



UCSC

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE LA SANTÍSIMA CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN SISTEMA BASE PARA LA ELABORACIÓN E
IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO
PARA LA MÁQUINA DE COLADA CONTINUA DE ACERO**

Para optar al título de Ingeniero Civil Industrial

ANDRÉS ALBERTO VILLANUEVA PLAZA

CAP-ACERO, COMPAÑÍA SIDERÚRGICA HUACHIPATO S.A

NOMBRE SUPERVISOR EMPRESA	NOMBRE PROFESOR EVALUADOR 1	NOMBRE PROFESOR EVALUADOR 2
LUIS VIDAL CABEZA	MANUEL CEPEDA JUNEMANN	ALBERTO LOOSLI WEASON

Nota Informe escrito:

Resumen

El presente informe se centrará en el rubro de la Siderurgia, específicamente en una empresa perteneciente al grupo CAP, la cual se encuentra en la ciudad de Talcahuano y es llamada Compañía Siderúrgica Huachipato S.A. El objetivo de la práctica profesional tutelada, fue diseñar un sistema base para el registro de cambio de equipos, y de esta manera poder implementar a futuro una estrategia de mantenimiento basada en diferente aristas que ayuden a definir la mejor política para ser aplicadas en el mantenimiento de la Máquina de Colada Continua (MCC). Actualmente no se cuenta con un registro de cambio de equipos, lo que imposibilita estudiar el comportamiento de estos en el tiempo. Se realizó un análisis de la situación actual para generar un diagnóstico del proceso basándose en las muestras macrográficas de productos semiterminado entregadas por el laboratorio de Acería y Colada Continua desde enero de 2017 a marzo de 2019, y de esta manera identificar la problemática y visualizar gráficamente el impacto por tipo de defecto especificando la zona donde se desenvuelve la mayor cantidad de estos.

Se aplicaron herramientas de ingeniería durante todo el periodo de práctica, tales como Diagramas de Pareto, Análisis de datos, Métrica Seis sigma, Cartas de Control, Análisis de Criticidad, entre otras, para así realizar la propuestas de mejora consistente en implementar un estudio de confiabilidad, pero esta vez basándose en los equipos involucrados directamente en la producción de defectos del tipo Grietas de Medio Radio (GMR), y así dar una solución a la problemática que afecta específicamente la zona de enfriamiento secundario de la Máquina de Colada Continua.

Rúbrica de Evaluación Final de Práctica Profesional Tutelada

Datos de la Empresa/Organización

Nombre o Razón Social	CIA Hidráulica Huachipoto S.A
Dirección	Avenida Gran Bretaña 2910, Talcahuano
Giro	Industria Hidráulica y Metalúrgica
Nombre Supervisor de Práctica	Andrés Enrique Urrutia Cabeza
Cargo	Jefe de Sección - Máquina de Volado
Profesión	Ingeniero Electrónico
Fecha de la Evaluación	28/06/2019

Datos del Estudiante

Nombre Completo	Andrés Alberto Villanueva Plaza
Rut	18.772.407-2
Teléfono de contacto	+569 94271471
Correo electrónico	avillanueva@ing-ucsc.cl

La Carrera cree firmemente en el trabajo conjunto con el medio externo, para formar profesionales actualizados en la disciplina, capaces de destacar por sus sólidos conocimientos, habilidades interpersonales y por el sello identitario otorgado la UCSC.

La información entregada por usted es utilizada como retroalimentación para validar y/o actualizar el perfil de egreso, así como para mejorar el quehacer académico de nuestra Carrera.

Marque con una X la calificación correspondiente a cada ítem

Si, debido a las actividades asignadas al estudiante, alguno de estos aspectos no pudo ser observado durante el periodo de práctica profesional tutelada, favor evaluar dicho ítem como "No observado".

	Excelente	Muy Bueno	Bueno	Regular	Deficiente	No Observado
Aporte Personal y Motivación	X					
Asistencia y puntualidad		X				
Responsabilidad	X					

Adaptabilidad		X				
Iniciativa	X					
Actitud para trabajar en equipo	X					
Relaciones Humanas	X					
Dominio de temas técnicos	X					
Capacidad para concebir soluciones		X				
Capacidad de diseñar		X				
Capacidad para implementar	X					
Capacidad para operar sistemas		X				
Capacidad de respuesta ante trabajo bajo presión		X				
Capacidad de cumplir satisfactoriamente , en términos de plazo y calidad, con los trabajos asignados.	X					
Capacidad de análisis y sentido común a la hora de resolver un problema.	X					
Claridad en la exposición de sus opiniones, ideas y argumentos	X					

Las preguntas siguientes no tienen puntaje asignado y por ende no influyen en la calificación final de alumno; sin embargo, para la carrera de Ingeniería Civil Industrial es importante que el supervisor las contesten honestamente con el fin de conocer si nuestros alumnos están respondiendo a las necesidades de la empresa; y en el caso contrario poder tomar las medidas correctivas para que ello ocurra.

Si le hiciera falta personal, ¿contrataría al estudiante que ha tenido en práctica?	<input checked="" type="radio"/> SÍ	Indique el porqué POR EL BUEN DESEMPEÑO, COMPROMISO y RESPONSABILIDAD.
	<input type="radio"/> NO	
¿Volvería a tener un estudiante en práctica de la UCSC?	<input checked="" type="radio"/> SÍ	Indique el porqué POR EL INTERES que MUESTRAN EN EL Trabajo o tarea ASIGNADA.
	<input type="radio"/> NO	

Por favor incluya brevemente comentarios generales (positivos y/o negativos) sobre las actividades realizadas, el desempeño en el trabajo y su apreciación personal respecto al alumno en práctica profesional tutelada.

- BUEN DESEMPEÑO EN LAS ACTIVIDADES que REALIZÓ, cumpliendo con los plazos y enfocándose EN EL objetivo.

- DEMOSTRO RESPONSABILIDAD, RESPETO, ADEMÁS, cuenta con un BUEN SENTIDO DEL HUMOR.



Luis Vidal Cabeza.

Nombre y Firma del Supervisor
Timbre de la Empresa

Esta pauta debe ser completada y firmada por el supervisor directo del alumno en práctica y entregada al Coordinador de Prácticas de la Carrera.

Cc: Coordinador de Prácticas
Interesado
Archivo

Índice de Contenido

Capítulo 1	9
1.1 Introducción	9
1.2 Delimitación del problema	9
1.3 Justificación del problema	10
1.4 Objetivos	10
1.4.1 Objetivo General	10
1.4.2 Objetivos Específicos	10
1.5 Metodología de trabajo	11
1.6 Descripción de la Empresa	12
1.6.1 Antecedentes Generales	12
1.6.2 Proceso Productivo	12
1.6.3 Área de desarrollo	13
Capítulo 2	13
2.1 Metodología DMAIC	13
2.1.1 Definir (D)	14
2.1.2 Medir (M)	14
2.1.3 Analizar (A)	14
2.1.4 Mejorar (I)	15
2.1.5 Controlar (C)	15
2.2 Materiales y/o herramientas	16
Capítulo 3	16
3.1 Maquina de Colada Continua (MCC)	16
3.2 Palanquilla de acero	17
3.2.1 Macrografías	18
3.2.2 Tipos de defectos	18
3.2.3 Clasificación del defecto	19
3.3 Análisis de macrografías	19
3.3.1 Diagrama de Pareto para el tipo de grado	19
3.3.2 Diagrama de Pareto para el tipo de defecto	20
3.4 Análisis de calidad seis sigma	22

3.4.1 Índice Z (número de sigma)	23
3.4.2 DPMO	23
3.4.3 PPM	23
3.4.4 DPMO vs PPM.....	24
3.4.6 Situación actual del proceso	25
3.4.7 Estabilidad del proceso	26
3.5 Estado del proceso	28
3.5.1 Estable pero incapaz	28
3.5.2 Estrategias de mejora	29
3.6 Propuesta de mejora.....	29
3.6.1 Análisis de criticidad	30
3.6.2 Diseño de base para registrar cambios de equipos	33
3.6.3 Implementar estudio de confiabilidad.....	36
Capítulo 4.....	40
4.1 Plan de acción.....	40
4.1.2 Impacto económico.....	41
4.2 Conclusión	42
4.3 Reflexiones	43
Referencias	44
Anexos	45
Anexo A: Ciclo DMAIC	45
Anexo B: Diagrama de proceso Máquina de Colada Continua (MCC)	45
Anexo C: Colada Continua tipo Curva	46
Anexo D: Palanquillas Procesada en la MCC	47
Anexo E: Ilustración Macrografías	48
Anexo F: Calificación para severidad del defecto y Disposición de Palanquillas	49
Anexo G: Diagrama Causa Efecto (Ishikawa).....	50
Anexo H: Gráficos de Pareto	51
Anexo I: Cartas de Control del Proceso	52
Anexo J: Ponderación de equipos críticos	53
Anexo K: Equipos críticos	54

