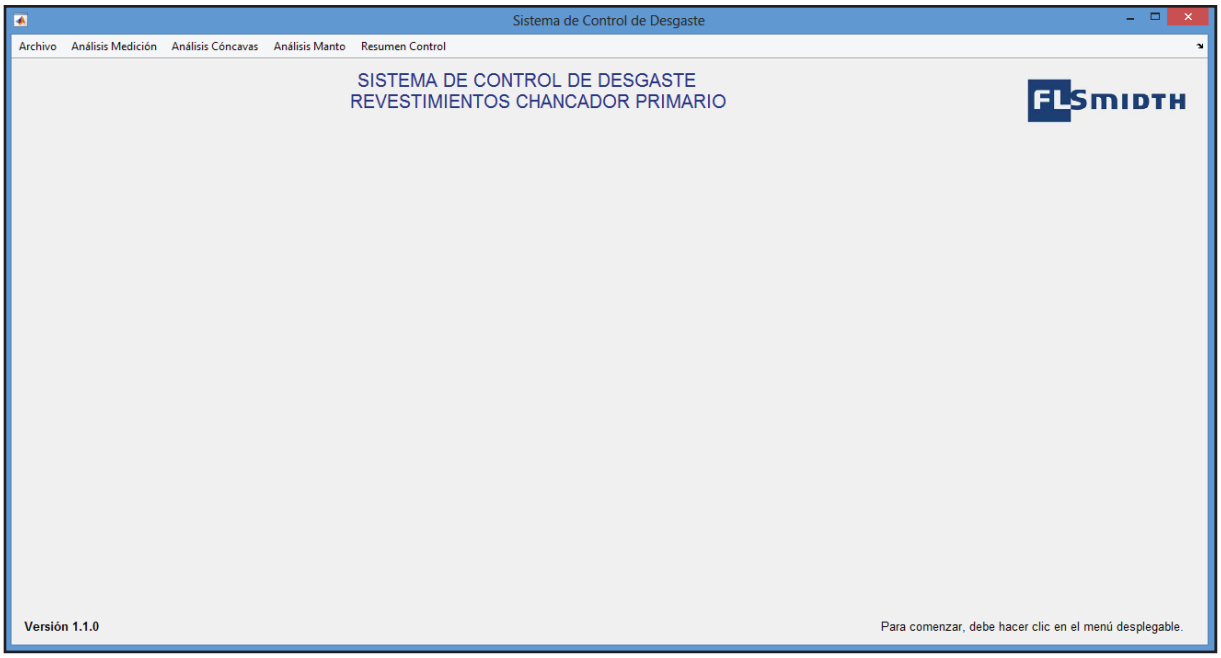


Fig. 50: Pantalla principal SCD.

En la figura 51, se muestra un diagrama general del SCD. Las distintas opciones serán descritas en el presente apartado.

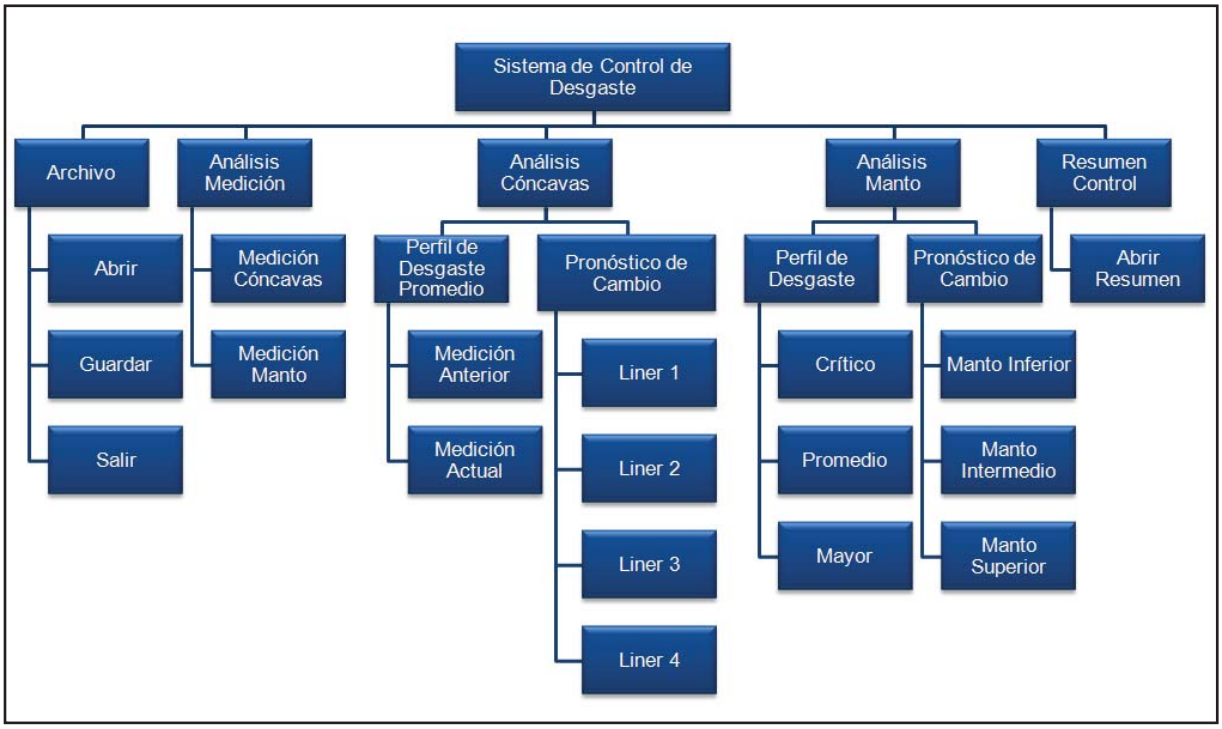


Fig. 51: Diagrama general SCD.

6.3.1 ARCHIVO

A continuación ,sepresentan los submenús, al momento de hacer clic sobre el menú "Archivo", los submenús (Ver Fig. 52) realizan las siguientes acciones:

1. Abrir: Abre el proyecto guardado en la sesión anterior.
2. Guardar: Guarda el progreso del proyecto en el que se está trabajando.
3. Salir: Cierra el proyecto actual.

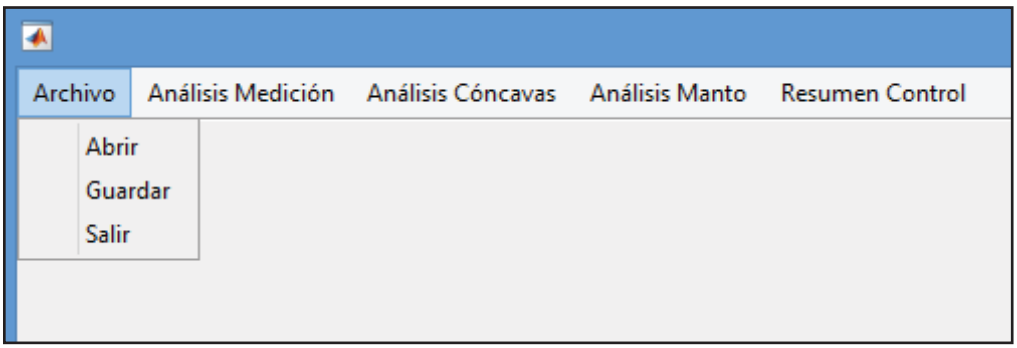


Fig. 52: Menú Archivo.

6.3.2 ANÁLISIS MEDICIÓN

Este menú da acceso a la lectura y análisis de los archivos Excel (.xlsx), provenientes del procesamiento de la nube de puntos. En función del revestimiento que se quiere analizar (Cóncavas o Manto), existen dos formatos de archivos Excel establecidos para este análisis,descritos en el apartado 5.2.

Al hacer clic sobre el menú “Análisis Medición”, se despliegan dos submenús (Ver Fig. 53):

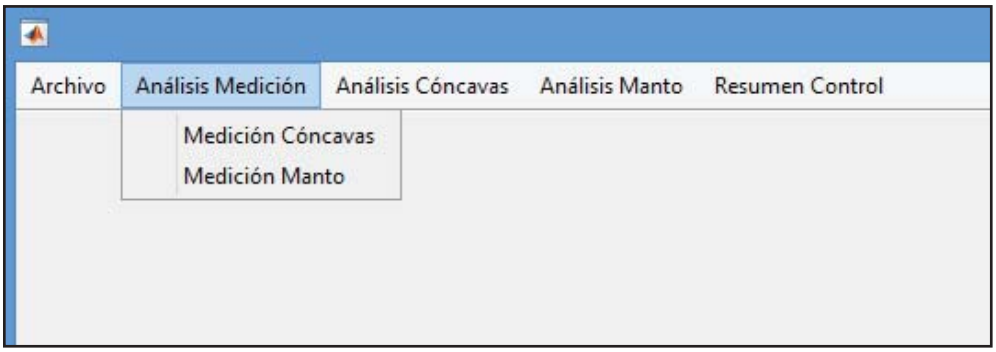


Fig. 53: Menú Análisis Medición.

1. Medición Cóncavas (Fig. 54): Despliega 3 tablas en la ventana del SCD.Junto a cada tabla aparece un botón, que al presionarlo, ejecuta la programación asociada a cada tabla.

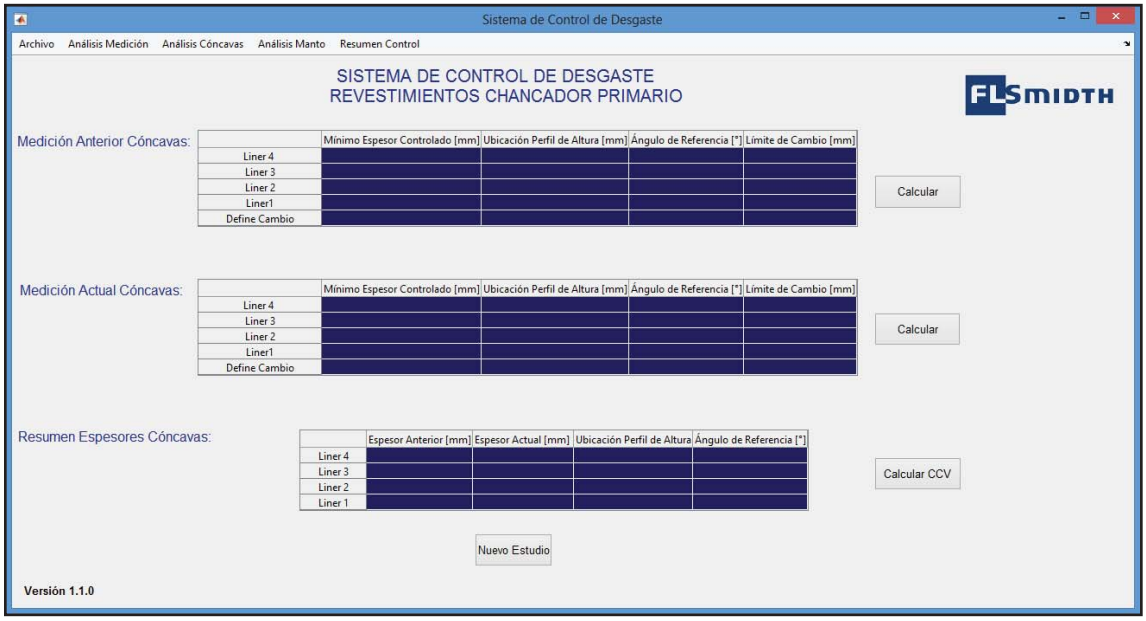


Fig. 54: Pantalla Análisis Medición Cóncavas.

Los resultados para las distintas tablas son los siguientes:

Tabla 1: “Medición Anterior Cóncavas”, en esta tabla se analiza la hoja CCVAnterior (Hoja 1) del archivo Excel, obteniéndose:

- El punto con el mínimo espesor controlado para cada Liner (espesor con mayor desgaste).
- La ubicación en altura (“Ubicación Perfil de Altura”) y ángulo de referencia para la ubicación exacta del punto.
- El límite de cambio (acordado entre FLSmidth y Minera “Los Pelambres”)
- El Liner que define el cambio de revestimiento de acuerdo al menor espesor entre los Liners.

Tabla 2: “Medición Actual Cóncavas”,en esta tabla se analiza la hoja CCVActual (Hoja 2) del archivo Excel, obteniéndose:

- El punto con el mínimo espesor controlado para cada Liner (espesor con mayor desgaste).
- La ubicación en altura (“Ubicación Perfil de Altura”) y ángulo de referencia para la ubicación exacta del punto.
- El límite de cambio (acordado entre FLSmidth y Minera “Los Pelambres”).
- El Liner que define el cambio de revestimiento de acuerdo al menor espesor entre los Liners.

Tabla 3: “Resumen Espesores Cóncavas”, en esta tabla se analizan ambas hojas del archivo Excel, CCVActual y CCVAnterior, obteniendo:

- Los espesores actuales y anteriores para cada uno de los Liners, correspondientes al punto con mayor desgaste en la medición actual.
- Muestra la ubicación en altura (“Ubicación Perfil de Altura”) y ángulo de referencia para la ubicación exacta del punto con mayor desgaste en el control actual.

2. Medición Manto (Fig. 55): Despliega 2 tablas en la ventana del SCD. Junto a cada tabla aparece un botón, que al presionarlo, ejecuta la programación asociada a cada tabla.

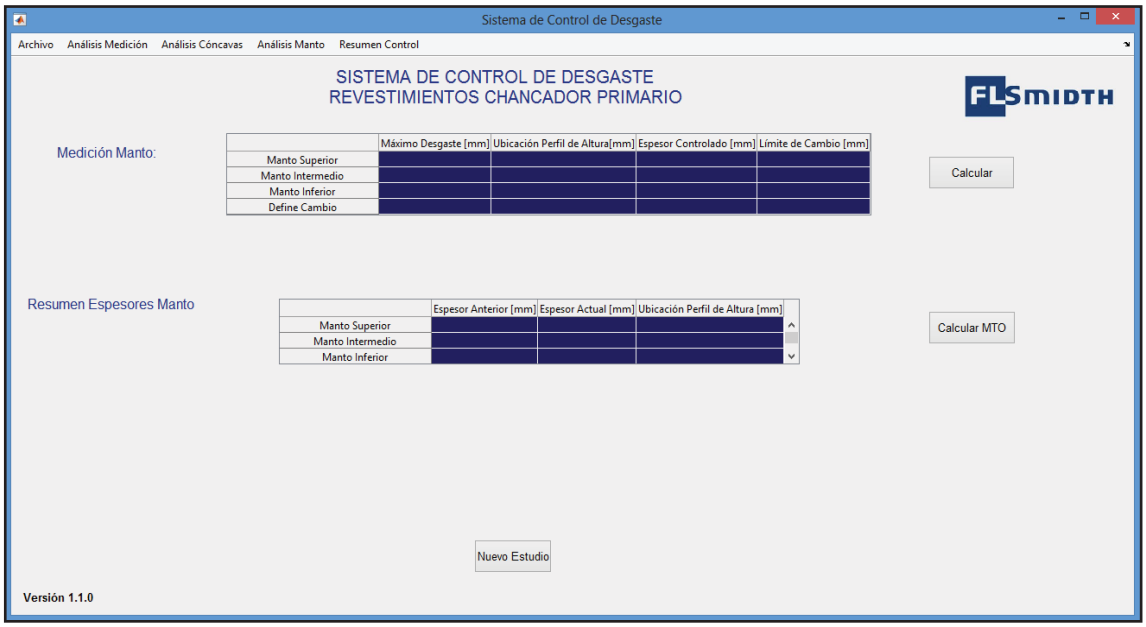


Fig. 55: Pantalla Análisis Medición Manto.