Anexo L: Base de datos para el registro de equipos.....	55
Anexo M: Distribución de Equipos en la zona de enfriamiento Secundario	56
Anexo N: Instructivo de llenado para cartilla en cuadro de información de la MCC.....	57
Anexo O: Cartilla para inspección de equipos	58
Anexo P: Ingreso de datos en Minitab	59
Anexo Q: Indicadores de eficiencia.....	62
Anexo R: Gráfico de Barras para Estudio Vs Plan de Acción	63

Índice de Tablas

Tabla 3-1: "Antecedentes máquina de colada continua"	17
Tabla 3-2: "Tipos de defectos en palanquillas"	18
Tabla 3-3: "Clasificación por severidad del defecto"	19
Tabla 3-4: "Secciones máquina de colada continua"	22
Tabla 3-5 "Defectos por millón de oportunidades (DPMO)"	23
Tabla 3-6: "Análisis de situación actual del proceso"	25
Tabla 3-7: "Tipo de proceso"	28
Tabla 3-8: "Escala de criticidad"	31
Tabla 3-9: "Ponderación según factor a evaluar"	32
Tabla 3-10: "Formulas para confiabilidad de equipos"	37
Tabla 4-1: "Análisis actual vs plan de acción"	40

Índice de Figuras

Figura 3-1: "Gráfico de pareto para el tipo de grado de acero"	20
Figura 3-2: "Gráfico de pareto para la frecuencia de defectos"	21
Figura 3-3: "Asignación de estrategia de mantenimiento"	33
Figura 3-4: "Formulario para registro de cambio de equipos en zona de enfriamiento secundario"	34
Figura 3-5: "Cartilla oficial de inspección de equipos"	35
Figura 3-6: "Tipo de censura de datos"	38

Capítulo 1

1.1 Introducción

En el presente informe se expone el desarrollo de funciones realizadas en la empresa CAP Acero correspondiente a la práctica profesional tutelada, donde se realizó un análisis de datos a los productos semiterminados de la Máquina de Colada Continua (MCC), con el objetivo de usar esta información para diagnosticar la situación actual e impacto por concepto de grietas en el proceso de colada del acero, así desarrollar una propuesta de mejora a futuro para el departamento de Acería y Colada Continua.

CAP Acero es una siderúrgica integrada que produce acero a partir de materias primas, entregando al mercado una amplia gama de productos. Dentro de la variedad de procesos que tienen lugar durante la producción del acero, está el proceso de colada continua de productos semiterminados en el cual el acero sufre la transformación de su estado líquido a estado sólido, adoptando la forma de *Palanquillas* de 160 mm de sección cuadrada de distintas longitudes (9,9 m en su mayoría).

1.2 Delimitación del problema

El problema radica en la gran cantidad de palanquillas (Producto semiterminado) que es clasificada con un defecto de “Severidad alta” en la Máquina de Colada Continua. La principal causa de los defectos en el producto son los equipos que componen la Zona de enfriamiento secundario. Mediante muestras llamadas

macrografías realizadas diariamente, se puede obtener información del tipo y severidad de los defectos.

1.3 Justificación del problema

En la actualidad las consecuencias por concepto de defectos del tipo de *severidad alta*, se ven reflejada en la pérdida de disponibilidad para producción, disminución de tiempos para realizar mantención, retraso en la entrega a clientes y en algunos casos pérdida del producto semiterminado. De esta forma se hace relevante el abordaje de la problemática expuesta, con el fin de realizar una propuesta de mejora resolutive.

Inicialmente se le asigna al estudiante realizar un *Estudio de Confiabilidad* para los equipos de la MCC, sin embargo, la obtención de datos se ve imposibilitada, ya que la empresa no posee un registro de cambio de equipos de la Máquina de Colada Continua. Frente a esto, gracias a la disponibilidad de las muestras macrográficas es posible obtener información para dar cumplimiento al objetivo planteado.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Reducir las pérdidas de producto semiterminado por concepto de grietas de Medio Radio en la Máquina de Colada Continua (MCC).

1.4.2 Objetivos Específicos

1. Diagnosticar situación actual del proceso mediante metodología seis sigma.

2. Identificar el tipo de procesos a través de una carta de control y capacidad del proceso.
3. Proponer estrategia de mejora para el proceso.
4. Elaborar análisis de criticidad para determinar los equipos de mayor impacto que genera el tipo de defecto.
5. Diseñar sistema base para un registro de datos robusto, ordenado y estandarizado.
6. Proponer un estudio de confiabilidad para la elaboración de un plan preventivo de mantenimiento de equipos que conforman la Zona de enfriamiento secundario.

1.5 Metodología de trabajo

En común acuerdo con Daniel Mejías quien es el jefe del área de ingeniería de procesos del departamento de Acería y Colada Continua se estimó el uso de la metodología DMAIC, el cual es el acrónimo en inglés para cinco pasos: 1. Definir, 2. Medir, 3. Analizar, 4. Mejorar y 5. Controlar (Define, Measure, Analyze, Improve y Control). Su uso más común es en proyectos que utilizan metodología seis sigma, pero su aplicación no es exclusiva para proyectos guiados por dicha estrategia, puesto que se puede utilizar en cualquier situación en cual se desee implementar mejoras. En el Punto 2.1 se describen los cinco pasos con la descripción detallada de materiales y en el anexo A se puede visualizar gráficamente el ciclo DMAIC. Durante el periodo de práctica se trabajó en conjunto con ingeniería de procesos bajo la supervisión del jefe del área quien constantemente revisaba, retroalimentaba y finalmente aprobaba el trabajo realizado.

1.6 Descripción de la Empresa

1.6.1 Antecedentes Generales

CAP Acero - Compañía Siderúrgica Huachipato S.A. - es una empresa del Grupo CAP y la principal industria productora de acero en Chile. La siderúrgica está ubicada en Talcahuano, a orillas de la Bahía de San Vicente, y se ha destacado por su positivo impacto productivo, económico y social en la Región del Biobío.

Desde 1950 la Compañía lidera el negocio del acero en Chile y actualmente tiene una capacidad de producción de 800.000 toneladas de acero líquido/año. A través de una variada gama de productos de reconocida calidad, CAP Acero contribuye al crecimiento del país, abasteciendo a importantes sectores de la economía, principalmente a la minería, la industria metalmecánica y la construcción. Actualmente su producción está orientada a productos largos, como las barras de molienda, el alambión, las barras para refuerzo de hormigón y los aceros especiales, entre otros.

1.6.2 Proceso Productivo

CAP Acero es la única siderúrgica integrada del país, lo que significa que elabora acero a partir de materias primas básicas, como el mineral de hierro, el carbón y la caliza, lo que garantiza productos de alta pureza y calidad controlada.

- La etapa inicial del proceso es el *alto horno*, que es un gran reactor vertical en contracorriente donde se obtiene el hierro líquido en forma de arrabio.
- La segunda etapa consiste en la refinación de arrabio para su transformación en acero. Éste se realiza en los convertidores al *oxígeno de acería*. Este

acero líquido es sangrado en cucharas y es transportado a la estación de ajuste metalúrgico

- En la estación de ajuste metalúrgico se obtiene la composición química deseada, luego el acero es transportado a la colada continua.
- En la colada continua el acero líquido se solidifica y se transforma en palanquillas que corresponden a productos semiterminados, las cuales son transportadas a la unidad de laminación (revisar diagrama de proceso en el anexo B).
- En esta última etapa mediante transformación a altas temperaturas por medio de rodillos de laminación, se modifica la forma de los productos, reduciendo la sección y aumentando el largo.

1.6.3 Área de desarrollo

El área en la que se desarrolló la práctica fue en el departamento de acería y colada continua, específicamente en una oficina anexa al púlpito central de la “Máquina de Colada Continua (MCC)”.

Capítulo 2

2.1 Metodología DMAIC

Como se hace mención en el punto 1.5 la metodología utilizada para lograr los objetivos específicos es DMAIC, a continuación se define cada paso de este método

y su respectiva aplicación en la práctica. Cabe destacar que los cuatro primeros pasos: Definir, Medir, Analizar y Proponer Mejora, fueron desarrollados durante la práctica, respecto al quinto paso que es el Control se debe orientar a tareas futuras para la empresa.

2.1.1 Definir (D)

En este paso se define lo que se hará y cuál es el resultado esperado al final de la ejecución del ciclo DMAIC, por lo cual se debe:

- Analizar y profundizar el conocimiento de la situación, problema u oportunidad que se ha visualizado.
- Revisar planos e información de la Máquina de Colada Continua (MCC).
- Registrar el cambio de equipos de manera rápida y estandarizada.
- Formular recomendaciones que permitan gestionar la disminución de la tasa de fallas en palanquillas de acero.

2.1.2 Medir (M)

El objetivo de este paso es recolectar datos e información para analizar y evaluar el escenario actual; Algunas actividades racionadas son:

- Recolectar información respecto a los distintos defectos en el producto semiterminado.
- Definir tipos de defectos y su severidad.
- Describir métrica seis sigma y su aplicación para la práctica.

2.1.3 Analizar (A)

El foco de este paso es identificar la causa raíz del problema. Generalmente al analizar un proceso varían las posibles causas, pero la clave es priorizar y validar la causa raíz del problema a tratar:

- Definir el tipo de acero para el análisis de situación actual.
- Realizar diagramas de Pareto por tipo de defecto en las palanquillas (producto semiterminado) de acero.
- Medir el rendimiento por línea de la MCC mediante seis sigma.
- Analizar la estabilidad del proceso mediante cartas de control.
- Realizar un estudio de criticidad en base a una mesa de trabajo con personal del departamento de acería y colada continua.

2.1.4 Mejorar (I)

Se debe identificar las posibles soluciones para corregir y evitar causa raíz del problema:

- Diseñar base de datos estandarizada, ordenada y robusta con un interfaz para el ingreso de datos fácil y rápido.
- Proponer un estudio de confiabilidad sobre los tiempos de falla en los equipos críticos del proceso.

2.1.5 Controlar (C)

El foco de este paso es controlar las acciones para que no se pierda la información. La práctica tiene una duración de 4 meses, donde no es posible levantar un registro robusto para analizar datos, es por esto que el control está orientado a un análisis futuro con lo implementado, será posible:

- Analizar el rendimiento del proceso una vez que se tengan datos registrados.
- Con una base de datos robusta y estandarizada se espera realizar un estudio de confiabilidad e implementar un mantenimiento preventivo con los resultados obtenidos.

2.2 Materiales y/o herramientas

- **Portal ACERONET:** Es una herramienta propia de CAP Acero, la cual se usó para extraer información de la composición del acero y los distintos tipos de grados de acero producidos por la empresa.
- **Microsoft Excel:** Herramienta utilizada durante toda la práctica, algunos de sus usos como fórmulas, gráficos, filtros, tablas dinámicas, son importantes para el desarrollo de datos.
- **Software AutoCAD:** Gran parte de los planos de la máquina se encontraban en este programa al igual que en documentos formato PDF.
- **Visual Basic:** Lenguaje de programación dirigido a Microsoft Excel, se usó para diseñar el formulario como interfaz de registro de cambio de equipos.
- **Minitab19:** Importante herramienta para análisis estadístico, si bien no es usada en la práctica, se recomienda a la empresa su uso para implementar un estudio de confiabilidad a futuro.

Capítulo 3

3.1 Máquina de Colada Continua (MCC)

Existen múltiples métodos de colada del acero como: curvo, horizontal, vertical y el menos común strip casting. En CAP acero desde el año 1999 se produce mediante

el tipo de colada curva, la cual convierte el metal del estado líquido al sólido en modalidad continua. En el anexo C se puede observar un plano en tres dimensiones de la MCC y en la tabla 3-1 se dan a conocer algunos antecedentes.

Tabla 3-1: "Antecedentes Máquina de Colada Continua"

Antecedentes Generales de la MCC	
Fabricante	CONCAST – STANDARD, Suiza
Año	1999
Tipo de molde	Concast Convex ® 160X160X1.000 (mm)
Línea de colada	5
Tipo de torreta	Giratoria con brazos elevables y celdas de pesaje
Radio de la maquina	8 (m)
Tipo de enderezado	Enderezado continuo de 2 puntos
Capacidad productiva	150 (t/h) 1.000.000 (t/año)
Distancia entre líneas	1.200 (mm)
Velocidad de colada	2.0 a 3.5 (m/min)
Capacidad cuchara	115 (t)
Tipo de Corte	Oxi-corte (Oxigeno – Propano)

Fuente: Planos Máquina de Colada Continua

Esta máquina cuenta con tres tipos de enfriamiento:

- **Primario:** Este se produce en el molde oscilatorio de la cámara mediante placas de cobre refrigeradas.
- **Secundario:** Zona de enfriamiento a través de agua esparcida directamente en la palanquilla, lo componen la zona 1, 2, 3A y 3B.
- **Terciario:** Este enfriamiento es de manera natural, es decir, a temperatura ambiente una vez extraída la palanquilla desde la cámara.

3.2 Palanquilla de acero

El producto semiterminado lleva el nombre de palanquilla, la cual es una barra fabricada a partir de acero crudo que no tiene las esquinas pulidas, son laminados

a partir de lingotes. El acero crudo no se puede utilizar si no está procesado de este modo, por lo que brinda una mayor funcionalidad. En CAP acero se producen palanquillas con un diámetro de 160X160 mm, en su mayoría con un largo de 9,9m y un peso de 1,49 t. En el anexo D se pueden observar imágenes de la producción de palanquillas.

3.2.1 Macrografías

La macrografía es un método que permite observar discontinuidades o defectos en las palanquillas con la ayuda de un microscopio a una baja amplificación. Se toman cinco muestras por hornada de acero (una por línea), las cuales son analizadas en un laboratorio dentro de CAP acero y se pueden identificar los distintos tipos de defectos en la palanquilla. El laboratorio entrega una planilla excel con el tipo y severidad del defecto para asignar la *disposición* del producto, en el anexo E se puede observar una captura de esta planilla, principal base para obtener información del funcionamiento y el análisis actual del proceso con datos desde enero de 2017 a marzo de 2019, con un total de 29.706 muestras macrográficas.

3.2.2 Tipos de defectos

Como se mencionó en el punto 3.2.1, existen distintos tipos de defectos en el proceso de colada del acero, estos son:

Tabla 3-2: "Tipos de Defectos en Palanquillas"

Defecto	Definición
Rechupe	Aparece en el centro del producto, variando su aspecto desde un agujero central de mayor o menor diámetro, hasta una zona porosa más o menos acusada.
Rombosidad	Falta de cuadratura de la palanquilla ($D1-D2 \neq 0$)

Grietas Sub-Superficiales (GSS)	Este defecto se forma a lo largo de la fase intermedia de dos frentes de solidificación vecinos. Las grietas se pueden extender desde arista a arista, aflorando en ocasiones a la superficie.
Grietas Centrales (GC)	Fisura en el eje central de la palanquilla
Grietas de Medio Radio (GMR)	Fisuras que forman un complejo entramado en la zona columnar a medio camino entre la porosidad central y la superficie.

Fuente: Elaboración propia

3.2.3 Clasificación del defecto

Los defectos se clasifican por severidad, en el anexo F se indica la clasificación por cada tipo de defecto y su calificación en la planilla excel de macrografías. Además del tipo de disposición, en la tabla 3-3 se describe a modo de ejemplo el tipo de grieta central donde el *requisito* para no ser considerada del tipo severidad alto es de 10 mm de largo.

Tabla 3-3: "Clasificación por severidad del defecto"

Severidad del defecto	Características	Calificación
Bajo	Grieta menor a 5 mm de longitud	X
Medio	$5 \text{ mm} \leq \text{Largo grieta} < 10 \text{ mm}$	XX
Alto	Grieta mayor o igual a 10 mm	XXX