Tabla 1: “Medición Manto”, en esta tabla se analiza la hoja MTO (Hoja 1) del archivo Excel, obteniéndose:

- El punto del manto con el mínimo espesor controlado para cada sección del manto.
- La ubicación en altura (“Ubicación Perfil de Altura”).
- El límite de cambio (acordado entre FLSmidth y Minera “Los Pelambres”).
- La sección del manto que define el cambio de revestimiento de acuerdo al máximo nivel de desgaste entre los Mantos (Inferior, Intermedio y Superior).

Tabla 2: “Resumen Espesores Manto”, en esta tabla se analiza la hoja MTO (Hoja 1) del archivo Excel, obteniéndose:

- Los espesores actuales y anteriores para cada una de las secciones del Manto, correspondientes al punto con mayor desgaste en la medición actual.
- La ubicación en altura (“Ubicación Perfil de Altura”) para la ubicación exacta del punto con mayor desgaste en el control actual.

6.3.3 ANÁLISIS CÓNCAVAS

Opción para visualizar el perfil de desgaste de las Cóncavas y efectuar un pronóstico de fecha para el cambio del revestimiento. En esta opción, se utilizaelmodelo predictivosseleccionado en el capítulo V.

Al accionar el menú “Análisis Cóncavas”, se despliegan dos submenús (Ver Fig. 56). Éstos operan de la siguiente forma:

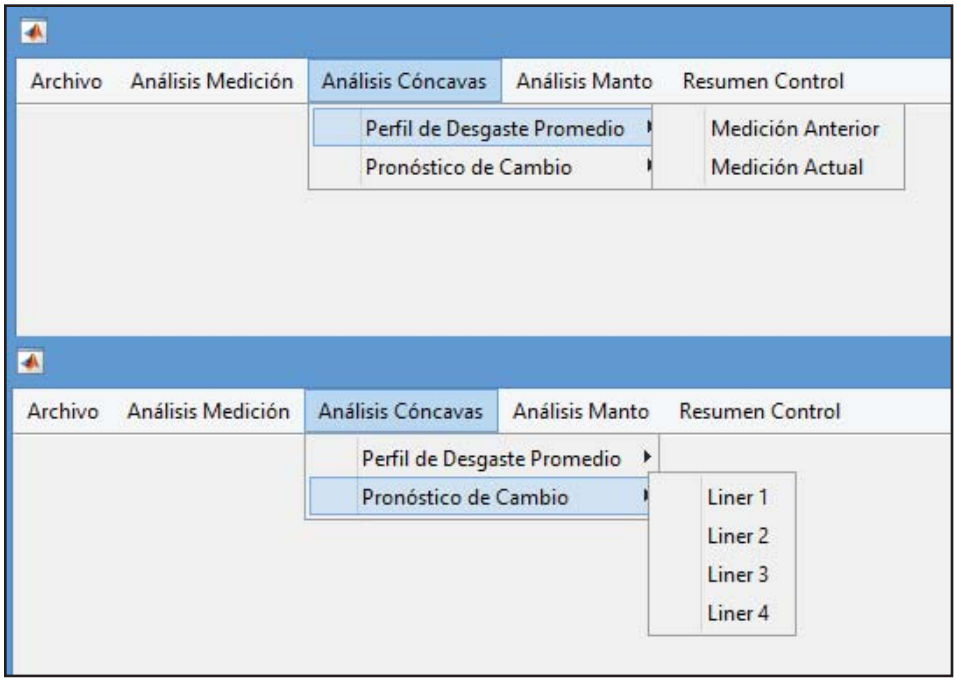


Fig. 56: Menú Análisis Cóncavas.

A continuación se describen los submenús, mostrados anteriormente:

a) Perfil de Desgaste Promedio:

i) Medición Anterior (Fig. 57): Al seleccionar ésta opción, se genera un gráfico que muestra el perfil de desgaste promedio de las cóncavas.

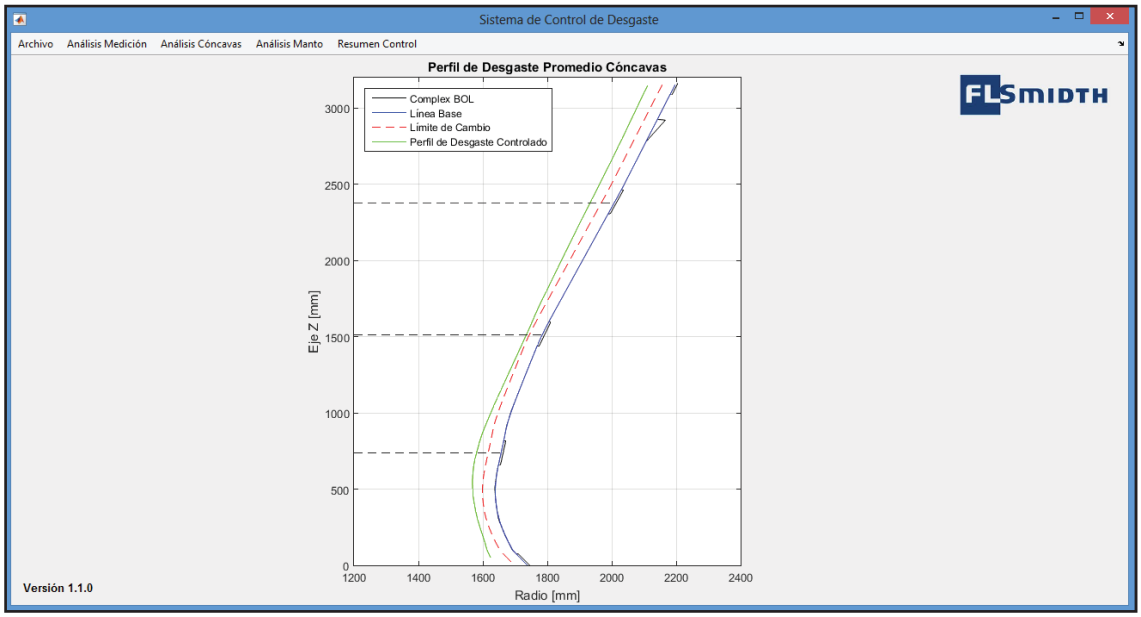


Fig. 57: Pantalla Perfil de desgaste promedio Cóncavas.

Gráfico: "Perfil de Desgaste Promedio Cóncavas", en este gráfico, se analiza la hoja CCVAnterior del archivo Excel.

- El SCD genera un perfil de desgaste promedio, realizando la media por columnas (72 columnas con coordenadas de medición).
- Las curvas que se presentan en el gráfico son las siguientes: Complex BOL, Línea Base, Límite de Cambio, Perfil de Desgaste Controlado.

ii) Medición Actual: Al seleccionar esta opción, se genera de la misma forma que en el punto anterior (i) el perfil de desgaste promedio de las Cóncavas. En esta opción los datos de referencia para el análisis corresponde a la hoja CCVActual del archivo Excel.

b) Pronóstico de Cambio:

i) Liner 1.

ii) Liner 2.

iii) Liner 3.

iv) Liner 4.

En la Fig. 58, se muestra un ejemplo para el pronóstico de cambio Liner 1.

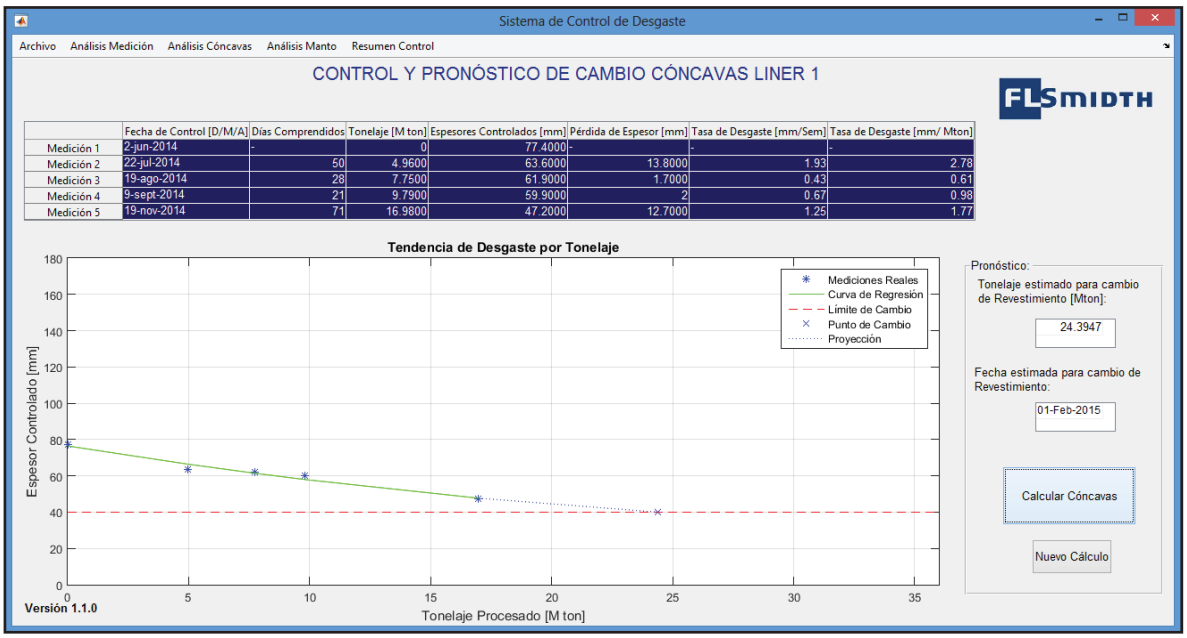


Fig. 58: Pantalla Pronóstico de cambio para Cóncavas.

Al seleccionar una de las opciones (i, ii, iii, iv), se despliegan, los componentes descritos a continuación.

- Tabla con información de controles realizados: El número de filas de la tabla, está definido por la cantidad de mediciones que se le han realizado al Chancador desde que se instaló el revestimiento. Las opciones son desde 2 hasta 8 mediciones (acordado con FLSmidth). En esta tabla se indican: Fecha de control, Días comprendidos, Tonelaje, Espesores Controlados, Pérdida de Espesor, Tasa de Desgaste [mm/Sem], Tasa de Desgaste [mm/Mton].

- Gráfico “Tendencia de Desgaste por Tonelaje”: Espesor Controlado vs Tonelaje Procesado, este gráfico contiene las siguientes curvas:
  1. Mediciones reales.
  2. Curva de regresión que genera el pronóstico para cambio del revestimiento.
  3. Curva que indica límite de cambio del revestimiento.
  4. Punto de intersección entre la curva de proyección y la curva límite de cambio.
  5. Curva de proyección desde la curva pronóstico hasta el límite de cambio del revestimiento.
- Cuadro con el tonelaje estimado para el cambio del revestimiento en estudio.
- Cuadro que indica la fecha asociada al tonelaje estimado para cambio del revestimiento.
- “Calcular Cóncavas”, ejecuta la rutina programada para el cálculo de la tabla, gráfico y pronóstico de cambio.
- “Nuevo Cálculo”, ejecuta la rutina programada correspondiente a la limpieza de los valores de tabla, gráfico y pronóstico.

6.3.4 ANÁLISIS MANTO

Opción para visualizar el perfil de desgaste del Manto y efectuar un pronóstico de fecha de cambio para el revestimiento.En esta opción, se utilizael modelo predictivo seleccionado en el capítulo V.

Al accionar el menú el menú “Análisis Manto”, se despliegan dos 2 submenús (Ver Fig. 59), mostrados a continuación:

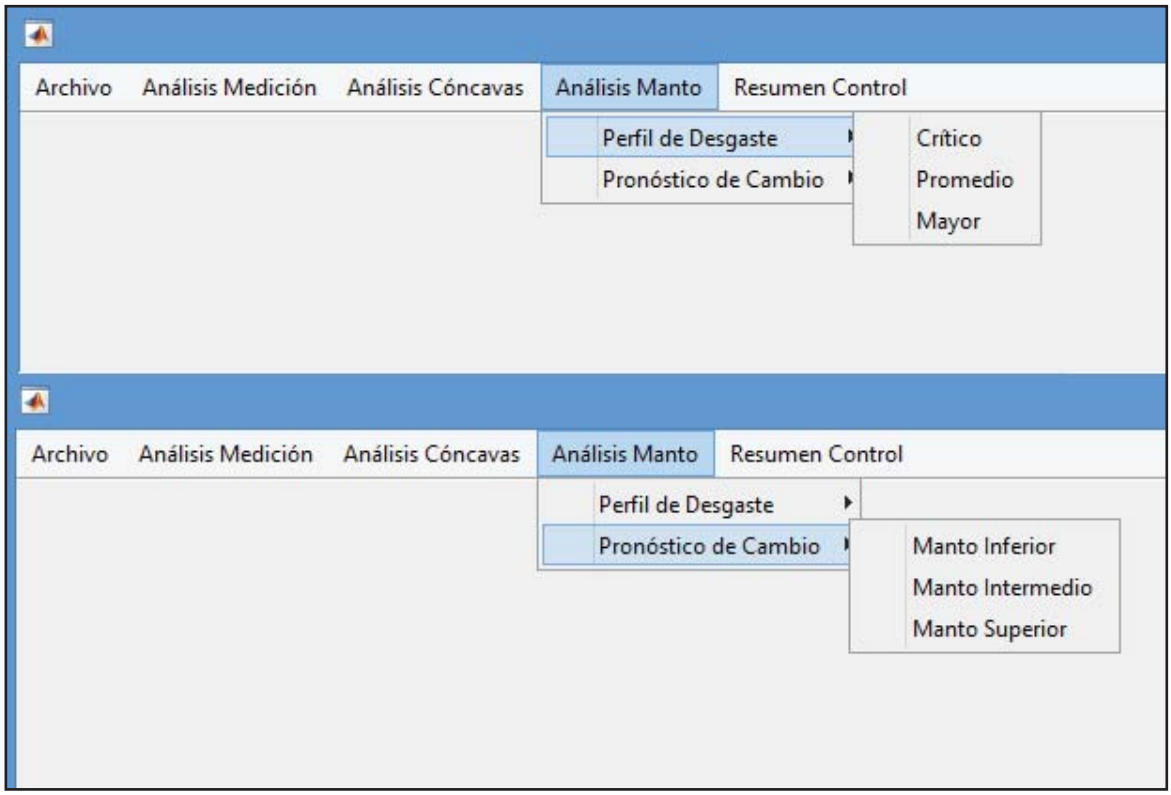


Fig. 59: Menú Análisis Manto.

A continuación se describen los submenús, mostrados anteriormente:

a) Perfil de Desgaste: Al seleccionar ésta opción, se genera un gráfico en la GUI del SCD (Ver Fig.60).
   i) Crítico: Este gráfico muestra el perfil de desgaste crítico (mayor desgaste) del manto.
   ii) Promedio: Grafica el perfil de desgaste promedio del manto.
   iii) Mayor: Grafica el perfil de desgaste mayor (menor desgaste) del manto.