Fuente: Departamento de Acería y Colada Continua

3.3 Análisis de macrografías

3.3.1 Diagrama de Pareto para el tipo de grado

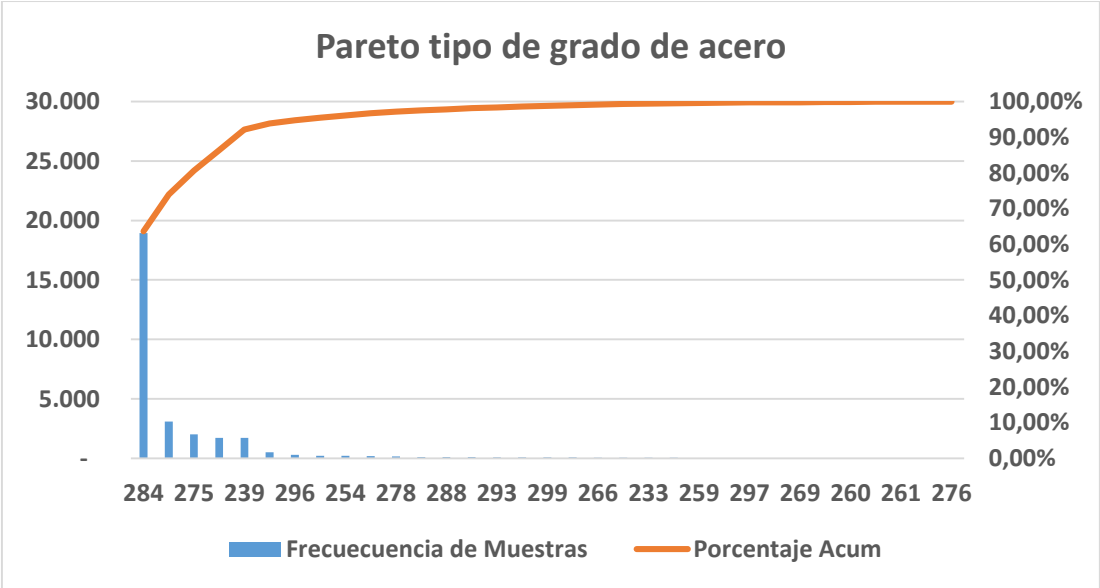
El diagrama de Pareto, consiste en un método gráfico para determinar cuáles son los problemas más importantes de una determinada situación y por consiguiente las prioridades de intervención. Permite identificar los factores o problemas más

importantes en función de la premisa de que pocas causas producen la mayor parte de los problemas y muchas causas carecen de importancia relativa

(Arnoletto, 2007).

En la figura 3-1 se utilizó un diagrama de Pareto para identificar el grado de acero que se produce en CAP acero con mayor frecuencia.

Figura 3-1: "Gráfico de Pareto para el tipo de grado de Acero"



Fuente: Elaboración Propia

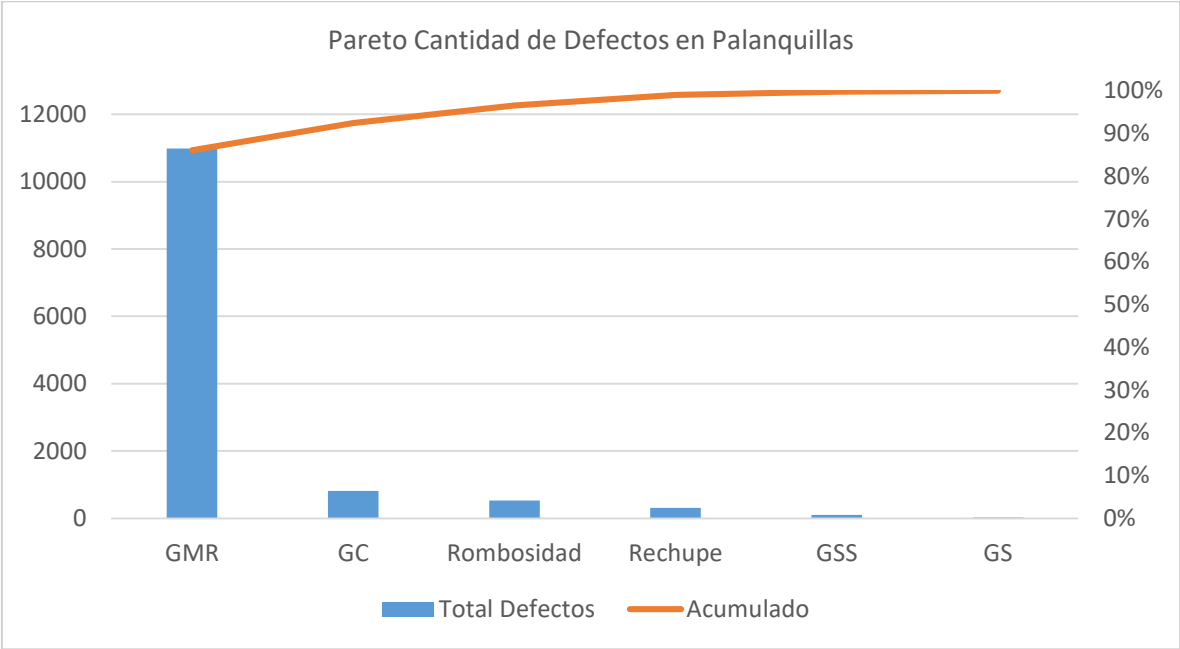
Mediante el diagrama de Pareto se define el tipo de grado del acero seleccionado para el estudio, donde el 284 representa casi un 70% de la producción, esto se debe a que en la actualidad CAP acero posee un contrato con la empresa Moly-Cop Chile, quien es su principal cliente la que se dedica a la producción de bolas de molineta para la minería y para ello necesita de este tipo de grado para su procesamiento.

3.3.2 Diagrama de Pareto para el tipo de defecto

De la misma manera que en el punto 3.3.1 se realizó un diagrama de Pareto, esta vez para definir el tipo de defecto con mayor frecuencia en el proceso, para ello se

filtró la planilla de macrografías con el grado 284, del cual se obtuvieron 18.956 muestras con el primer supuesto de una velocidad de colada igual a 2,3 m/min, además se consideran los tres tipos de severidad (baja, media y alta):

Figura 3-2: "Gráfico de Pareto para la frecuencia de defectos"



Fuente: Elaboración Propia

Como se indicó en la problemática, claramente los defectos por concepto de grietas representa más del 90% del total de defectos (GMR, GC, GSS y GS), es por esto que se debe analizar la causas, para ello que en el anexo G se puede observar un diagrama causa efecto con los factores más importante para su ejecución (tipo 4 Ms). Además se presenta una tabla de elaboración propia con información entregada por ingeniería de procesos del departamento de acería y colada continua, con las principales causas por tipo de defecto de donde se extrajo información muy relevante:

- La causa principal por concepto de grietas sub-superficiales, centrales y medio radio es el mal funcionamiento de equipos en la zona de enfriamiento secundario.
- En el anexo H se expone un diagrama de Pareto, donde se observa que el 90% de defectos por grietas en las palanquillas son del tipo grieta de medio radio (GMR).

Para justificar lo señalado anteriormente, las macrográficas entregan información respecto al diámetro donde se genera la GMR a lo largo de la palanquilla, para ello se separó la máquina de colada continua en seis secciones:

Tabla 3-4: "Secciones Maquina de Colada Continua"

Sección	Dimensión
Molde	0,86 m
Zona 1	0,27 m
Zona 2	1,6 m
Zona 3 (3A)	2,2 m
Zona 4 (3B)	2,2 m
Extracción	4,28 m

Fuente: Elaboración propia

Con la información obtenida desde las macrográficas y mediante un diagrama de Pareto por zona (anexo H), es posible afirmar que más del 85% de las grietas de medio radio se generan entre la zona 4 y zona 3, pertenecientes al *enfriamiento secundario*.

3.4 Análisis de calidad seis sigma

Seis sigma es una metodología centrada en la reducción de la variabilidad, consiguiendo reducir o eliminar los defectos, en la entrega de un producto o servicio al cliente.

3.4.1 Índice Z (número de sigma)

Es una forma para medir la capacidad de un proceso, consiste en calcular la distancia entre las especificaciones y la media μ del proceso en unidades de la desviación estándar. El índice Z se emplea como métrica en seis sigma cuando la característica de calidad es del tipo continuo; sin embargo, muchas características de calidad son de atributos y para estos casos se utiliza como métrica los defectos por millón de oportunidades de error (DPMO).

3.4.2 DPMO

Mediante este método para atributos es posible determinar:

Tabla 3-5 "Defectos Por Millón de Oportunidades (DPMO)"

Defectos Por Unidad (DPU) $DPU = \frac{d}{U}$	Es el número de defectos encontrados entre el número de unidades inspeccionadas.
Defectos Por Oportunidad (DPO) $DPO = \frac{d}{U \times O}$	Es el número de defectos encontrados entre el total de oportunidades de errores al producir una cantidad específica de unidades.
Defectos Por Millón de Oportunidades (DPMO) $DPMO = 1\,000\,000 \times DPO$	Métrica seis sigma para procesos de atributos que cuantifican los defectos esperados en un millón de oportunidades de error.