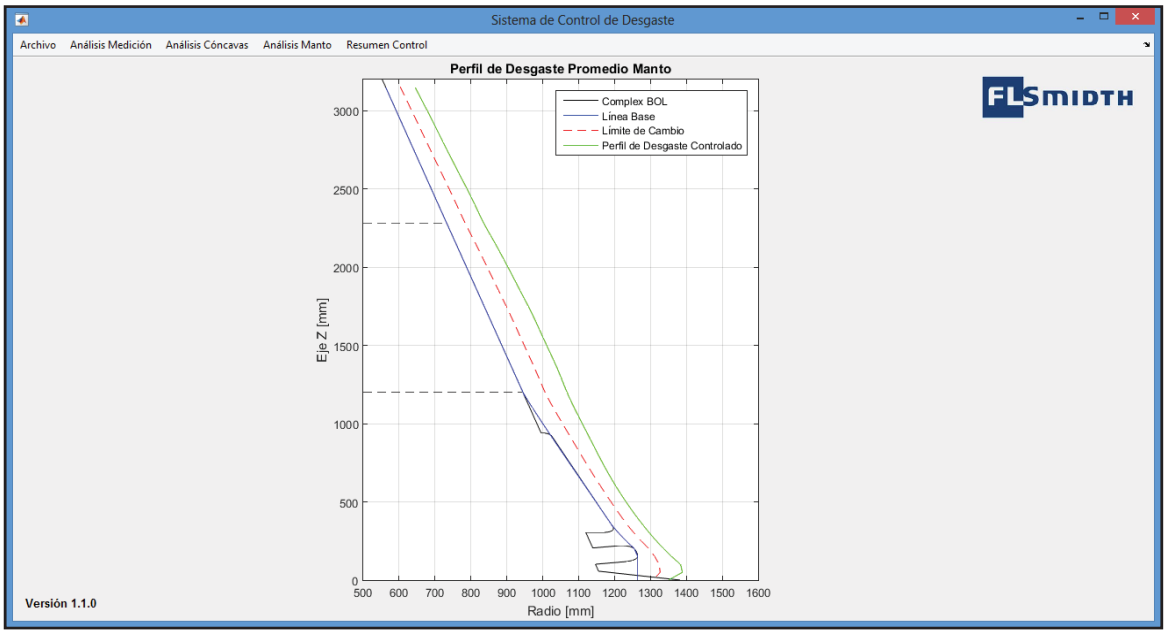


Fig. 60: Pantalla Perfil de desgaste promedio Manto.

Gráfico: “Perfil de Desgaste Promedio Manto”: Análisis de la hoja MTO del archivo Excel del Manto.

- El SCD genera un perfil de desgaste según las 3 opciones presentadas: Crítica, Promedio, Mayor. El usuario debe indicar el diámetro del manto controlado (110 in, 113 in o 115in) en un mensaje desplegado en pantalla.
- Las curvas que se presentan en el gráfico son las siguientes: Complex BOL, Línea Base, Límite de Cambio, Perfil de Desgaste Controlado.

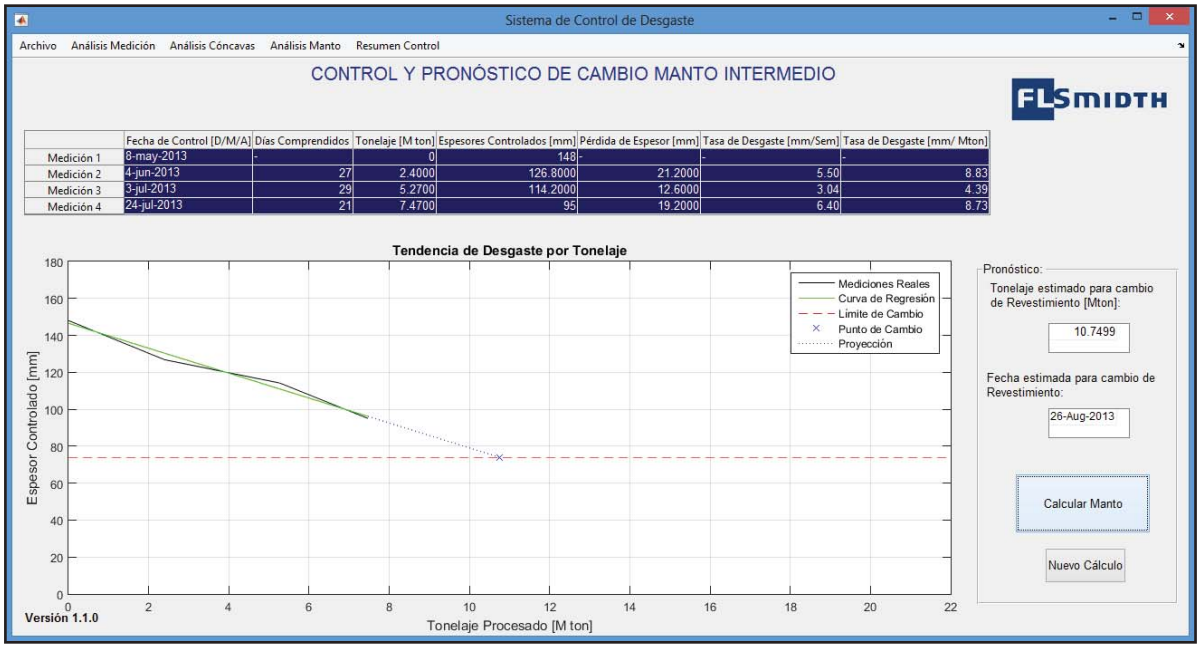
b) Pronóstico de Cambio:

i) Manto Inferior.

ii) Manto Intermedio.

iii) Manto Superior.

En la Fig. 61, se muestra un ejemplo para el pronóstico de cambio Manto Intermedio:



	Fecha de Control [D/M/A]	Días Comprendidos	Tonelaje [M ton]	Espesores Controlados [mm]	Pérdida de Espesor [mm]	Tasa de Desgaste [mm/Sem]	Tasa de Desgaste [mm/ Mton]
Medición 1	8-may-2013	-	0	148	-	-	-
Medición 2	4-jun-2013	27	2.4000	126.8000	21.2000	5.50	8.83
Medición 3	3-jul-2013	29	5.2700	114.2000	12.6000	3.04	4.39
Medición 4	24-jul-2013	21	7.4700	95	19.2000	6.40	8.73

Fig. 61: Pantalla Pronóstico de cambio Manto.

Al seleccionar una de las opciones (i, ii, iii), se despliega en la GUI del SCD, los componentes descritos a continuación.

- Tabla con información de controles realizados: El número de filas de la tabla, está definido por la cantidad de mediciones que se le han realizado al Chancador desde que se instaló el revestimiento. Las opciones son desde 2 hasta 4 mediciones (acordado con FLSmidth). En esta tabla se indican: Fecha de control, Días comprendidos, Tonelaje, Espesores Controlados, Pérdida de Espesor, Tasa de Desgaste [mm/Sem], Tasa de Desgaste [mm/Mton].

- Gráfico “Tendencia de Desgaste por Tonelaje”: Espesor Controlado vs Tonelaje Procesado, éste gráfico contiene las siguientes curvas:
    1. Mediciones reales.
    2. Curva de regresión que genera el pronóstico para cambio del revestimiento.
    3. Curva que indica límite de cambio del revestimiento.
    4. Punto de intersección entre la curva de proyección y la curva límite de cambio.
    5. Curva de proyección desde la curva pronóstico hasta el límite de cambio del revestimiento.
- Cuadro con el tonelaje estimado para el cambio del revestimiento en estudio.
- Cuadro que indica la fecha asociada al tonelaje estimado para cambio del revestimiento.
- “Calcular Manto”, ejecuta la rutina programada para el cálculo de la tabla, gráfico y pronóstico de cambio.
- “Nuevo Cálculo”, ejecuta la rutina programada correspondiente a la limpieza de los valores de tabla, gráfico y pronóstico.

6.3.5 RESUMEN CONTROL

Este menú resume el control de desgaste realizado a los revestimientos del Chancador primario (Cóncavas y Manto).Al hacer clic sobre el menú “Resumen”, se despliega el submenú "Abrir Resumen" tal y como se muestra en la figura 62:

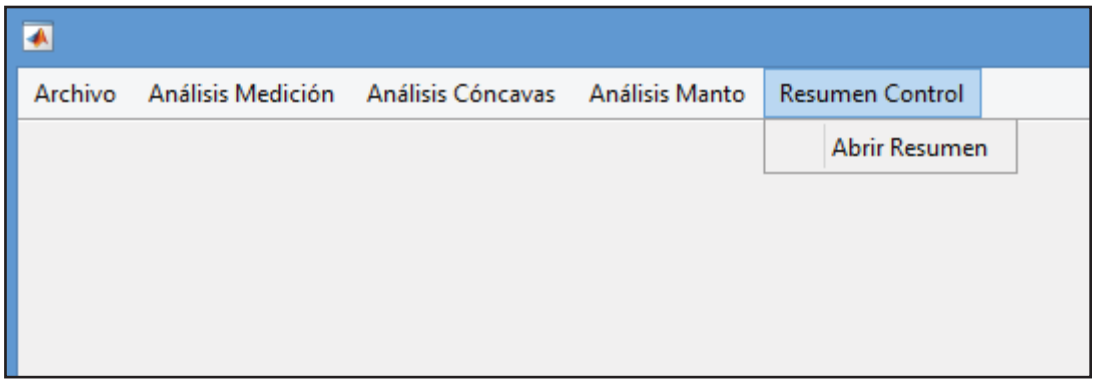


Fig. 62: Menú Resumen Control.

Al seleccionar ésta opción, se despliegan 2 tablas en la GUI del SCD (Ver Fig. 63). Junto a cada tabla aparece un botón, que al presionarlo, ejecuta la programación asociada a cada tabla.

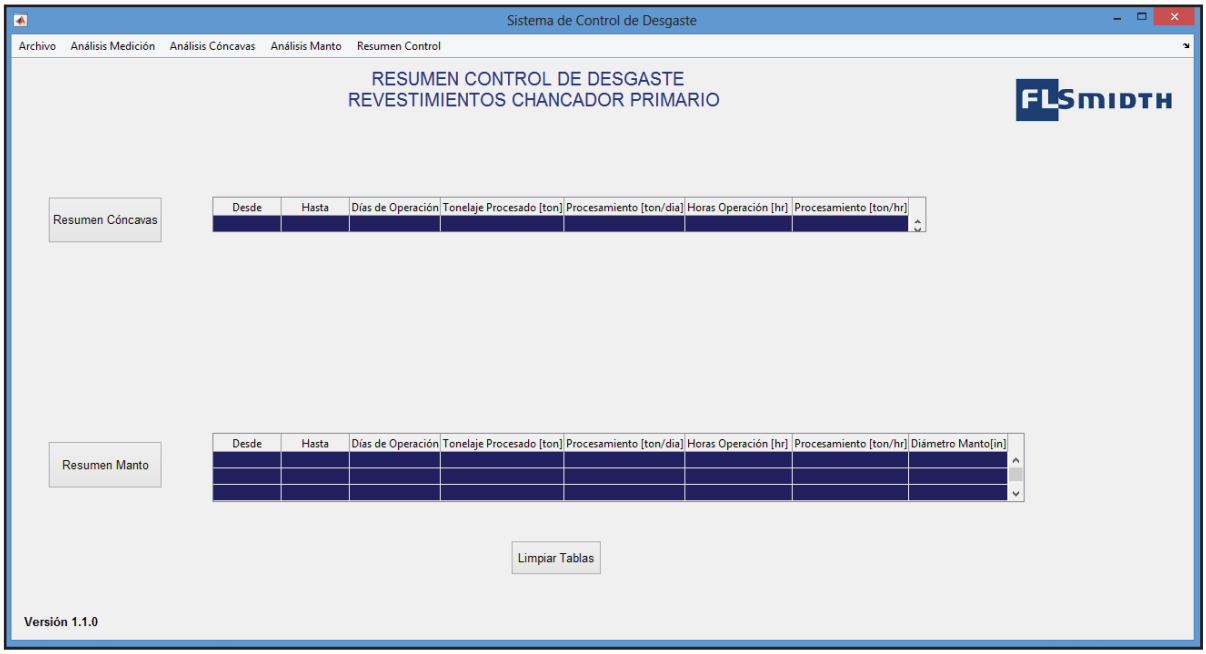


Fig. 63: Pantalla Resumen Control de Desgaste.

Los resultados de las tablas son los siguientes:

Tabla 1: “Resumen Cóncavas”.Tabla con información de controles realizados, se indica:

- “Desde”: Fecha del día en que se instaló el revestimiento.
- “Hasta”: Fecha del día en que el revestimiento es retirado del equipo.
- “Días”: Días transcurridos entre la instalación y el retiro del revestimiento del equipo.
- “Tonelaje procesado”, corresponde a la cantidad de mineral que procesa el Chancador durante el periodo en que se encuentran instalados los revestimientos.
- Procesamiento Promedio ton/día.
- Horas Operación.
- Procesamiento ton/hr.

Tabla 2: “Resumen Manto”.Tabla con información de controles realizados, se indica:

- “Desde”: Fecha del día en que se instaló el revestimiento.
- “Hasta”: Fecha del día en que el revestimiento es retirado del equipo.
- “Días”: Días transcurridos entre la instalación y el retiro del revestimiento del equipo.
- “Tonelaje procesado”, corresponde a la cantidad de mineral que procesa el Chancador durante el periodo en que se encuentran instalados los revestimientos.
- Horas Operación.
- Procesamiento Promedio ton/día.
- Procesamiento ton/hr.
- Diámetro del Manto.

CAPÍTULO VII
EVALUACIÓN ECONÓMICA DE RESULTADOS

En este capítulo, se muestran los pronósticos de fechas de cambio para las Cóncavas durante las campañas N°6, N°7 y N°8, utilizando del modelo predictivo seleccionado en el capítulo V.

Debido a que no existe una cantidad suficiente de mediciones para realizar un pronóstico de cambio de Mantos, se decide evaluar la factibilidad económica de la implementación del sistema de control de desgaste sólo en Cóncavas.

Se presenta un análisis económico que compara la vida útil actualde las Cóncavas, respecto a la vida útil pronosticada de las mismas, con el objetivo de determinar el ahorroasociado.Sin embargo, la finalidad de esta memoria no es la evaluación económica detallada, por lo que se da a conocer un beneficio basado en el estudio de cinco variables, dejando la posibilidad para el desarrollo de esta temática en alguna investigación posterior.

7.1 PRONÓSTICOS DE CAMBIO DE CÓNCAVAS

Los resultados de la implementación del modelo predictivo, parten de la estimación del tonelaje que queda por procesar. A partir de éste, se asocia una fecha de cambio para las Cóncavas.

El procedimiento para la obtención de la fecha pronóstico de cambio es el siguiente:

1. Aplicar el modelo predictivo para obtener un tonelaje total estimado.
2. Calcular el promedio de tonelaje procesado diario, el cual se obtiene dividiendo la cantidad total de tonelajeprocesado entre los días en que se encuentra en operación.
3. Calcular la diferencia de tonelaje entre el total estimado y el de la última medición.

4. Calcular la cantidad de días que deben transcurrir para procesar la diferencia de tonelaje calculada en el punto 3, según el promedio de tonelaje procesado diario.
5. Sumar la cantidad de días calculados en el punto 4, a la fecha de la última medición. Obteniendo la fecha pronóstico de cambio del revestimiento.

En la obtención de los pronósticos de todas las fechas de cambio de Liner, se utiliza el modelo predictivo seleccionado, excepto para:

- Campaña N°6 Liner 1.
- Campaña N°7 Liner 3 y 4.

Para la determinación de las fechas de cambio para éstas(Ver fig.65), se utilizó una tendencia lineal de desgaste correspondiente a las últimas dos mediciones. Se decide aplicar este criterio, ya que al proyectar la curva polinómica de orden 2, se produce un punto de inflexión antes de interceptar el límite de cambio.

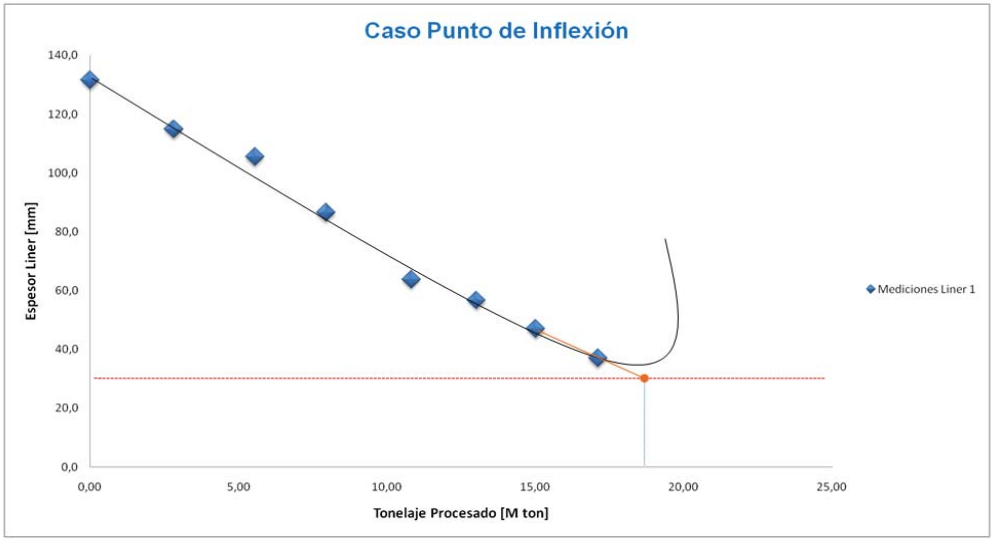


Fig. 64: Caso "Punto de Inflexión".

Los resultados de los pronósticos de fechas de cambio de cada Liner de los set de Cóncavas, correspondientes a las campañas N°6, N°7 y N°8 son expuestos en la tabla 29:

RESUMEN PROYECCIONES DE CAMBIO CAMPAÑA N°6					
Sección	Espesor Controlado [mm]	Espesor de Cambio [mm]	Tonelaje Estimado por Procesar [M ton]	Fecha de Cambio	Fecha Pronóstico de Cambio
LINER 4	60,0	30	18,180109	30-sep-13	**08-abr-14**
LINER 3	51,9	30	13,758585	30-sep-13	**21-feb-14**
LINER 2	49,6	30	5,450553	30-sep-13	**26-nov-13**
LINER 1	31,8	30	1,278560	30-sep-13	**13-oct-13**

RESUMEN PROYECCIONES DE CAMBIO CAMPAÑA N°7					
Sección	Espesor Controlado [mm]	Espesor de Cambio [mm]	Tonelaje Estimado por Procesar [M ton]	Fecha de Cambio	Fecha Pronóstico de Cambio
LINER 4	39,9	30	12,409374	01-jun-14	**01-oct-14**
LINER 3	39,9	30	10,067564	01-jun-14	**08-sep-14**
LINER 2	33,7	30	1,404618	01-jun-14	**14-jun-14**
LINER 1	35,2	30	1,664212	01-jun-14	**17-jun-14**

RESUMEN PROYECCIONES DE CAMBIO CAMPAÑA N°8					
Sección	Espesor Controlado [mm]	Espesor de Cambio [mm]	Tonelaje Estimado por Procesar [M ton]	Fecha de Cambio	Fecha Pronóstico de Cambio
LINER 4	33,1	30	2,139627	03-feb-15	**24-feb-15**
LINER 3	34,2	30	3,034268	03-feb-15	**06-mar-15**
LINER 2	34,0	30	1,217651	03-feb-15	**15-feb-15**
LINER 1	37,0	30	1,728965	03-feb-15	**20-feb-15**

Tabla 29: Resumen Proyecciones de Fecha de Cambio Cóncavas.

A continuación, se seleccionan las fechas para cambios del set de Cóncavas, correspondientes a los menores tonelajes estimados por procesar por campaña. Los resultados de las proyecciones de fecha de cambio de las campañas , se resumen en la tabla 30:

RESUMEN CAMPAÑAS					
Campaña	Fecha Instalación	Fecha Real de Cambio	Fecha Cambio Estimado	Días de Operación Efectivos	Diferencia (Real vs. Estimado)
N°6	09-mar-13	30-sep-13	13-oct-13	203	13,39
N°7	01-oct-13	01-jun-14	14-jun-14	239	13,84
N°8	02-jun-14	03-feb-15	15-feb-15	240	12,48

RESUMEN			
1 SET CÓNCAVAS	Duración Promedio [días]	Promedio Vida Útil por Campaña [días]	Total Estimado[días]
	227	13	241

Tabla 30: Resumen Campañas.

Los días efectivos de operación, han sido obtenidos a partir de la información de tonelajes procesados diarios por el Chancador PC2, facilitados por la minera "Los Pelambres".

7.2 ANÁLISIS ECONÓMICO

De acuerdo a los resultados expuestos anteriormente, el promedio de extensión de la vida útil por campaña del revestimiento es de 13días. Al proyectar en el tiempo estos 13 días, se concluye que aplicando el modelo predictivo durante 19 campañas de Cóncavas en el Chancador PC2, se tendrían acumulados 247 días de vida útil del revestimiento, ahorrando una campaña de Cóncavas completa en un tiempo de12 años, 6 meses y 7 días.

El ahorro de una campaña de Cóncavas, tiene los siguientes beneficios económicos para la compañía minera:

- Aumento de la disponibilidad del Chancador.
- Ahorro de la compra de un set de Cóncavas.
- Ahorro del costo de la mantención correspondiente al Set de Cóncavas.

A continuación, se muestra la comparación entre dos flujos de cajas de gastos simplificados proyectados en un horizonte de 13 años (ver tablas 33 y 34). El primer flujo corresponde a la proyección de gastos actuales (sin sistema de control de desgaste), mientras que el segundo flujo corresponde a la proyección de gastos con la implementación del sistema de control de desgaste.

En estos flujos de caja se consideran las siguientes variables:

1. Compra de Set de Cóncavas: La compra de un set de Cóncavas (4 Liners), tiene asociados gastos en cuanto a fundición, embalajes, fletes, gastos de aduana y seguros. El valor total es de USD$320.000.
2. Mantención correspondiente al cambio de Cóncavas: La duración de esta mantención son 72 horas. El costo del servicio de mantención realizado por parte de FLSmidth, tiene asociados los siguientes ítems:
    - Remuneraciones: Personal directo e indirecto.

- Equipos y Herramientas: Materiales, herramientas y equipos.
- Transporte: Arriendo de vehículos, transporte Personal, gastos de viaje.
- Gastos Generales: Alojamiento, alimentación, elementos de protección personal, instalación de faena y seguros.

Esta mantención, tiene un costo total de 5.420 UF.

3. Servicio de control de Desgaste: Consiste en una propuesta técnico-económica realizada por FLSmidth, en la que se indican plazos de entrega de resultados, costos asociados al servicio, términos y condiciones comerciales, consideraciones y alcances por parte de la minera donde se desarrolla el seguimiento y control de desgaste de los revestimientos del equipo.

   Los costos asociados a la realización del servicio de medición y control de desgaste mensual, se dividen en:

   - Mano de Obra: Técnico especialista en terreno (quien realiza la medición), personal para procesamiento de nubes de puntos y un ingeniero analista especialista.
   - Equipo y Maquinaria: Instrumento de medición TLS y arriendo de vehículo.
   - Otros: Combustible para vehículo, alimentación del personal, mantención del instrumento de medición (calibración).

   El costo del servicio de control de desgaste para cada medición es de USD$12.000.

4. Disponibilidad del Equipo: Corresponde a las horas ahorradas en mantenimiento de un cambio de Cóncavas (72 hrs). Para que se concrete esta disponibilidad en un beneficio económico, se deben utilizar las 72 horas en procesar mineral, de lo contrario, no se convierte en un beneficio económico. El valor referencial de una hora de disponibilidad adicional del Chancador es USD$150.000 (valor obtenido de minera Los Pelambres).

Los costos asociados a los ítems 1, 2 y 3, fueron obtenidos de cotizaciones y órdenes de compra facilitados por FLSmidth. Debido a que es información reservada de la empresa, no se adjuntan como Anexo.

El valor del dólar observado durante el mes de junio 2016 es de CLP $681,87 (Fuente: SII), razón por la cual se decide establecer para efectos de cálculo un valor de dólar correspondiente a CLP $680.

El valor de la UF durante el mes de junio 2016 es de CLP $26.027,04 (Fuente: SII), razón por la cual se decide establecer para efectos de cálculo un valor de UF correspondiente a CLP $26.000.

Las variables consideradas en los flujos de caja, se resumen en la siguiente tabla:

COSTOS CONSIDERADOS EN FLUJOS DE CAJA		
Ítem	Valores	Valores [CLP]
Set de Cóncavas	$320.000 [USD]	$ 217.600.000
Mantención Cóncavas	5420 [UF]	$ 140.920.000
Servicio Control de Desgaste	$ 12.000 [USD]	$ 8.160.000
Disponibilidad Chancador por hora	$ 150.000 [USD]	$ 102.000.000

Tabla 31:Ítems considerados en Flujo de Caja.

El criterio "Campañas por año", será utilizado en los flujos de caja y se definen como la cantidad de set de cóncavas que se utilizan en 1 año, es decir:

$$Campañas\ por\ Año\ (Duración\ Actual) = \frac{365}{227} = 1{,}6079\ \frac{Set\ de\ Cóncavas}{Año}$$

$$Campañas\ por\ Año\ (Con\ control\ de\ desgaste) = \frac{365}{241} = 1{,}5172\ \frac{Set\ de\ Cóncavas}{Año}$$

RESUMEN CAMPAÑA ACTUAL		
1 SET CÓNCAVAS	Duración [días]	Campañas por Año
	227	1,6079

RESUMEN CAMPAÑA CON CONTROL DE DESGASTE			
1 SET CÓNCAVAS	Duración [días]	Campañas por Año	Años para lograr objetivo
	241	1,5172	12,52

Tabla 32: Resumen duración anual de campañas

Cálculo de valores en cada período

Los valores utilizados para los periodos en análisis no consideran variación de IPC ni fluctuaciones del precio de la moneda estudiada.

Sin sistema de Control de desgaste

1. Set de Cóncavas:

$$Cóncavas\ por\ Año\ (Duración\ Actual) * Valor\ Set\ Cóncavas:$$
$$1{,}6079 * \$217.600.000 = \$349.885.463$$

2. Mantención:

$$Cóncavas\ por\ Año\ (Duración\ Actual) * Valor\ Mantención\ Cóncavas:$$
$$1{,}6079 * \$140.920.000 = \$226.589.427$$

Con sistema de Control de desgaste

1. Set de Cóncavas:

$$Cóncavas\ por\ Año\ (Con\ control\ de\ desgaste) * Valor\ Set\ Cóncavas:$$
$$1{,}5172 * \$217.600.000 = \$330.152.395$$

2. Mantención:

$$Cóncavas\ por\ Año\ (Duración\ Actual) * Valor\ Mantención\ Cóncavas:$$
$$1{,}5172 * \$140.920.000 = \$213.810.090$$

3. Disponibilidad:

$$Horas\ ahorradas\ en\ mantención\ por\ año: \frac{72\ \ hrs}{13} = 5{,}5384\ hrs$$

$$Horas\ ahorradas\ en\ mantención\ por\ año * Valor\ Disponibilidad:$$
$$5{,}5384 * 102.000.000 = \$564.923.077$$

4. Servicio de Control de Desgaste en Revestimientos:

$$Controles\ de\ desgate\ al\ año * Valor\ Servicio\ de\ Control\ de\ desgaste:$$

$$12 * 8.160.0000 = \$97.920.000$$

Definidos los periodos, criterios, ítems y cálculos para la evaluación del económica del sistema, se presentan los flujos de caja de ambas proyecciones:

FLUJO DE CAJA DE GASTOS SIN SISTEMA DE CONTROL DE DESGASTE EN REVESIMIENTOS							
Ítem	0	1	2	3	4	5	6
Set de Cóncavas	$ 0	$ 349.885.463	$ 349.885.463	$ 349.885.463	$ 349.885.463	$ 349.885.463	$ 349.885.463
Mantención	$ 0	$ 226.589.427	$ 226.589.427	$ 226.589.427	$ 226.589.427	$ 226.589.427	$ 226.589.427
Disponibilidad	$ 0	$ 0	$ 0	$ 0	$ 0	$ 0	$ 0
Servicio de Control de Desgate de Revestimientos	$ 0	$ 0	$ 0	$ 0	$ 0	$ 0	$ 0
FLUJO DE CAJA	$ 0	-$ 576.474.890	-$ 576.474.890	-$ 576.474.890	-$ 576.474.890	-$ 576.474.890	-$ 576.474.890

FLUJO DE CAJA DE GASTOS SIN SISTEMA DE CONTROL DE DESGASTE EN REVESIMIENTOS							
Ítem	7	8	9	10	11	12	13
Set de Cóncavas	$ 349.885.463	$ 349.885.463	$ 349.885.463	$ 349.885.463	$ 349.885.463	$ 349.885.463	$ 349.885.463
Mantención	$ 226.589.427	$ 226.589.427	$ 226.589.427	$ 226.589.427	$ 226.589.427	$ 226.589.427	$ 226.589.427
Disponibilidad	$ 0	$ 0	$ 0	$ 0	$ 0	$ 0	$ 0
Servicio de Control de Desgate de Revestimientos	$ 0	$ 0	$ 0	$ 0	$ 0	$ 0	$ 0
FLUJO DE CAJA	-$ 576.474.890	-$ 576.474.890	-$ 576.474.890	-$ 576.474.890	-$ 576.474.890	-$ 576.474.890	-$ 576.474.890

Tabla 33: Flujo de Caja de Gastos, sin control de desgaste.

FLUJO DE CAJA DE GASTOS CON SISTEMA DE CONTROL DE DESGASTE EN REVESIMIENTOS							
Ítem	0	1	2	3	4	5	6
Set de Cóncavas	$ 0	$ 330.152.395	$ 330.152.395	$ 330.152.395	$ 330.152.395	$ 330.152.395	$ 330.152.395
Mantención	$ 0	$ 213.810.090	$ 213.810.090	$ 213.810.090	$ 213.810.090	$ 213.810.090	$ 213.810.090
Disponibilidad	$ 0	$ 564.923.077	$ 564.923.077	$ 564.923.077	$ 564.923.077	$ 564.923.077	$ 564.923.077
Servicio de Control de Desgate de Revestimientos	$ 0	$ 97.920.000	$ 97.920.000	$ 97.920.000	$ 97.920.000	$ 97.920.000	$ 97.920.000
FLUJO DE CAJA	$ 0	-$ 76.959.408	-$ 76.959.408	-$ 76.959.408	-$ 76.959.408	-$ 76.959.408	-$ 76.959.408

FLUJO DE CAJA DE GASTOS CON SISTEMA DE CONTROL DE DESGASTE EN REVESIMIENTOS							
Ítem	7	8	9	10	11	12	13
Set de Cóncavas	$ 330.152.395	$ 330.152.395	$ 330.152.395	$ 330.152.395	$ 330.152.395	$ 330.152.395	$ 330.152.395
Mantención	$ 213.810.090	$ 213.810.090	$ 213.810.090	$ 213.810.090	$ 213.810.090	$ 213.810.090	$ 213.810.090
Disponibilidad	$ 564.923.077	$ 564.923.077	$ 564.923.077	$ 564.923.077	$ 564.923.077	$ 564.923.077	$ 564.923.077
Servicio de Control de Desgate de Revestimientos	$ 97.920.000	$ 97.920.000	$ 97.920.000	$ 97.920.000	$ 97.920.000	$ 97.920.000	$ 97.920.000
FLUJO DE CAJA	-$ 76.959.408	-$ 76.959.408	-$ 76.959.408	-$ 76.959.408	-$ 76.959.408	-$ 76.959.408	-$ 76.959.408

Tabla 34: Flujo de Caja de Gastos, con control de desgaste.

Para evaluar económicamente ambos casos de estudio, se utiliza el concepto de Valor Presente Neto (VPN), el cual representa los beneficios económicos asociados a la implementación del sistema a lo largo del periodo en el que están siendo evaluados, transformando los valores de los periodos proyectados a valores actuales.

Se considera una tasa de descuento del 10%, ya que es el valor utilizado por faenas mineras para evaluaciones de proyectos.

- VPN Sin control de desgaste: $ - 4.094.906.485.
- VPN Con control de desgaste: $- 546.670.087.