Fuente: Evans.J & William.L (2008)

3.4.3 PPM

Métrica seis sigmas en la que si se conoce el nivel de sigma, es posible obtener las Partes Por Millón (PPM) fuera de especificaciones que se esperan a largo plazo,

para la práctica serán las parte por millón que no cumplen con los *requisitos* de la siguiente manera:

$$PPM_L = \exp \left[\frac{29.37 - (Z_c - 0.8406)^2}{2.221} \right]$$

3.4.4 DPMO vs PPM

El DPMO se refiere a variables para atributos más cercanas a variables con distribución Poisson, donde una pieza puede tener más de un defecto y no necesariamente debe rechazarse, como en este caso si la pieza presenta un tipo de defecto del tipo severidad alta la palanquilla no pasa, y aquí más bien se aplica la distribución binomial y su aproximación a la normal. Por ende, es posible relacionar el PPM con el DPMO y obtener lo siguiente:

- **Rendimiento del proceso:** Un proceso de Poisson con la probabilidad de obtener cero fallas puede verse como la probabilidad de que la distribución cumpla con los *requisitos* (grieta menor a 10 mm)

$$Y = P(x = 0) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!} = e^{-\lambda} = e^{-DPU}$$

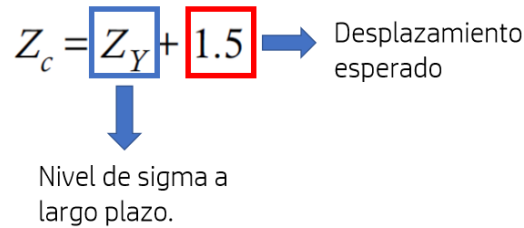
- **Nivel de sigma a largo plazo (Z_Y):** Dado que es una aproximación de Poisson a la normal, mediante una distribución normal inversa se debe buscar Y (rendimiento).

$$P(Z < Z_Y) = Y \quad \text{o} \quad P(Z > Z_Y) = 1 - Y$$

$$= \text{INV.NORM.ESTAN}(Y)$$

$$=INV.NORM.ESTAN (e^{-DPU})$$

- **Nivel de sigma del proceso (Z_c):** Investigaciones arrojan que la media de un proceso se puede desplazar a través del tiempo hasta 1.5 sigmas en promedio hasta cualquier lado de su valor actual.



3.4.6 Situación actual del proceso

Para este análisis se filtró por línea los cuatros tipo de grietas entregadas en la planilla de macrografías con severidad alta (XXX), de los cuales un 90% de defectos son del tipo medio radio (GMR).

Tabla 3-6: "Análisis de Situación actual del proceso"

Línea	Muestras	XXX	Tasa de falla (DPU)	Rendimiento (Y)	Nivel de Sigma (Z_c)	PPM	C/1000 Palanquillas
Línea 1	3.552	264	0,074	92,8%	2,96	72.703	73
Línea 2	3.948	244	0,062	94,0%	3,06	60.796	61
Línea 3	3.711	214	0,058	94,4%	3,09	56.825	57
Línea 4	3.843	310	0,081	92,3%	2,92	78.669	79
Línea 5	3.902	364	0,093	91,1%	2,85	90.409	90

Fuente: Elaboración propia

En base a estos resultados es posible apreciar en la tabla los rendimientos por línea de la máquina de colada, además de las partes por millón que no cumplen con los requisitos, donde la línea 5 con un 91,1% es la de menor rendimiento y por cada un millón de palanquillas procesada en esta, 90.409 presentan defecto por el tipo de



severidad alta (XXX), es decir, no cumple con los requisitos. Si bien se hace mención en el punto 1.3, las palanquillas solo en algunos casos se envían a chatarra, en promedio un 10% del total con el tipo de severidad alta, pues se puede corregir el defecto a través de una replicación, lo cual genera pérdidas en términos de demora en la entrega a clientes, tiempos para mantenimiento y costos operacionales. Lo ideal es que el producto fuese directamente a su disposición de origen.

3.4.7 Estabilidad del proceso

Para que los datos obtenidos sean interpretables mediante un análisis seis sigma, se tiene que validar el nivel de sigma definiendo si el proceso es estable, es por esto que se debe elaborar una carta de control del proceso, con el supuesto de que la media y la desviación estándar son conocidas y los datos se distribuyen normal. El comportamiento de la carta debe tener:

- Comportamiento aleatorio.
- Puntos dentro de los límites de control.
- Índice de inestabilidad (S_t) menor a 5%.

$$S_t = \frac{\text{Número de puntos especiales}}{\text{Número total de puntos}} \times 100$$

 Los que están fuera de los límites más aquellos que indicaron patrones especiales no aleatorios.
 Cantidad total de puntos graficados.

Lo ideal es construir una carta de control del tipo variable la cual proporcionan una utilización máxima de la información disponible, pero las macrografías no especifican mediciones como temperatura, longitud, peso, etc. Es por esto, que la

carta de control creada es del tipo μ , la que es usada cuando cada una de las unidades puede tener más de un defecto, suceso o atributo y “no” necesariamente se cataloga al producto o unidad como defectuoso, esto dado que en algún caso puede existir una muestra con más de un tipo de defecto e inclusive tipo de severidad alto.

Para poder observar la carta y que el comportamiento sea concluyente se necesita de por los menos doscientos puntos graficados, para ello:

$$u_i = \frac{c_i}{n_i} \quad \bar{u} = \frac{\text{Total de defectos}}{\text{Total de artículos inspeccionados}} \quad \sigma_{u_i} = \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$$

- Donde, C_i es la cantidad de defectos en el subgrupo i y n_i es el tamaño del subgrupo i .
- Cada subgrupo está representado por la cantidad de muestras tomadas en un día (200 días).

Los límites de control utilizados para una carta de control del tipo μ son:

$$LCS = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \quad \text{Línea central} = \bar{u} \quad LCI = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$$

Con un total de 9.219 muestras en 200 días y un promedio de 46,1 muestras por día, se detectaron 6.264 defectos con cualquier tipo de severidad, se observó un comportamiento inestable dada la gran cantidad de puntos fuera de los límites de control, y un índice de inestabilidad mayor a un 5%, esto dado que el n no es interpretable al límite central dada la media de 46,1 muestras por día. Si n no es el

mismo en cada subgrupo se realiza una carta con límites variables, donde esta vez el índice de inestabilidad es menor a un 5%, y tan solo tres puntos fuera de los límites a las cuales se les llamó “causas especiales”. Ambas cartas de control se pueden observar en el anexo I.

En base a lo anterior, se puede definir el proceso como *estable*, por ende, se valida el nivel de sigma y los datos obtenidos son interpretables.

3.5 Estado del proceso

Ya se ha estudiado la capacidad del proceso a través de la métrica seis sigma para cumplir con los requisitos. Mediante la carta de control tipo μ la estabilidad del proceso. Una de las tareas básicas para caracterizar y mejorar un proceso es evaluar su estado en cuanto a su capacidad y estabilidad, para ello existen 4 tipos de procesos que se pueden clasificar de la siguiente manera:

Tabla 3-7: "Tipo de Proceso"

		¿El proceso es Estable?	
		SI	NO
¿El proceso es Capaz?	SI	A (Estable y Capaz)	B (Capaz pero inestable)
	NO	C (Estable pero incapaz)	D (Inestable e incapaz)

Fuente: Evans.J & William.L (2008)

3.5.1 Estable pero incapaz

Como se señaló en el punto 3.5, mediante cartas de control es posible clasificar el tipo de proceso, el cual quedó demostrado al obtener un índice de estabilidad de 4,5 % (menor a un cinco por ciento), pero en el análisis de situación actual mediante seis sigma del proceso general se obtuvo un nivel de sigma igual a 2,92 (lejos de 6 sigma). Dado esto el proceso es estable pero incapaz.

3.5.2 Estrategias de mejora

Cuando se tiene un proceso del tipo C es posible implementar estrategias de mejora como las siguientes:

- Mejorar la aplicación y uso de las cartas de control: Es recomendable que todo proceso tenga un buen sistema de monitoreo para detectar cambios de manera oportuna.
- Investigar causas de baja capacidad mediante proyecto de mejora: Definir el estado del proceso, a partir de éste, establecer la magnitud del problema y la razón por la que el proceso genera producto no conforme.
- Para que el proceso sea capaz de cumplir con los requisitos: Se recomienda explorar alternativas para mejorar la confiabilidad de equipos e incrementar la productividad y/u operabilidad.
- Volver a evaluar el estado del proceso (a futuro): Si después de múltiples intentos no se logre cumplir de manera satisfactoria la capacidad deseada, se deberá pensar en otras formas, como un rediseño del proceso en el que se usen nuevas tecnologías.

3.6 Propuesta de mejora

Como se hace mención en el punto 3.5.2 para mejorar la capacidad de producción, es necesario mejorar la confiabilidad de los equipos, pero para ello se necesita observar las fallas de los equipos. Actualmente no existe un registro de cambio de equipos en la máquina de colada continua, el único registro es realizado por una empresa externa encargada de las mantenciones, la cual no especifica la ubicación exacta donde se realizó el cambio del equipo, es por ello que se propone levantar

un registro de datos para así estudiar las fallas, pero esta vez las propias del equipo. De esta manera se podrá elaborar un estudio de confiabilidad para un mantenimiento preventivo de estos, pero primero debemos separar los equipos críticos dentro de la cámara de vapor, que afectan directamente en la generación de grietas del tipo medio radio.

3.6.1 Análisis de criticidad

La máquina de colada continua debido a su gran envergadura, posee múltiples secciones con gran cantidad de piezas y equipos en cada una de ella. En el punto 3.3.2 se indicó que en la zona de enfriamiento secundario se genera la grieta del tipo medio radio, entonces para clasificar la criticidad de cada equipo de la zona de enfriamiento secundario, se realizó un análisis general de ellos con la colaboración del jefe de mantenimiento de la MCC, el jefe de taller de refrigeración y un operador de la máquina de colada continua, dado que el sustento para un estudio de criticidad es el conocimiento de la gente en terreno. En este análisis se evaluaron los elementos mantenibles pertenecientes a las zonas: 1, 2, 3(3A) y 4(3B) que tengan relación directa con las grietas de medio radio perteneciente al enfriamiento secundario.

Se obtuvo un total de veintiséis equipos por línea en la zona de enfriamiento secundario expuestos en el anexo J, teniendo en cuenta que se considera solo un equipo por línea para definir el rango de criticidad, de acuerdo a la escala de valores que se indica en la tabla 3-8.

Tabla 3-8: "Escala de Criticidad"

Cota Inferior	Cota Superior	Clase	Variable
1	2	Criticidad Baja	C1
2,1	3,1	Criticidad Media	C2
3,2	5	Criticidad Alta	C3

Fuente: Elaboración Propia

Los factores a evaluar en el análisis de criticidad son:

- **Impacto en la producción por falla:** Este ítem tiene relación directamente con la producción de grietas de medio radio (GMR), dado que todos los equipos que componen el enfriamiento secundario no tienen el mismo impacto, es decir, en caso de que el equipo fallara se deberá separar la palanquilla por concepto de GMR y asignar otra disposición.
- **Factor de servicio:** este ítem se asocia a la cantidad de tiempo que el equipo permanece en servicio al día, es decir, si está normalmente en servicio durante todo el proceso de producción o de manera intermitente durante el proceso.
- **Complejidad mecánica:** Este ítem se relaciona con la intervención en el reemplazo del equipo, dado que el cambio de un rociador es de un tiempo más acotado en comparación a un rodillo de extracción.

Se consideraron tres calificaciones para cada ítem, siendo 5 la calificación más alta y 1 la más baja, en cuanto a la ponderación es de un 50%, 30% y 20% en el orden señalado en la tabla 3-9.

Tabla 3-9: "Ponderación según factor a evaluar"

Ítem	Calificaciones	Ponderación
Impacto en la producción	1 – 3 – 5	50 %
Factor del Servicio	1 – 3 – 5	30 %
Complejidad Mecánica	1 – 3 – 5	20 %

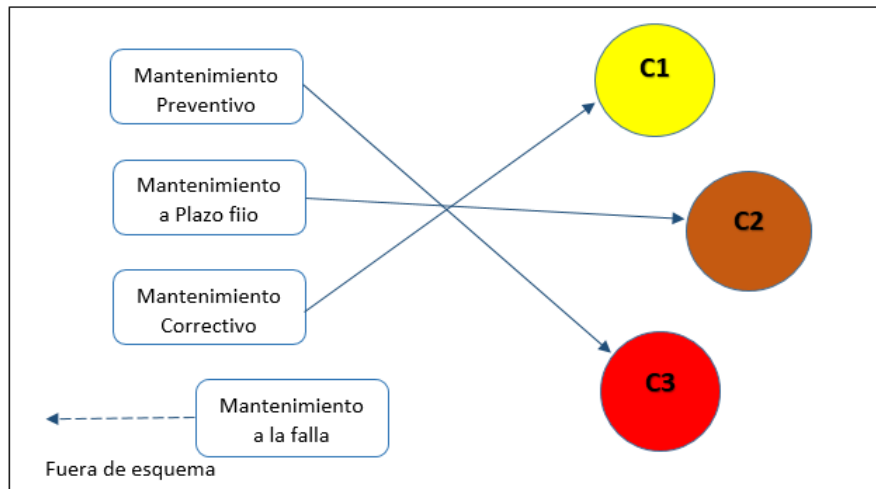
Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado el análisis de criticidad con sus respectivas ponderaciones se asigna una estrategia de mantenimiento para los activos de acuerdo a la criticidad obtenida, para ello se define cuatro estrategias:

- **Mantenimiento preventivo:** Podría ser posible actuar para prevenir que falle completamente y/o evitar las consecuencias.
- **Mantenimiento a plazo fijo:** Evitar que los elementos fallen antes que su degradación sea tal, que el elemento ya no sea capaz de efectuar la función para la cual fue concebido.
- **Mantenimiento correctivo:** Acciones de corrección una vez declarada la falla, generalmente no cuando falla, sino cuando es más oportuno atenderlas.

Ya presentadas las estrategias de mantenimiento, se asocian a los equipos ponderados en el anexo J, para ello se considera la figura 3-3.

Figura 3-3: "Asignación de estrategia de mantenimiento a equipos según criticidad"



Fuente: Elaboración propia

Del anexo J se extraen tres equipos con una ponderación mayor a 3,2, estos son: Boquillas, Niples y Rociadores (anexo K), los cuales tienen el mayor impacto en la producción de grietas de medio radio, es por esto, que se debe implementar una estrategia de mantenimiento preventivo urgentemente, para poder reducir los defectos y así mejorar la capacidad productiva del proceso.

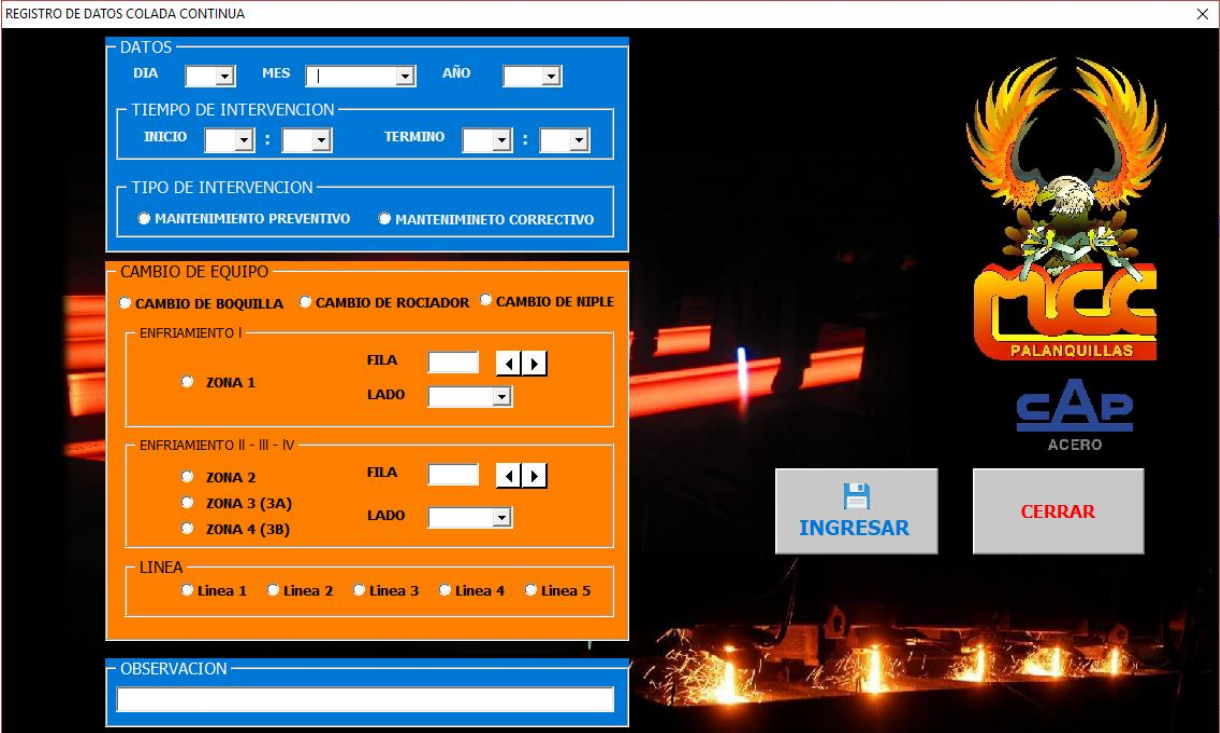
Una vez definidos los equipos con una criticidad C3, es posible generar un registro de estos (el que era inexistente anteriormente), para poder estudiar los tiempos de falla con la finalidad de implementar un estudio de confiabilidad a futuro, de esta forma poder observar el comportamiento durante un determinado período y así definir las mantenciones a realizar.