Los valores de VPN, muestran una diferencia sustancial en los gastos durante los 13 años próximos, quedando clara la conveniencia de la utilización de un sistema de control de desgaste como el desarrollado en este estudio.

CAPÍTULO VIII
CONCLUSIONES

A continuación, se expresa el alcance que tuvo la realización de esta tesis, gracias al desarrollo y análisis de los perfiles de desgaste de cada medición de los revestimientos de un Chancador primario de tipo giratorio (Cóncavas y Mantos).

Los resultados obtenidos respecto al comportamiento de desgaste particular de los revestimientos permitieron analizar la tendencia de desgaste de los mismos, estableciendo un modelo predictivo que permite determinarel tonelaje que aún puede ser procesado, para luego ser asociado a una fecha de cambio del revestimiento.

Para la utilización de este modelo predictivo, se ha desarrollado una herramienta computacionalque principalmente es capaz de:(1) mostrar al usuario el perfil de desgaste correspondiente a la medición (proveniente de la lectura de un archivo Excel) ,(2) indicarel valor de espesor del punto con mayor desgaste de la medición y la ubicación del mismo y(3) establecer fechas de cambio de revestimiento de acuerdo a un cierto tonelaje procesado de mineral.

El modelo presentado responde a la problemática descrita por FLSmidth. Si bien se analizó un equipo en particular, las características de la herramienta computacional permiten su posterior aplicación a las variadas faenas mineras donde se encuentran instalados estos equipos. En efecto, la empresa actualmente se encuentra evaluando la implementación real de esta herramienta en otras instalaciones mineras.

Analizados los perfiles de desgaste para las campañas N°6, N°7 y N°8 de minera "Los Pelambres", se concluye que los revestimientospodrían tenerun promedio de 13 días de extensión de vida útil, los cuales actualmente no están siendo utilizados. Al proyectar estos resultados en el tiempo se determina la posibilidad de ahorrar una campaña de Cóncavas, lo que trae consigo el ahorro de repuestos y mantenimiento, así como una mayor disponibilidad del equipo. De esta manera, se aumenta la productividad de la industria minera minimizando los costos asociados a la producción de mineral.

La implementación de la herramienta computacional desarrollada, presenta beneficios tanto a la empresa para la cual se realiza la presente memoria como para la compañía minera donde pudiese ser implementado el sistema de control de desgaste. En primer lugar, al efectuar una rutina programada, se reduce la posibilidad de cometer errores humanos en la entrega de resultados. Así también, se disminuye el tiempo empleado en el procesamiento de la información proveniente de las mediciones TLS, gracias a esta disminución de tiempoes posible entregar los resultados a la compañía minera en un periodo menor y optimizar las horas de trabajo del ingeniero encargado del análisis de las mediciones, para que pueda desarrollar otras labores dentro de la empresa.

El implemento de este sistema de control de desgaste, plantea nuevos desafíos y posibilidades para la industria minera. Por una parte, se podría mejorar la coordinación entre el área de chancado y la planta de procesos en cuanto a la planificación de los mantenimientos.Además, una buena predicción de la fecha de cambio de los revestimientos, protege al equipo del desgaste excesivo, permite mejorar el manejo de inventarios y la toma de decisiones con respecto a la compra de revestimientos.

Por otro lado, la información que entrega este sistema permite evaluar nuevos diseños en perfiles de Cóncavas y Mantos con la posibilidad de optimizar el proceso de trituración de mineral y mejorar parámetros de operación, como modificar las alturas del eje principal en relación al nivel de desgaste que tiene el revestimiento, efectuar un control dimensional de los diámetros de los Mantos utilizados o regular la forma de alimentar el Chancador.

NOMENCLATURA

BOL: Base of Line, abreviación línea base.

CAD: Diseño asistido por computadora.

CCV: Abreviación para Cóncavas.

CSS: CloseSideSetting, corresponde al ajuste de lado cerrado del Chancador.

GUI: Graphicaluser interface, interfaz gráfica de usuario.

in: Inch, pulgada.

kWh: Kilowatt hora.

mm: Milímetro.

MTO: Abreviación para Mantos.

OSS: Open SideSetting, corresponde a la dimensión de apertura de descarga.

R^2: Coeficiente de determinación.

ROM: Run of mine, mineral tal como sale de la mina.

SCD: Sistema de Control de Desgate.

TLS: Terrestrial Laser Scanner.

ton/h: Tonelada por hora.

ton: Tonelada.

µm: Micrómetro.

.xlsx: Archivo en formato Excel.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

Bond, F. C (1952) Thethirdtheory of comminution. Trans SME/AIME, 193, 484-494

Chapra, S. &Canale, R. (2007) *Métodos numéricos para ingenieros.* México: McGraw-Hill Interamericana

ChileanCopperComission (2016) *World Metal Statistics*. Recuperado de http://www.cochilco.cl/productos/boletin.asp?anio=2016&mes=02&tabla=tabla34

Cochilco (2016) *Estadísticas de precios de cobre*. Recuperado de http://www.cochilco.cl/estadisticas/grafico.asp?tipo_metal=1

FLSmidthMinerals (2009) *Installation, operation and maintenance manual for FFE TRAYLOR 60"x110" TYPE "TC"*

García, S.G (2012). *Ingeniería de Mantenimiento, Manual práctico para la gestión eficaz del Mantenimiento*. Renovetec

Márquez, A. (2010) *Un tratado sobre el escaner terrestre TLS*. MECINCA

Martínez, E. (2005) Errores frecuentes en la interpretación del coeficiente de determinación lineal. *Anuario Jurídico y Económico Escurialense,* XXXVIII, 315-332

Minera Los Pelambres (2016) *Tonelajes procesados diarios*.

Napier-Munn, T. J., Morrel, S., Morrison, R. D., Kojovic, T. (1996) *Mineral comminutioncircuits: theiroperation and optimisation*. Brisbane: JKMRC

Rimoldi, C., Mundo,L. (2012) *Ensayo no destructivo por método de ultrasonido.* Cátedra ensayos no destructivos. Recuperado de http://www.aero.ing.unlp.edu.ar/catedras/archivos/Apunte%20Ultrasonido%202012.pdf

Sedriks, A. J &Mulhearn, T. O. (1963) Mechanics of cutting and rubbing in simulatedabrasiveprocess. *Wear*, vol. 7, pp. 457-466,

ANEXOS

ANEXO 1

RESULTADO DE MEDICIONES CÓNCAVAS POR CAMPAÑA

En fondo verde se destaca mínimo espesor controlado por cada Liner.

1. Campaña N°6

Sección	Eje Y [mm]	09-mar-13	09-abr-13	08-may-13	04-jun-13	03-jul-13	24-jul-13	13-ago-13	04-sep-13	30-sep-13
Liner 4	3150	88,2	86,7	86,2	84,2	84	83,7	83	82,7	79
	3100	87,7	85,7	85,1	84	83,7	83,6	82,1	81,1	80,9
	3050	87,2	85,2	84	83,6	83,2	81	80,6	79,6	78,8
	3000	86,7	84,7	84	82,7	82,1	79,1	78,5	78,1	76,8
	2950	86,2	84,2	82,2	81,9	80,5	77,5	76,5	75,9	74,7
	2900	85,6	84	83,3	81,6	78,9	75,9	74,9	73,3	72,9
	2850	85,2	84	82,3	81,2	77,5	74,5	73,5	71,5	70,8
	2800	85,3	83,9	81,6	80,3	76,3	72,9	72,3	69,5	68,9
	2750	84,9	84	81,1	79,2	75,2	71,3	71,2	67,4	67,3
	2700	85,2	84	80,6	78,6	74,6	69,8	68	65,8	65,8
	2650	84,5	84	80,1	78,1	74,1	68,3	68,3	64,3	63,8
	2600	84	83,6	80	78	73,6	67,6	66,2	63,6	63,1
	2550	84,6	83,1	80	78	73,1	67,1	66,9	63,1	62,2
	2500	84,9	83	80	77,5	72,5	66,5	66,1	62,1	61,1
	2450	85,9	83	80	77	72	66,0	65,8	61	60

Sección	Eje Y [mm]	09-mar-13	09-abr-13	08-may-13	04-jun-13	03-jul-13	24-jul-13	13-ago-13	04-sep-13	30-sep-13
Liner 3	2400	85	82,7	80	77,3	72,3	66,6	66,3	61,6	60,6
	2350	84	82,4	80	77,7	72,7	67,3	66,7	62,3	61,3
	2300	83	82	80	78	73	68	67	63	62
	2250	82,5	81,5	79,5	77,5	73	68	67,5	63,5	62,5
	2200	82	81	78,9	76,9	72,9	67,9	-	64	63
	2150	82	81	78,4	76,4	71,8	67,4	-	64	63
	2100	82,1	81	78	76	71	67	-	63,9	62,9
	2050	82,6	81	78	75,4	70,4	66,4	-	62,8	61,8
	2000	83	81	78	74,9	69,9	65,8	-	61,8	60,8
	1950	83	81	78	74,4	69,4	64,8	-	60,8	59,8
	1900	83	81,1	78	74	68,8	63,8	-	59,7	58,6
	1850	83	81,7	78	74	68,4	63,4	-	58,7	57,1
	1800	83,1	82	78	73,8	67,8	62,8	62,6	57,6	55,6
	1750	83,7	82	78	73,3	67,3	62,3	61,7	56,7	54,7
	1700	84,5	81,8	77,8	72,8	66,6	61,6	60,6	55,6	53,4
	1650	86,1	81,3	77,3	72,3	65,6	60,6	59,6	54,6	51,9

Sección	Eje Y [mm]	09-mar-13	09-abr-13	08-may-13	04-jun-13	03-jul-13	24-jul-13	13-ago-13	04-sep-13	30-sep-13
Liner 2	1600	87,6	81,4	77,4	72,3	65,2	60,1	59,1	54,1	51
	1550	89,2	82,5	78,5	73,1	65,8	60,4	59,4	54,4	51
	1500	90,7	83,4	79,4	73,8	66,2	60,6	59,6	54,6	-
	1450	92,3	84,5	80,5	74,6	66,8	60,9	59,9	54,9	-
	1400	93,8	86	81,8	75,8	67,5	61,2	60,2	55	-
	1350	95,3	88	83,3	77,3	68,5	61,7	60,7	55	-
	1300	97,4	90,7	85,4	78,9	69,6	62,3	61	55	51
	1250	100	93,7	88	80,4	70,6	62,8	61	55	51
	1200	102,8	96,5	90,5	82,2	71,6	63,3	61,6	55,3	50,7
	1150	105,9	99	93	84,2	72,6	63,8	62,6	55,8	50,2
	1100	108,6	101,6	95,6	86,3	74	64,6	63,3	56,3	50,3
	1050	111,1	104,1	98,1	88,3	75,5	65,7	63,8	56,8	50,8
	1000	114,3	107	100,7	90,3	77	67	64,7	57,7	51,3
	950	117,9	110	103,2	92,3	78,5	68,5	65,7	58,7	51,8
	900	120,7	111,7	104,7	93,3	79	69,3	66	58,3	51,6
	850	123,3	112,7	105,7	93,8	79	69,8	66	57,3	51,1
	800	124,5	112,6	105,6	93,1	77,8	69,1	64,8	55,8	49,6

Sección	Eje Y [mm]	09-mar-13	09-abr-13	08-may-13	04-jun-13	03-jul-13	24-jul-13	13-ago-13	04-sep-13	30-sep-13
Liner 1	750	125,2	111,9	104,9	91,7	76,1	67,7	63,1	54,1	47,6
	700	125,8	111,1	104,1	90,3	74,4	66,3	61,4	52,4	45,4
	650	126,8	111	103,3	88,5	72,5	64,5	59,5	50,5	42,7
	600	128,5	111,7	102,2	87,2	69,7	62,4	56,7	46,9	39,7
	550	129,8	112,8	102,8	86,3	67,5	60,5	53,7	44,5	36,7
	500	130,8	113,8	103,8	86	65,5	58,5	50,7	41,7	33,7
	450	130,2	114	104	85,2	63,5	56,5	47,7	38	32,2
	400	131,5	114,8	105,5	86,5	63,8	56,8	47	37	31,8
	350	134,4	117,4	108,4	89,4	66,4	58,6	48,6	37,8	32,1
	300	138,2	121,2	111,4	93,2	71	62,2	52,2	41,2	32,4
	250	142,3	125,3	115,3	97,3	76,1	67,9	57,9	46,1	36,1
	200	147,3	130,3	122	103,2	83	75	65,9	54,7	44,7
	150	151,5	137,2	129,2	111,1	89,3	83,1	75	64	54,9
	100	155,8	143,6	138,4	121,4	98,4	91,5	85,4	75,3	66,3
	50	157	146,9	144,9	129,8	104,9	98,8	92,8	83,8	76,8
	0	157	147	145	130	105	99	93	84	77

2. Campaña N°7

Sección	Eje Y [mm]	01-oct-13	05-nov-13	27-nov-13	18-dic-13	08-ene-14	05-mar-14	25-mar-14	22-abr-14	06-may-14
Liner 4	3150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3050	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3000	70,3	66,7	65,7	61,7	60,1	57,4	57,1	56,1	49,7
	2950	70,8	66,2	65,2	61,2	58,5	56,3	55,5	54,5	49,1
	2900	71,4	65,9	64,7	60,7	57,4	55,4	54	53	48,7
	2850	71,9	65,6	64,2	60,2	56,3	54,3	52,5	51,5	48,1
	2800	72,3	65,2	64,3	59,6	55,2	52,9	50,5	49,9	47,6
	2750	72,9	65,2	64,9	59,2	54,3	51,4	48,5	48,4	47,1
	2700	73,4	68,4	65	58,6	53,2	50,2	47,2	46,8	46,6
	2650	73,9	68,9	65	58,1	52,1	49,1	46,1	46	45,2
	2600	74	69,4	65	58	51,6	48,6	45,6	45,2	44,2
	2550	74	69,9	65	58	51,1	48,1	45,4	44,1	43,1
	2500	75,8	70	65,5	57,5	51	47,6	43,6	42,6	42,3
	2450	77,8	70	66	58	57,8	51	47,1	43,1	42,1

Sección	Eje Y [mm]	01-oct-13	05-nov-13	27-nov-13	18-dic-13	08-ene-14	05-mar-14	25-mar-14	22-abr-14	06-may-14
Liner 3	2400	77,3	70,3	66,6	58,9	58,6	51,6	47,9	43,9	42,6
	2350	76,7	70,7	67,3	60	59,3	52,3	49	45	43,3
	2300	76	71	68	61	60	53	50	46	44
	2250	76	71,5	68,5	61,5	61	-	51	47	45,5
	2200	76	72	69	62	-	56	52,1	48,1	47,1
	2150	76,5	72,5	69	62,5	-	56,5	53,1	49,1	48,1
	2100	77,1	73	69,1	63,1	62,1	57	54	50,1	49
	2050	78,1	73	69,6	63,6	62,6	57	54	50,6	49
	2000	79	73	70	64	62,9	56,9	53,9	50,9	48,9
	1950	79,6	73,6	70	64,6	62,4	56,4	53,4	50,4	48,4
	1900	80,1	74,1	70,1	65,2	62	56	52,9	49,8	47,9
	1850	80,6	74,6	70,6	66,2	-	56	52,3	48,7	47,3
	1800	81,1	75,1	71,1	67,1	62,1	55,9	51,9	47,9	46,8
	1750	81,6	75,6	71,6	67,6	62,6	55,3	51,3	47,3	45,7
	1700	82,2	76	72	68,2	62,9	54,9	50,9	46,7	44,7
	1650	82,7	76	72	68,7	62,3	54,3	50,3	45,7	43,7