3.6.2 Diseño de base para registrar cambios de equipos

La finalidad de generar un sistema de registro de datos es llevar un control del cambio de equipos en la zona de enfriamiento secundario, de esta manera contar con una base de datos estandarizada, robusta y ordenada para extraer información

como el tiempo de falla en los equipos. La herramienta utilizada para este registro es el programador Visual Basic de Microsoft Excel, con una serie de códigos y elementos de programación. En el anexo L es posible observar la planilla de registros, que contiene un botón con el nombre "INGRESAR REGISTRO", una vez presionado se despliega una interfaz representada en la figura 3-4.

Figura 3-4: "Formulario para registro de cambio de equipos en Zona de Enfriamiento Secundario"



Fuente: Elaboración Propia.

El departamento de ingeniería de procesos, solicitó el sistema de registros, el cual fue de gran aceptación por parte de la empresa, ya que es fácil y amigable para el usuario. Además de esto, se podrá llevar un registro de stock para: boquillas, rociadores y niples, al momento del cambio. Gracias a esta intervención, se podrán realizar análisis de datos, sobre líneas, zonas o lados con mayor registro de

cambios. La interfaz será implementada en la plataforma MES de CAP acero, la que es similar al ERP SAP.

Previo al registro, se debe inspeccionar la zona de enfriamiento, de esta manera se podrá detectar la boquilla defectuosa o alguna falla en un rociador o niple, esta inspección se realiza en las entre secuencias diarias, cuando la maquina no está colando el acero. Un operador chequea la zona y con una cartilla presentada en el anexo O, deberá marcar el punto donde se debe realizar el cambio (equipo que falló), esto ayudado con las muestras macrográficas que indican cual es la línea con mayor cantidad de defecto del tipo severidad alta (XXX). En el anexo Q, es posible visualizar los indicadores de eficiencia para obtener el promedio de mantención de los equipos, lo que complementa el registro implementado.

Figura 3-5: "Cartilla Oficial de inspección de Equipos"

FECHA:		HORA DE DETENCION:		(Sistema:24 Hrs.)	
NOMBRE:		LETRA:		TIEMPO DE INTERVENCIÓN:	
TIPO DE MANTENCIÓN:		(Correctivo - Preventivo)		FIRMA:	
LINEA 1					
BOQUILLA (Ppto@/Hrs)					
ZONA 1					
NORTE	CERRO	SUR	MAR		
1(7)	○	○	○		
2(6)	○	○	○		
3(6)	○	○	○		
ZONA 2					
NORTE	CERRO	SUR	MAR		
1(8)	○	○	○		
2(8)	○	○	○		
3(8)	○	○	○		
4(8)	○	○	○		
5(8)	○	○	○		
6(6)	○	○	○		
7(6)	○	○	○		
8(6)	○	○	○		
9(6)	○	○	○		
10(6)	○	○	○		
11(6)	○	○	○		
LINEA 2					
BOQUILLA (Ppto@/Hrs)					
ZONA 1					
NORTE	CERRO	SUR	MAR		
1(7)	○	○	○		
2(6)	○	○	○		
3(6)	○	○	○		
ZONA 2					
NORTE	CERRO	SUR	MAR		
1(8)	○	○	○		
2(8)	○	○	○		
3(8)	○	○	○		
4(8)	○	○	○		
5(8)	○	○	○		
6(6)	○	○	○		
7(6)	○	○	○		
8(6)	○	○	○		
9(6)	○	○	○		
10(6)	○	○	○		
11(6)	○	○	○		
LINEA 3					
BOQUILLA (Ppto@/Hrs)					
ZONA 1					
NORTE	CERRO	SUR	MAR		
1(7)	○	○	○		
2(6)	○	○	○		
3(6)	○	○	○		
ZONA 2					
NORTE	CERRO	SUR	MAR		
1(8)	○	○	○		
2(8)	○	○	○		
3(8)	○	○	○		
4(8)	○	○	○		
5(8)	○	○	○		
6(6)	○	○	○		
7(6)	○	○	○		
8(6)	○	○	○		
9(6)	○	○	○		
10(6)	○	○	○		
11(6)	○	○	○		
LINEA 4					
BOQUILLA (Ppto@/Hrs)					
ZONA 1					
NORTE	CERRO	SUR	MAR		
1(7)	○	○	○		
2(6)	○	○	○		
3(6)	○	○	○		
ZONA 2					
NORTE	CERRO	SUR	MAR		
1(8)	○	○	○		
2(8)	○	○	○		
3(8)	○	○	○		
4(8)	○	○	○		
5(8)	○	○	○		
6(6)	○	○	○		
7(6)	○	○	○		
8(6)	○	○	○		
9(6)	○	○	○		
10(6)	○	○	○		
11(6)	○	○	○		
LINEA 5					
BOQUILLA (Ppto@/Hrs)					
ZONA 1					
NORTE	CERRO	SUR	MAR		
1(7)	○	○	○		
2(6)	○	○	○		
3(6)	○	○	○		
ZONA 2					
NORTE	CERRO	SUR	MAR		
1(8)	○	○	○		
2(8)	○	○	○		
3(8)	○	○	○		
4(8)	○	○	○		
5(8)	○	○	○		
6(6)	○	○	○		
7(6)	○	○	○		
8(6)	○	○	○		
9(6)	○	○	○		
10(6)	○	○	○		
11(6)	○	○	○		

Fuente: SERVITAP y Elaboración Propia

La figura 3-5 es un extracto de la cartilla oficial que se usara para supervisar la zona de enfriamiento, originalmente creada por la empresa Servitap Ltda. y modificada en la práctica, para ingresar más datos como: nombre del responsable, fecha, tiempo

de intervención, turno, tipo de mantenimiento, además de agregar colores por zonas y números por fila. En el anexo N es posible ver el instructivo de llenado según los tres equipos indicados en el análisis de criticidad, el cual se publicó en un cuadro de informaciones a un costado de la máquina para su futura implementación.

3.6.3 Implementar estudio de confiabilidad

En este punto del informe se debe tener en cuenta que toda la metodología aplicada anteriormente es para llevar a cabo un estudio de confiabilidad a futuro, como se hace mención en la propuesta de mejora en el punto 3.6. Esto no fue posible de ser desarrollado durante la práctica, debido al tiempo acotado y la necesidad de tener una gran cantidad de registro para poder tomar una decisión respecto a los resultados obtenidos. Es por ello que la finalidad de este punto es recomendar a la empresa como poder dar un buen uso a la base de datos una vez registrado los cambios de equipo. Para ello es necesario tener en cuenta algunas definiciones como:

- **Confiabilidad:** Es la probabilidad de que un componente o sistema desempeñe de manera satisfactoria la función para la que fue creado durante un periodo establecido y bajo condiciones de operación específicos.
- **Fallas:** Son cuando un producto, componente o sistema deja de funcionar o no realiza de manera satisfactoria la función para la que fue creado.
- **Tiempo de falla:** Se define como el tiempo que transcurre hasta que el producto deja de funcionar. Por tanto, es el tiempo de vida del producto.

Mediante la base con datos ya registrados, se podrá realizar un estudio de fallas y esta vez con datos para equipos, algunas herramientas útiles en confiabilidad se presentan en la tabla 3-10.