Sección	Eje Y [mm]	01-oct-13	05-nov-13	27-nov-13	18-dic-13	08-ene-14	05-mar-14	25-mar-14	22-abr-14	06-may-14
Liner 2	1600	83,4	76,4	72,3	69,5	62,2	54,0	50,0	44,9	42,9
	1550	84,4	77,4	73,1	70,8	62,7	54,0	50,0	44,7	42,7
	1500	85,4	78,4	78,8	72,0	63,2	54,0	50,0	44,4	42,4
	1450	86,4	79,4	74,6	73,3	63,7	54,0	50,0	44,1	42,1
	1400	88,1	80,9	75,7	74,9	64,4	54,4	50,2	44,2	-
	1350	90,7	83,0	77,2	77,0	65,5	55,5	50,8	44,8	-
	1300	93,4	85,2	78,9	78,7	66,7	56,2	51,2	45,2	-
	1250	96,5	87,8	81,0	80,2	68,2	56,7	51,7	45,7	42,0
	1200	99,3	90,3	83,1	81,5	69,5	57,3	52,0	45,8	42,0
	1150	101,8	92,8	85,0	82,5	70,5	57,7	52,0	45,2	42,0
	1100	104,6	95,4	87,4	83,8	71,8	58,5	52,2	45,2	42,2
	1050	107,8	98,0	90,0	85,4	73,4	59,6	52,8	45,8	42,3
	1000	111,3	101,0	92,7	86,9	75,5	60,9	54,2	46,6	42,6
	950	115,4	104,6	95,8	88,4	78,0	62,4	56,2	47,6	43,6
	900	118,9	107,6	98,6	89,6	80,0	64,0	57,3	48,3	44,3
	850	121,8	110,0	101,0	90,6	81,4	65,4	57,8	48,8	44,8
	800	124,5	112,2	102,8	91,2	82,8	66,2	58,2	49,0	44,7

Sección	Eje Y [mm]	01-oct-13	05-nov-13	27-nov-13	18-dic-13	08-ene-14	05-mar-14	25-mar-14	22-abr-14	06-may-14
Liner 1	750	126,8	114,3	104,2	91,5	84,2	66,5	58,5	49	44,4
	700	129,2	116,3	105,5	91,9	85,5	66,9	58,9	49	44,1
	650	130,7	117	106,7	92	86	67	59	48,3	44,0
	600	133,7	119,7	109	92,7	87,3	68,3	60,3	48,7	44,0
	550	136,3	123,7	112,7	95,7	90,7	71	63	51	46
	500	139,1	126,4	116,1	99,1	94,1	74,1	65,4	53,4	48,4
	450	142	129,6	119	102	97	76,3	68	56	50,3
	400	145,1	132,4	121,4	104,4	99,4	78,4	70,4	57,7	51,7
	350	148,1	134,4	123,4	106,4	101,4	80,4	71,7	58,7	52,7
	300	150,4	135,7	124,7	107,7	103,4	81,7	73,4	59,7	53,7
	250	152,4	138,1	127,1	110,1	105,4	84,1	76,1	62,8	56,1
	200	155,2	141,2	129,5	113,9	108,2	87,2	79,2	66,2	59,9
	150	157,5	144,3	133,8	118,8	112,8	91,1	83,8	71,6	64,8
	100	162,3	147,4	139	124,8	117,2	95,2	89	77,8	71,6
	50	173,1	157,6	151,3	138,1	128,5	106,8	98,1	86,2	80,2
	0	185	169,4	165,2	153,2	141,4	120,1	108	95	89

3. Campaña N°8

Sección	Eje Y [mm]	02-jun-14	22-jul-14	19-ago-14	09-sep-14	19-nov-14	03-feb-15
Liner 4	3150	68,8	-	-	61,2	58,7	52,7
	3100	69,2	-	-	60,7	57,1	51,1
	3050	69,8	-	-	60,2	55,6	49,6
	3000	70,3	60,4	-	59,7	54,1	48,1
	2950	70,8	60,2	60	59,1	52,5	46,5
	2900	71,4	60	59,7	58,7	51,4	44,7
	2850	71,8	60	59,1	58,1	50,3	42,6
	2800	72,3	60,3	59	58	49,2	40,9
	2750	72,9	60,9	59	58	48,3	39,4
	2700	73,4	61	59	57,6	47,2	37,8
	2650	73,9	61	59	57,1	46,2	36,2
	2600	74	61,4	59,4	57,4	45,8	35,2
	2550	74	61,9	59,9	57,9	45,3	34,1
	2500	75,7	62,4	60,4	58,4	44	33,5
	2450	77,9	63	61	59	46	33,1

Sección	Eje Y [mm]	02-jun-14	22-jul-14	19-ago-14	09-sep-14	19-nov-14	03-feb-15
Liner 3	2400	77,4	63,6	61,9	59,9	47,2	34,2
	2350	76,6	64,3	62,9	60,9	48,6	35,6
	2300	76	65	64	62	50	37
	2250	76	65	64	62,5	51	38,5
	2200	76	65	64	63	52	40
	2150	76,6	65,6	64,6	63,6	53,1	41,6
	2100	77,1	66	65	64	54	43
	2050	78,1	66,5	65,5	64,5	54	43
	2000	79,1	67,2	66,1	65	54	42,9
	1950	79,6	68,2	66,6	65	54	42,4
	1900	80,1	69,1	67,1	65,1	54	41,9
	1850	80,6	69,6	67,6	65,6	54	41,4
	1800	81,1	70,2	68	66,1	54	40,9
	1750	81,6	71,2	68	66,6	54	40,3
	1700	82,2	72	68	67	53,9	39,7
	1650	82,7	72	68	67	53,3	38,7

Sección	Eje Y [mm]	02-jun-14	22-jul-14	19-ago-14	09-sep-14	19-nov-14	03-feb-15
Liner 2	1600	83,3	72,2	68,2	67,1	53	37,8
	1550	84,4	72,7	68,7	67,3	53	37,3
	1500	85,4	73,2	69,2	67,6	53	36,8
	1450	86,5	73,7	69,7	67,9	53	36,3
	1400	88,1	74,9	70,7	68,7	53,2	36
	1350	90,7	76,9	72,2	70,2	53,7	36
	1300	93,5	79,5	74	71,7	54,3	35,8
	1250	96,5	82,5	76	73,3	54,8	35,3
	1200	99,3	85,3	78,1	75,3	55,6	34,8
	1150	101,9	87,9	80,1	77,9	56,6	34,3
	1100	104,7	90,7	82,7	80,4	57,6	34
	1050	107,7	93,7	85,7	82,9	58,6	34
	1000	111,3	97,3	88,7	85,7	60,4	34,6
	950	115,4	101,4	91,8	88,8	63	35,6
	900	118,9	104,5	94,5	91,2	64,9	36,3
	850	121,9	107,1	97,1	93,3	66,5	36,8
	800	124,5	108,7	98,5	94,5	67,2	37

Sección	Eje Y [mm]	02-jun-14	22-jul-14	19-ago-14	09-sep-14	19-nov-14	03-feb-15
Liner 1	750	126,8	109,6	99,1	95,1	67,5	37
	700	129,2	110,6	99,8	95,8	67,9	37
	650	131,6	112	101	96,6	68,3	37,6
	600	134,2	113,5	102,5	97,7	68,9	38,7
	550	136,7	116,7	105,7	100	70,4	41
	500	139,2	120,7	109,7	103,1	72,4	44,1
	450	142	124	113,4	106,4	74	46
	400	145,1	127,1	116,9	109,9	75,5	47,5
	350	147,7	129	119,3	112	77,3	48,3
	300	150,3	130,6	121,4	113,6	79,4	48,9
	250	152,8	133,5	124,1	116,1	82,5	51,1
	200	155,3	137	127,2	119,2	86	54,2
	150	158,8	142,1	131,8	123,1	90,1	59,2
	100	162,6	147,8	137	127,2	94,2	64,9
	50	174,7	161,5	149,4	139,4	106,4	78,6
	0	188,7	177,1	163,5	153,4	120,4	94,1

ANEXO 2

RESULTADO DE MEDICIONES MANTOS POR CAMPAÑA

Se destaca en fondo verde el máximo nivel de desgaste controlado por cada sección del manto.

1. Campaña N°6: Diámetro Manto 113 [in]

SECCIÓN	EJE Z (mm)	08-may-13	04-jun-13	03-jul-13	24-jul-13	Nivel de Desgaste (%)
SUPERIOR	3150	76,3	69,3	67,3	66,2	13,2
	3100	77,8	70,8	68,8	67,2	13,6
	3050	79,4	72,4	70,4	68,3	14,0
	3000	80,9	73,9	71,9	69,3	14,3
	2950	82,6	75,6	73,6	70,4	14,8
	2900	84,6	77,6	75,6	71,9	15,0
	2850	86,7	79,6	77,6	73,6	15,1
	2800	88,7	81,1	79,1	75,1	15,3
	2750	90,2	82,6	80,6	76,4	15,3
	2700	90,7	84,1	82,1	77,4	14,7
	2650	93,3	85,6	83,6	78,6	15,8
	2600	98,9	87,2	85,2	80,2	18,9
	2550	103,6	88,7	86,7	81,7	21,1
	2500	107,1	90,2	88,2	83,2	22,3
	2450	110,6	91,7	89,6	84,7	23,4
	2400	113,9	93,3	91	86,3	24,2
	2350	117,2	94,8	92,3	87,8	25,1
	2300	120,4	96,3	93,6	89,3	25,8
	2250	123,7	97,9	94,9	90,9	26,5

SECCIÓN	Eje Y [mm]	08-may-13	04-jun-13	03-jul-13	24-jul-13	Nivel de Desgaste (%)
INTERMEDIO	2200	123,5	102,3	97,9	94,3	23,6
	2150	123	107	101	98	20,3
	2100	124,1	108,6	103,6	101,1	18,5
	2050	125,1	110,2	106,1	104,1	16,8
	2000	126,1	111,6	107,1	105,1	16,7
	1950	127,1	113,1	108	106	16,6
	1900	128,2	114,2	108,6	106,6	16,8
	1850	129,4	115,2	109,1	107,2	17,2
	1800	130,9	116,3	109,7	108,3	17,3
	1750	132,5	117,5	110,3	109,3	17,5
	1700	134,1	119,1	111,4	110,4	17,7
	1650	135,4	120,4	112,2	111,4	17,7
	1600	136,4	121,4	112,7	112,4	17,6
	1550	137,7	122,5	113,2	113,1	17,9
	1500	139,3	123,5	113,8	112,8	19,0
	1450	141,1	124,6	114,3	113,6	19,5
	1400	143,2	125,6	114,8	113,4	20,8
	1350	145,2	126	114,8	112,7	22,4
	1300	147	126	114,3	113,7	22,7
	1250	148,8	126	114	113	24,1

SECCIÓN	Eje Y [mm]	08-may-13	04-jun-13	03-jul-13	24-jul-13	Nivel de Desgaste (%)
INFERIOR	1200	144,1	124	112	111	23,0
	1150	142	121	108	107,5	24,3
	1100	140,9	120	104,9	103,8	26,3
	1050	138,7	118,8	102,8	101,3	27,0
	1000	135,6	116,7	100,7	100,1	26,2
	950	132,5	114,3	98,5	98,3	25,8
	900	129,6	110,4	95,4	94,2	27,3
	850	127,2	107	92	90	29,2
	800	124,4	103,1	88,1	85,8	31,0
	750	122,6	100,2	84,5	81,8	33,3
	700	122,4	98,1	80,7	78,7	35,7
	650	123,4	96,5	77,6	76	38,4
	600	125	96	74,9	73,9	40,9
	550	127,1	96,5	72,8	72,4	43,0
	500	128,6	98,2	72	71,4	44,5
	450	131	101	72,7	71	45,8
	400	134,1	104,1	74,4	71,7	46,5
	350	138,8	107,3	76,5	73,5	47,0
	300	144,1	110,5	80,3	76,5	46,9
	250	152	114,5	84,5	79,6	47,6
	200	157,6	122,4	91,4	86,4	45,2
	150	169,3	138,2	102	96,8	42,8
	100	156,6	155,4	113,7	108,2	30,9
	50	142,2	140,2	125,4	119,5	16,0
	0	129	127,5	125,7	123,2	4,5

2. Campaña N°6: Diámetro Manto 115 [in]

SECCIÓN	EJE Z (mm)	24-jul-13	13-ago-13	04-sep-13	30-sep-13	Nivel de Desgaste (%)
SUPERIOR	3150	77,9	74,9	71,9	70,4	9,6
	3100	78,8	75,8	72,4	71,5	9,3
	3050	79,9	76,9	73	71,3	10,8
	3000	80,4	77,9	74,3	72,3	10,1
	2950	80,9	78,9	75,8	71,9	11,1
	2900	82,4	79,9	76,9	73	11,4
	2850	83,9	80,9	77,9	74,1	11,7
	2800	85	82	79,4	76,5	10,0
	2750	85,9	82,9	80,9	76	11,5
	2700	87	83,5	82	79	9,2
	2650	88	84	83	78,5	10,8
	2600	89,1	85,1	84,6	82,1	7,9
	2550	90,1	87,8	86	84,6	6,1
	2500	89,1	91,6	87,6	87,1	2,2
	2450	93,4	93,3	89,2	88,2	5,6
	2400	97,7	96,4	91,3	90,1	7,8
	2350	102,1	99,6	93,6	92,1	9,8
	2300	106,5	102,7	95,7	94	11,7
	2250	110,9	105,9	98	96	13,4

SECCIÓN	Eje Y [mm]	09-may-13	04-jun-13	03-jul-13	24-jul-13	Nivel de Desgaste (%)
INTERMEDIO	2200	110,5	109	102,5	99,5	10,0
	2150	110	108,7	107	103	6,4
	2100	113,1	112	108,6	105,1	7,1
	2050	114,1	113,1	110,1	107,1	6,1
	2000	115,2	114,8	111,1	107,6	6,6
	1950	117,1	116	112,1	108	7,8
	1900	119,2	117,1	113,6	108,5	9,0
	1850	121,1	118,1	115	109	10,0
	1800	122,7	119,1	115,5	109,5	10,8
	1750	124,3	120,1	116,2	110,1	11,4
	1700	126,3	120,6	117,8	111,2	12,0
	1650	128,4	121,3	119,2	112,2	12,6
	1600	130,4	122,8	120,2	113,2	13,2
	1550	132,5	124,2	121,1	114,2	13,8
	1500	134,5	125,3	121,6	115,3	14,3
	1450	137	126,1	122,1	116,1	15,3
	1400	140,6	126,7	122,7	116,7	17,0
	1350	143,9	127	122,8	116,9	18,8
	1300	146,8	127	122,1	117,2	20,2
	1250	149,8	127	121,3	117	21,9

SECCIÓN	Eje Y [mm]	09-may-13	04-jun-13	03-jul-13	24-jul-13	Nivel de Desgaste (%)
INFERIOR	1200	150,5	128,8	121,6	117,6	21,9
	1150	151,8	133	123,8	118,6	21,9
	1100	154,8	137,4	126,8	120,8	22,0
	1050	157,8	141,5	130,5	124,5	21,1
	1000	161,6	145	134,6	128,6	20,4
	950	160,4	143,4	134	128	20,2
	900	156,2	139,9	129,4	124,2	20,5
	850	153,4	135,8	125,6	119	22,4
	800	151,3	131,6	121,6	113,7	24,9
	750	149,1	128,2	117,2	109,2	26,8
	700	148	126	114	104	29,7
	650	145,7	122,8	111,7	100,7	30,9
	600	142,9	120,6	108,6	96,4	32,5
	550	142	117,5	105,5	92,3	35,0
	500	142	115,1	103,1	89,1	37,3
	450	142,7	112,6	100,2	85,9	39,8
	400	145,7	112	98,6	83,1	43,0
	350	150	112,5	98	81	46,0
	300	153,7	114,7	98	79,4	48,3
	250	156,2	117,9	98,6	79	49,4
	200	158,4	121,1	101,1	79	50,1
	150	153,7	124,4	104,4	79,8	48,1
	100	133,9	130,4	108,4	81,7	39,0
	50	112,8	109,5	108,6	79,6	29,4
	0	89,4	86	86	71	20,6

3. Campaña N°7: Diámetro Manto 110 [in]

SECCIÓN	EJE Z (mm)	01-oct-13	05-nov-13	27-nov-13	18-dic-13	Nivel de Desgaste (%)
SUPERIOR	3150	78,2	77,2	74,1	64,1	18,0
	3100	80,25	78,65	74,55	64,55	19,6
	3050	82,3	80,1	75,2	65,2	20,8
	3000	84,3	81,1	76,7	66,7	20,9
	2950	86,3	82,3	78,3	68,1	21,1
	2900	87,8	83,8	79,8	69,8	20,5
	2850	89,3	85,3	81,2	71,5	19,9
	2800	90,8	86,8	82,2	74,1	18,4
	2750	92,2	88,3	83,3	76,7	16,8
	2700	93,3	89,9	84,9	79,8	14,5
	2650	94,6	91,4	86,4	82,9	12,4
	2600	96,6	93	88	85,9	11,1
	2550	99,1	94,6	89,6	88,8	10,4
	2500	102,8	96,7	91,7	91,4	11,1
	2450	105,8	98,5	93,5	92,3	12,8
	2400	108	100	95	94,5	12,5
	2350	110,1	101,4	96,4	96,2	12,6
	2300	112,3	102,8	97,8	97,3	13,4
	2250	114	104,4	99,5	98,9	13,2

SECCIÓN	Eje Y [mm]	01-oct-13	05-nov-13	27-nov-13	18-dic-13	Nivel de Desgaste (%)
INTERMEDIO	2200	114	105,9	101,5	100,2	12,1
	2150	114,1	107,5	103,4	101,1	11,4
	2100	114,6	109,6	104,9	101,6	11,3
	2050	115,6	111,5	106,5	102,2	11,6
	2000	117,7	113	108	102,7	12,7
	1950	119,6	114,6	109,6	103	13,9
	1900	121	116	111	103	14,9
	1850	122,8	117,6	112,6	102,8	16,3
	1800	124,8	119,1	114,1	102,3	18,0
	1750	126,6	120,4	115,4	102	19,4
	1700	128,2	121,5	116,5	102	20,4
	1650	129,3	122,5	117,5	102	21,1
	1600	129,8	123,5	118,5	102	21,4
	1550	130,7	124,5	119,5	102,5	21,6
	1500	132,3	125,5	120,5	103,5	21,8
	1450	134,9	126,3	121,3	104,3	22,7
	1400	138,5	126,8	121,8	104,8	24,3
	1350	142,1	127,2	122	105,2	26,0
	1300	145,8	127,6	122	105,6	27,6
	1250	149,4	128	122	106	29,0

SECCIÓN	Eje Y [mm]	01-oct-13	05-nov-13	27-nov-13	18-dic-13	Nivel de Desgaste (%)
INFERIOR	1200	145,8	128	120,3	104,3	28,5
	1150	140,6	126,3	118,3	102,3	27,2
	1100	137,2	125	116,1	100,1	27,0
	1050	134,1	123,1	114,1	98,1	26,8
	1000	132,1	120,1	112,1	96,1	27,3
	950	129,9	117,9	109,9	94,9	26,9
	900	127,8	114,9	106,8	91,9	28,1
	850	124,8	112,7	103,7	89,7	28,1
	800	122,7	109,7	100,7	86,6	29,4
	750	121	107,7	98,7	83,5	31,0
	700	121,2	105,8	96,5	80,5	33,6
	650	122,3	105	94,8	78,5	35,8
	600	123,2	105,2	94	76,7	37,7
	550	124,6	106,3	94,3	76	39,0
	500	126,7	107,7	95,4	76	40,0
	450	129,6	109,8	96,8	76,4	41,0
	400	133,3	111,9	99,3	77,9	41,6
	350	135	112,5	100	78	42,2
	300	135,6	112	98,5	75,9	44,0
	250	136	112,6	98	75	44,9
	200	135,3	114,4	98,7	73,6	45,6
	150	136,4	115,8	99,8	72,3	47,0
	100	117,7	119,4	97,2	72	38,8
	50	93,3	95	93,3	75	19,6
	0	75	70,6	69	68,6	8,5

4. Campaña N°7: Diámetro Manto 115 [in]

SECCIÓN	EJE Z (mm)	05-mar-14	25-mar-14	22-abr-14	06-may-14	Nivel de Desgaste (%)
SUPERIOR	3150	-	73,8	72,9	67,8	-
	3100	-	73,9	73,5	68,9	-
	3050	-	74,9	74	69,9	-
	3000	-	75,9	74,5	70,9	-
	2950	-	76,9	75	71,9	-
	2900	-	77,9	75,9	72,9	-
	2850	-	79	77	74	-
	2800	-	80,5	78	75	-
	2750	-	81,8	78,8	75,8	-
	2700	-	83	80,5	77	-
	2650	95,2	84,2	82,2	78,2	17,9
	2600	96	85,6	83,6	79	17,7
	2550	96,4	87,1	85,1	80,1	16,9
	2500	99,1	88,6	86,6	81,6	17,7
	2450	101,2	90,2	88,2	83,1	17,9
	2400	103,9	93,1	90,3	84,8	18,4
	2350	106,5	96,1	92,5	86,5	18,8
	2300	109,2	99	94,7	88,2	19,2
	2250	111,9	101,9	96,9	89,9	19,7

SECCIÓN	Eje Y [mm]	05-mar-14	25-mar-14	22-abr-14	06-may-14	Nivel de Desgaste (%)
INTERMEDIO	2200	112,5	104,5	100,4	93,4	17,0
	2150	113	107	104	97	14,2
	2100	114,5	108,5	105,5	99	13,5
	2050	116,1	110,1	107	101	13,0
	2000	118,1	112,1	108,6	102	13,6
	1950	120,9	114,9	110,9	103,9	14,1
	1900	121,6	115,6	111,6	104,1	14,4
	1850	123,1	117,1	113,1	105,1	14,6
	1800	124,7	118,1	114,1	106,7	14,4
	1750	126,3	119,3	115,3	108,2	14,3
	1700	127,8	120,8	116,8	109,2	14,6
	1650	129,3	122,3	118,2	110,2	14,8
	1600	130,8	123,8	119,2	111,2	15,0
	1550	132,4	125,3	120,3	112,3	15,2
	1500	133,9	126,3	121,3	113,3	15,4
	1450	135,6	127,3	122,3	114,2	15,8
	1400	137,7	128,4	123,4	114,8	16,6
	1350	139,7	129,1	124	115,1	17,6
	1300	142,3	129,5	124	115,5	18,8
	1250	140,5	125,5	119,7	111,5	20,6

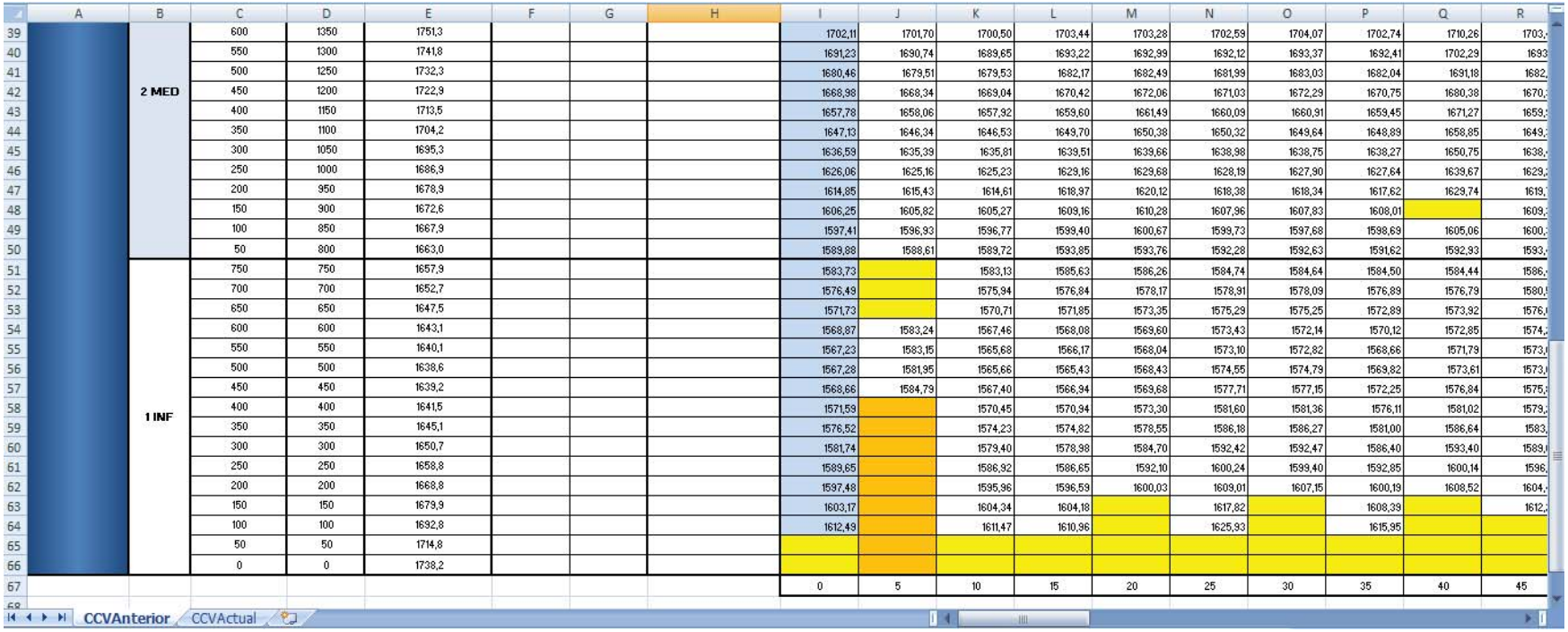
SECCIÓN	Eje Y [mm]	05-mar-14	25-mar-14	22-abr-14	06-may-14	Nivel de Desgaste (%)
INFERIOR	1200	147,2	132,3	125,2	116,6	20,8
	1150	155,1	142,3	133,7	124,1	20,0
	1100	151,8	140,5	131,5	120,8	20,4
	1050	155,6	144,6	135,6	124,6	19,9
	1000	159,5	148,5	139,5	128,5	19,4
	950	156	144,3	135,3	124,3	20,3
	900	156,1	144,1	135,1	124,9	20,0
	850	152,6	140,6	131,6	121,6	20,3
	800	149,3	137,3	127,5	117,5	21,3
	750	147	133	123	113	23,1
	700	145	132	121	111	23,4
	650	144	131,4	119,4	109,3	24,1
	600	143	128,8	115,8	104,7	26,8
	550	143,2	128	114,8	102,8	28,2
	500	144,3	128,3	114	101,7	29,5
	450	146,1	129,4	114	101	30,9
	400	148,8	130,8	114,4	101,4	31,9
	350	151,5	133	116	102,5	32,3
	300	163,7	135,8	118,2	103,6	36,7
	250	157,2	139,5	120,2	105,2	33,1
	200	162	137,3	118,1	103,1	36,4
	150	161	144	126,9	110	31,7
	100	140,2	139,6	129,4	112	20,1
	50	115,3	114,8	112,6	110,4	4,2
	0	95,4	94,3	92,1	91	4,6

ANEXO 3

ARCHIVO EXCEL CÓNCAVAS

COMPONENTE	FILA	PERFIL DE ALTURA (mm)	EJE Z (mm)	COORDENADA LINEA BASE (mm)	COMPLEX BOL (mm)		PERFIL DE DISEÑO (mm)	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°
								COORD	COORD	COORD	COORD	COORD	COORD	COORD	COORD	COORD	COORD
		750	3150	2196,1	2205	3163				2114,11		2114,24	2115,07	2115,63	2116,30	2113,29	2115,9
		700	3100	2183,7	2187	3087			2099,65	2101,72		2100,09	2103,25	2104,50	2104,12	2101,52	2103,3
		650	3050	2171,5	2180	3087			2087,31	2088,76		2090,07	2091,59	2093,62	2093,97	2090,30	2091,0
		600	3000	2159,4	2142	2927		2076,53	2077,43	2076,66		2078,40	2080,44	2082,08	2081,95	2079,50	2079,3
		550	2950	2147,4	2167	2921		2063,91	2064,09	2064,26		2066,67	2068,73	2071,00	2070,09	2068,58	2068,3
		500	2900	2135,3	2106	2779		2052,46	2050,58	2051,96		2055,20	2056,60	2059,93	2058,63	2056,99	2057,5
		450	2850	2123,3	2030	2464		2040,67	2042,57	2040,31		2043,24	2045,00	2048,34	2046,96	2045,73	2046,1
	4 SUP	400	2800	2111,2	2036	2463		2029,60	2028,02	2028,89		2031,76	2033,68	2036,93	2035,67	2034,56	2035,3
		350	2750	2099,2	1995	2307		2018,28	2017,56	2017,33		2020,85	2022,64	2025,73	2023,90	2022,69	2024,1
		300	2700	2087,1	1989	2307		2004,82	2006,15	2006,13		2009,20	2011,51	2014,16	2011,97	2010,48	2013,4
		250	2650	2075,1	1805	1600		1994,97	1996,99	1995,45	2002,33	1997,00	1999,78	2001,83	1999,82	2000,58	2001,9
		200	2600	2063,0	1811	1596		1983,73	1983,91	1984,01	1988,06	1985,55	1987,84	1989,44	1987,26	1988,27	1989,0
		150	2550	2050,9	1775	1440		1972,34	1972,44	1972,72	1977,01	1974,21	1975,89	1977,69	1975,18	1975,71	1978,0
		100	2500	2038,9	1768	1440		1962,00	1962,09	1962,20	1964,97	1961,33	1964,19	1966,22	1962,84	1964,72	1966,1
		50	2450	2026,3	1740	1288		1950,21	1949,67	1951,74	1953,73	1949,15	1952,72	1955,16	1951,63	1952,22	1954,2
		800	2400	2013,3	1708	1123		1937,34		1939,99	1940,18	1937,53	1940,86	1942,65	1941,14	1940,51	1942,2
		750	2350	2000,2	1690	1021		1925,38		1926,75	1927,24	1926,12	1928,59	1929,72	1928,51	1929,04	1929,3
		700	2300	1987,1	1674	920		1912,75		1915,12	1915,73	1915,49	1916,67	1918,04	1916,83	1917,01	1917,4
		650	2250	1974,1	1665	818		1901,40		1902,81	1903,44	1903,71	1904,13	1905,83	1905,32	1904,62	1905,9
		600	2200	1961,1	1671	817		1889,45		1890,88	1891,08	1892,14	1891,41	1894,81	1893,51	1893,15	1893,0
		550	2150	1948,1	1655	661		1877,35		1880,46	1878,91	1878,81	1881,54	1882,67	1883,00	1881,90	1881,7
		500	2100	1935,1	1649	661		1866,42		1867,03	1867,43	1865,62	1867,90	1869,81	1870,79	1870,24	1869,8
	3 MED	450	2050	1922,1	1643	610		1855,37	1861,93	1855,50	1855,22	1855,71	1854,33	1858,32	1859,23	1858,74	1858,4
		400	2000	1909,1	1637	508		1843,62	1850,55	1843,74	1844,07	1843,72	1843,65	1845,82	1848,69	1846,48	1846,0
		350	1950	1896,1	1640	406		1831,49	1838,58	1831,12	1831,75	1831,36	1831,61	1833,99	1836,39	1834,88	1835,1
		300	1900	1883,1	1648	304		1820,40	1827,41	1820,25	1820,84	1820,49	1821,25	1823,22	1824,41	1824,21	1823,7
		250	1850	1870,2	1668	202		1808,76	1814,83	1808,51	1810,38	1809,37	1810,72	1811,86	1813,38	1812,93	1811,3

CCVAnterior CCVActual



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
39			600	1350	1751,3				1702,11	1701,70	1700,50	1703,44	1703,28	1702,59	1704,07	1702,74	1710,26	1703,-
40			550	1300	1741,8				1691,23	1690,74	1689,65	1693,22	1692,99	1692,12	1693,37	1692,41	1702,29	1693
41			500	1250	1732,3				1680,46	1679,51	1679,53	1682,17	1682,49	1681,99	1683,03	1682,04	1691,18	1682,
42		2 MED	450	1200	1722,9				1668,98	1668,34	1669,04	1670,42	1672,06	1671,03	1672,29	1670,75	1680,38	1670,-
43			400	1150	1713,5				1657,78	1658,06	1657,92	1659,60	1661,49	1660,09	1660,91	1659,45	1671,27	1659,-
44			350	1100	1704,2				1647,13	1646,34	1646,53	1649,70	1650,38	1650,32	1649,64	1648,89	1658,85	1649,-
45			300	1050	1695,3				1636,59	1635,39	1635,81	1639,51	1639,66	1638,98	1638,75	1638,27	1650,75	1638,-
46			250	1000	1686,9				1626,06	1625,16	1625,23	1629,16	1629,68	1628,19	1627,90	1627,64	1639,67	1629,-
47			200	950	1678,9				1614,85	1615,43	1614,61	1618,97	1620,12	1618,38	1618,34	1617,62	1629,74	1619,-
48			150	900	1672,6				1606,25	1605,82	1605,27	1609,16	1610,28	1607,96	1607,83	1608,01		1609,-
49			100	850	1667,9				1597,41	1596,93	1596,77	1599,40	1600,67	1599,73	1597,68	1598,69	1605,06	1600,-
50			50	800	1663,0				1589,88	1588,61	1589,72	1593,85	1593,76	1592,28	1592,63	1591,62	1592,93	1593,-
51			750	750	1657,9				1583,73		1583,13	1585,63	1586,26	1584,74	1584,64	1584,50	1584,44	1586,-
52			700	700	1652,7				1576,49		1575,94	1576,84	1578,17	1578,91	1578,09	1576,89	1576,79	1580,9
53			650	650	1647,5				1571,73		1570,71	1571,85	1573,35	1575,29	1575,25	1572,89	1573,92	1576,-
54			600	600	1643,1				1568,87	1583,24	1567,46	1568,08	1569,60	1573,43	1572,14	1570,12	1572,85	1574,-
55			550	550	1640,1				1567,23	1583,15	1565,68	1566,17	1568,04	1573,10	1572,82	1568,66	1571,79	1573,-
56			500	500	1638,6				1567,28	1581,95	1565,66	1565,43	1568,43	1574,55	1574,79	1569,82	1573,61	1573,-
57			450	450	1639,2				1568,66	1584,79	1567,40	1566,94	1569,68	1577,71	1577,15	1572,25	1576,84	1575,-
58			400	400	1641,5				1571,59		1570,45	1570,94	1573,30	1581,60	1581,36	1576,11	1581,02	1579,-
59		1 INF	350	350	1645,1				1576,52		1574,23	1574,82	1578,55	1586,18	1586,27	1581,00	1586,64	1583,-
60			300	300	1650,7				1581,74		1579,40	1578,98	1584,70	1592,42	1592,47	1586,40	1593,40	1589,-
61			250	250	1658,8				1589,65		1586,92	1586,65	1592,10	1600,24	1599,40	1592,85	1600,14	1596,-
62			200	200	1668,8				1597,48		1595,96	1596,59	1600,03	1609,01	1607,15	1600,19	1608,52	1604,-
63			150	150	1679,9				1603,17		1604,34	1604,18		1617,82		1608,39		1612,-
64			100	100	1692,8				1612,49		1611,47	1610,96		1625,93		1615,95		
65			50	50	1714,8													
66			0	0	1738,2													
67									0	5	10	15	20	25	30	35	40	45

CCVAnterior CCVActual

ANEXO 4

ARCHIVO EXCEL MANTO

COMPONENTE	SECCIÓN	POSICIÓN DE ALTURA	EJE Z (mm)	COORDENADA LINEA BASE	COORDENADA LINEA BASE	COORDENADA LINEA BASE	PERFIL ACTUAL CONTROLADO (mm)			PERFIL DE DISEÑO (mm)			PERFIL DE ALTURA [mm]
				MANTO Ø 110"	MANTO Ø 113"	MANTO Ø 115"	PROMEDIO	CRÍTICA	MAYOR	MANTO Ø 110 "	MANTO Ø 113"	MANTO Ø 115"	
MANTO	SUPERIOR	63	3150	562,805	562,921	562,921	640,785	638,622	642,948				350
		62	3100	572,578	572,721	572,721	651,731	649,625	653,837				300
		61	3050	582,351	582,521	582,521	662,446	660,445	664,447				850
		60	3000	592,124	592,320	592,320	673,583	671,727	675,440				800
		59	2950	601,897	602,120	602,120	685,072	683,297	686,848				750
		58	2900	611,670	611,920	611,920	696,201	694,703	697,698				700
		57	2850	621,443	621,720	621,720	707,376	706,343	708,408				650
		56	2800	631,216	631,520	631,520	718,899	717,627	720,172				600
		55	2750	640,989	641,319	641,319	730,031	728,383	731,678				550
		54	2700	650,762	651,119	651,119	740,864	739,145	742,583				500
		53	2650	660,535	660,919	660,919	751,916	750,122	753,710				450
		52	2600	670,308	670,719	670,719	762,842	761,187	764,498				400
		51	2550	680,081	680,518	680,518	773,919	772,424	775,414				350
		50	2500	689,854	690,318	690,318	785,142	783,502	786,782				300
		49	2450	699,627	700,118	700,118	796,262	794,599	797,926				250
		48	2400	709,400	709,918	709,918	807,161	805,286	809,037				200
		47	2350	719,173	719,718	719,718	818,035	815,606	820,463				150
		46	2300	728,946	729,517	729,517	829,080	825,936	832,224				100
		45	2250	738,926	739,317	739,317	840,378	836,535	844,221				50
	MEDIO	44	2200	748,744	749,117	749,117	851,954	847,574	856,334				1000
		43	2150	758,563	758,917	758,917	863,866	859,160	868,571				950
		42	2100	768,381	768,717	768,717	876,093	871,226	880,960				900
		41	2050	778,200	778,516	778,516	888,123	883,297	892,948				850
		40	2000	788,018	788,316	788,316	899,433	894,935	904,051				800
		39	1950	797,837	798,116	798,116	910,534	906,183	914,884				750
		38	1900	807,655	807,916	807,916	921,528	917,210	925,846				700
		37	1850	817,474	817,715	817,715	932,468	928,145	936,792				650
		36	1800	827,232	827,515	827,515	943,296	939,071	947,521				600
		35	1750	837,111	837,315	837,315	954,074	950,042	958,106				550
		34	1700	846,929	847,115	847,115	964,887	961,069	968,706				500
		33	1650	856,747	856,915	856,915	975,777	972,118	979,436				450
		32	1600	866,566	866,714	866,714	986,687	983,094	990,281				400
		31	1550	876,384	876,514	876,514	997,500	993,889	1001,110				350
MANTO		32	1600	866,566	866,714	866,714	986,687	983,094	990,281				400
		31	1550	876,384	876,514	876,514	997,500	993,889	1001,110				350
		30	1500	886,203	886,314	886,314	1008,146	1004,469	1011,823				300
		29	1450	896,021	896,114	896,114	1018,614	1014,862	1022,365				250
		28	1400	905,840	905,913	905,913	1028,318	1025,125	1032,710				200
		27	1350	915,658	915,713	915,713	1039,075	1035,297	1042,852				150
		26	1300	925,477	925,513	925,513	1049,094	1045,388	1052,800				100
		25	1250	935,295	935,313	935,313	1059,049	1055,484	1062,613				50
	INFERIOR	24	1200	945,010	945,000	945,000	1069,114	1065,784	1072,443				1200
		23	1150	957,396	958,538	958,538	1079,560	1076,558	1082,562				1150
		22	1100	971,769	973,138	973,138	1090,706	1088,033	1093,379				1100
		21	1050	985,542	987,679	987,679	1102,755	1100,241	1105,269				1050
		20	1000	999,314	1002,219	1002,219	1115,505	1112,953	1118,051				1000
		19	950	1013,087	1016,760	1016,760	1128,482	1125,866	1131,098				950
		18	900	1026,860	1032,230	1032,230	1141,370	1138,813	1143,927				900
		17	850	1040,633	1048,825	1048,825	1154,260	1151,938	1156,582				850
		16	800	1054,406	1065,420	1065,420	1167,270	1165,211	1169,328				800
		15	750	1068,179	1082,015	1082,015	1180,424	1178,475	1182,372				750
		14	700	1081,951	1098,610	1098,610	1193,752	1191,706	1195,798				700
		13	650	1095,724	1115,204	1115,204	1207,410	1205,238	1209,581				650
		12	600	1109,497	1131,799	1131,799	1221,666	1219,449	1223,882				600
		11	550	1123,270	1148,394	1148,394	1236,840	1234,267	1239,412				550
		10	500	1137,043	1164,989	1164,989	1252,906	1249,765	1256,046				500
		9	450	1150,815	1181,584	1181,584	1263,375	1265,970	1272,779				450
		8	400	1164,588	1198,179	1198,179	1286,047	1282,907	1289,187				400
		7	350	1178,361	1214,774	1214,774	1304,393	1301,320	1307,465				350
		6	300	1196,793	1235,520	1235,520	1323,219	1320,223	1326,214				300
		5	250	1216,797	1257,515	1257,515	1342,936	1339,861	1346,131				250
		4	200	1236,802	1279,304	1279,304	1364,335	1360,864	1367,806				200
		3	150	1252,289	1286,498	1286,498	1388,236	1384,835	1391,756				150
		2	100	1252,289	1286,498	1286,498	1414,421	1410,680	1418,161				100
		1	50	1252,289	1286,498	1286,498	1441,176	1436,864	1445,487				50
		0	0	1252,289	1286,498	1286,498	1422,427	1422,429	1422,425				0

PERFIL DE ALTURA [mm]	COMPLEX BOL (mm) MANTO Ø 110"		COMPLEX BOL (mm) MANTO Ø 113"		COMPLEX BOL (mm) MANTO Ø 115"		PERFIL ANTERIOR CONTROLADO (mm)		
	Z	Radio	Z	Radio	Z	Radio	PROMEDIO	CRÍTICA	MAYOR
950	0,000	1344,333	0,000	1383,262	0,000	1413,339	645,471	645,475	645,467
900	57,150	1155,500	57,150	1155,500	57,150	1155,500	656,772	656,775	656,769
850	101,600	1146,798	101,600	1146,798	101,600	1146,798	668,076	668,076	668,077
800	116,243	1221,590	118,751	1234,393	122,993	1256,069	679,385	679,377	679,393
750	123,869	1238,036	125,057	1249,096	129,300	1270,765	690,697	690,678	690,715
700	135,264	1247,608	134,836	1258,630	139,078	1280,300	702,006	701,980	702,033
650	149,462	1252,070	147,354	1264,091	151,596	1285,761	713,308	713,283	713,332
600	167,430	1249,657	163,344	1264,390	167,586	1286,060	724,595	724,589	724,601
550	193,478	1239,424	190,360	1259,101	194,602	1280,770	735,866	735,898	735,834
500	205,299	1232,032	205,056	1252,794	209,299	1274,464	747,142	747,215	747,068
450	212,902	1222,326	214,591	1243,016	218,833	1264,685	758,443	758,545	758,353
400	216,998	1210,697	220,052	1230,498	224,294	1252,167	769,816	769,894	769,739
350	216,875	1196,755	220,351	1214,508	224,593	1236,177	781,273	781,272	781,274
300	205,640	1139,370	205,640	1139,370	205,640	1139,370	792,899	792,797	793,001
250	304,800	1119,956	304,800	1119,956	304,800	1119,956	804,814	804,671	804,957
200	304,800	1157,348	304,800	1172,105	304,800	1194,504	817,073	816,961	817,185
150	308,042	1169,765	308,109	1184,641	308,261	1207,304	829,675	829,639	829,712
100	314,808	1177,553	314,971	1192,434	315,335	1215,100	842,447	842,605	842,290
50	324,114	1182,008	324,383	1196,830	324,962	1219,358	854,686	855,137	854,236
1000	336,945	1181,836	337,353	1196,477	338,201	1218,610	865,765	866,205	865,326
950	1155,800	956,277	922,026	1024,889	922,401	1024,716	876,100	876,358	875,842
900	1155,800	953,348	930,868	1020,248	929,745	1020,850	886,155	886,177	886,134
850	1192,566	946,150	936,580	1013,706	934,996	1015,474	896,303	896,201	896,405
800	1202,687	944,500	939,755	1005,622	938,444	1008,797	906,570	906,442	906,698
750	2268,710	735,165	939,800	995,636	939,800	1000,662	916,943	916,838	917,048
700	2278,821	733,000	1192,566	946,150	939,800	995,636	927,426	927,360	927,491
650	3366,000	520,500	1202,887	944,500	1192,566	946,150	938,029	937,996	938,062
600			2268,910	735,165	1201,744	944,496	948,743	948,736	948,762
550			2279,021	733,000	2267,767	735,161	959,574	959,571	959,577
500			3366,000	520,500	2277,879	732,995	970,489	970,489	970,489
450					3365,057	520,495	981,479	981,479	981,479
400							992,531	992,531	992,531
350							1003,632	1003,632	1003,632
300							1014,772	1014,772	1014,772
250							1025,948	1025,948	1025,948
200							1037,231	1037,230	1037,232
150							1048,726	1048,721	1048,730
100							1060,537	1060,525	1060,549
50							1072,771	1072,745	1072,797
1200							1085,507	1085,459	1085,554
1150							1098,442	1098,383	1098,500
1100							1111,268	1111,220	1111,315
1050							1124,342	1124,311	1124,372
1000							1137,945	1137,924	1137,966
950							1152,075	1152,047	1152,103
900							1166,702	1166,640	1166,763
850							1181,798	1181,668	1181,927
800							1197,335	1197,093	1197,576
750							1213,285	1212,881	1213,689
700							1229,628	1229,021	1230,235
650							1246,345	1245,514	1247,176
600							1263,418	1262,364	1264,471
550							1280,831	1279,575	1282,086
500							1298,781	1297,317	1300,245
450							1317,553	1315,802	1319,304
400							1337,083	1334,903	1339,262
350							1357,257	1354,442	1360,072
300							1377,973	1374,282	1381,664
250							1399,363	1394,847	1403,878
200							1421,429	1416,644	1426,214
150							1442,167	1438,522	1445,811
100							1454,654	1452,018	1457,289
50							1447,476	1446,578	1448,373
0							1415,808	1415,808	1415,808

ANEXO 5

TERRESTRIAL LASER SCANNER

FLSmidth posee un instrumento de medición TLS marca Trimble, modelo TX-5. Éste permite el almacenamiento instantáneo de los datos que se obtienen conforme se realiza la medición.

Las características técnicas del TLS modelo TX-5 son las siguientes:

- Precisión: 1 a 2 [mm] en un rango hasta 25 [m], ésta precisión depende del tipo de superficie sobre la cual se está realizando el estudio.
- Alcance: Medio, 60 [cm] a 300 [m].
- Velocidad de captación de puntos: 976.000 puntos por segundo.
- Peso: 5 [kg], es un dispositivo compacto y portátil.
- Cámara a color integrada: 70 Mega pixeles.
- Compensador integrado de doble eje, para nivelar el instrumento.
- Brújula y altímetro, utilizados para ubicar el equipo espacialmente.