Tabla 3-10: Formulas para Confiabilidad de equipos

Probabilidad que el quipo falle antes del tiempo t	$F(t) = P(T \leq t) = \int_0^t f(x)dx$
Probabilidad que el equipo no haya fallado (Sobreviva) en el tiempo t	$C(t) = \int_t^{\infty} f(x)dx = 1 - F(t)$
Función de riesgo → Probabilidad de fallar justo en el siguiente instante	$h(t) = \frac{f(t)}{C(t)} = \frac{f(t)}{1 - F(t)}$
Tiempo medio de falla → Valor esperado o media de la variable t	$E(T) = \int_0^{\infty} tf(t)dt$
Función Cuantil → Es el tiempo al cual se espera falle una fracción o proporción Útil para la confiabilidad, determina el tiempo al cual falla un porcentaje bajo de las unidades (1, 5 ,10 , 15% , etc.)	$t_p = F^{-1}(p)$

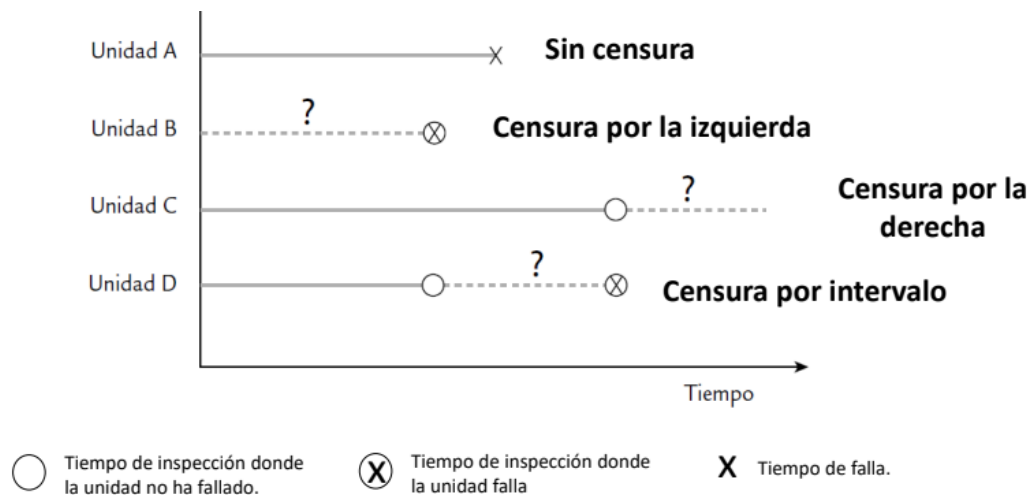
Fuente: Evans.J & William.L (2008)

Existe una gran variedad de distribuciones, algunas son de particular utilidad para modelos de tiempo de fallas como la exponencial, Weibull, valor extremo, normal y Lognormal. En la práctica se plantea como ejemplo en el anexo P, la distribución de Weibull en el programa estadístico *Minitab*, dado que es la más usada por el tipo de comportamiento de los datos de manera aleatoria, pero es importante verificar que un modelo se ajuste a los datos observados (el programa por definición arroja la

distribución que mejor se ajusta). Es por esto que para el futuro estudio se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- No se puede suponer que los datos tiene una distribución de Weibull sin antes definir que es la que mejor se ajusta a los datos.
- Se recomienda usar *Minitab*, el cual es un programa computacional diseñado para ejecutar funciones estadísticas básicas y avanzadas. Combina lo amigable del uso de Microsoft Excel, con la capacidad de ejecución de análisis estadísticos, con esta herramienta será posible determinar cuál es la distribución que mejor se ajusta a los datos, además de entregar los parámetros para los cálculos que se estimen conveniente, como por ejemplo de la tabla 3-10.
- En la Figura 3-6 se presentan los distintos tipos de observaciones de datos con su respectiva simbología, para identificar el tipo de censura de los datos.

Figura 3-6: "Tipo de Censura de datos"



Fuente: Evans.J & William.L (2008)

- Se debe definir el tipo de censura para los datos:

Sin censura (unidad A): Rociadores y nipples son del tipo sin censura, dado que serán estudiados de forma independiente y se conocerá el tiempo exacto donde falló. En la práctica un rociador falla cada seis meses aproximadamente y un nipple en promedio cada dos meses. Se recomienda usar *Minitab* para determinar los parámetros y determinar la probabilidad de falla de equipo en un determinado tiempo.

Censura por la derecha (unidad C): Las boquillas serán del tipo de censura por la derecha, donde todas las unidades de prueba funcionan durante la misma cantidad de tiempo. Las unidades que siguen funcionando al final del estudio se consideran datos censurados. Las unidades fallidas se consideran fallas exactas y serán observadas como conjunto de equipos, en el punto 4.1 se explicará el por qué. La boquilla que se mantiene en funcionamiento después de ese tiempo se considera una observación censurada por la derecha, es decir, lo que se conoce como datos *truncados*.

Para el registro y cálculos se recomienda usar la unidad de medida en días, de esta manera el percentil que es arrojado por *Minitab*, estará representado en una tabla con el porcentaje de fallas por día y así poder ajustar los tiempos de mantenimientos. Revisar anexo P como ejemplo de ingreso de datos en *Minitab*.

Capítulo 4

4.1 Plan de acción

El plan de acción consiste en cambiar todas las boquillas (780 unidades), de la zona de enfriamiento secundario cada tres semanas (21 días), lo que motivó esta medida fue el análisis de situación actual del proceso. En primera instancia el porcentaje de defectos por concepto de grietas, seguido por el porcentaje de grietas de medio radio (GMR), el cual representa el 90 % del total siendo el principal causante la zona de enfriamiento secundario, para ello, es que ingeniería de proceso decide implementar este plan de acción desde el mes de mayo con una inversión estimada de \$ 6.240.000.-

Tabla 11: Análisis Actual VS Plan de Acción

Estudio (2017 – Marzo 2019)	Actual (Mayo – Junio 2019)
Muestra de 18.956 Palanquillas	Muestras de 5.298 Palanquillas
Rendimiento de 92,3 %	Rendimiento de 95,27 %
Nivel de Sigma de 2,96	Nivel de Sigma de 3,17
PPM de 72.060	PPM 47.925

Fuente: Elaboración Propia

Si bien el rendimiento de la Máquina subió un 3%, las palanquillas con defectos del tipo severidad alta (XXX) disminuyeron en un 33,4%, o de otra manera las partes por millón (PPM) que no cumplen con los requisitos, disminuyeron en 25.135 unidades. En el anexo R es posible observar dos gráficos de barra, por línea del proceso antes del plan de acción y posterior a este.

4.1.2 Impacto económico

Como se hace mención en el punto 3.4.6, la palanquilla que contenga un defecto del tipo severidad alta, no significa que se pierda, pues se puede asignar a la disposición de reaplicación. Sin embargo, en la actualidad según el departamento de ingeniería de procesos, un 10 % del total de palanquillas son enviadas a chatarra (disposición 4).

Los servicios de mantención en CAP Acero son *externalizados*, como se hace mención en el punto 4.1 el plan de acción tiene un costo de \$ 6.240.000.- que es el monto el cual cobra la empresa Servitap Ltda. por realizar el cambio total de Boquillas cada tres semanas incluyendo el costo de mantención.

- El costo de producir una tonelada de acero es de 700 USD/t y cada palanquilla pesa 1,49 t, por ende, el costo de producir una palanquilla es de USD 1.043.
- Antes del plan de acción por cada millón de palanquilla (PPM) procesada, 72.060 no cumplían con los requisitos y si el 10% se envía a chatarra, se tiene una pérdida en producción de 7.206 palanquillas con un costo total de USD 7.515.858.
- En la actualidad se tiene que por cada millón de palanquilla (PPM) procesada, 47.925 no cumplen con los requisitos, del mismo modo el 10% se envía a chatarra se tiene una pérdida en producción de USD 4.998.577.

Considerando una inversión anual de USD 190.000 por concepto de *plan de acción*, las pérdidas en términos económicos disminuirán en USD 2.517.281 por cada millón de palanquilla procesada en la MCC.

4.2 Conclusión

Al comienzo de la práctica las macrográficas no cumplían un rol significativo dentro del departamento de Acería y Colada Continua, cuyo fin era observar cual línea presentaba mayor cantidad de defectos; si bien, no fue la información solicitada a la empresa para trabajar, en el desarrollo fue posible darle relevancia a esa información, y de esta forma realizar un análisis para visualizar de manera gráfica el escenario actual del proceso, además de poder determinar el tipo de proceso mediante la métrica seis sigma y cartas de control. No obstante se recomienda al laboratorio de la empresa registrar en las macrográficas los distintos largos de la grieta, de esta manera crear una carta de control del tipo variable, de la cual se conduce un mejor procedimiento de control y proporcionan una utilización máxima de la información disponible de datos.

Es importante destacar que antes de comenzar la práctica, no se contaba con un registro de cambio de equipos, por ende implementar un formulario para llevar a cabo un registro estandarizado y robusto es una considerable mejora, bien recibida por el Departamento de Acería y Colada, quienes implementarán el registro en la plataforma interna de la empresa, con el fin de analizar los equipos críticos que influyen directamente en la generación de grietas de medio radio (GMR).

En base al plan de acción en el cual se decide cambiar el total de boquillas de la MCC cada tres semanas, el impacto en término económico es positivo y considerable con un margen total de U\$D 2.517.281 por cada millón de palanquilla procesada, por ende es posible afirmar que se da cumplimiento al objetivo general reduciendo las perdidas por concepto de grietas de medio radio en un 33,49% por

cada millón de palanquilla procesada en la Máquina de Colada Continua, en base a lo anterior es de gran importancia poder llevar a cabo un estudio de confiabilidad orientado a fallas en los equipos críticos, de esta forma poder ajustar los tiempos de mantenimiento.

4.3 Reflexiones

- Estas instancias nos ayudan a insertarnos en el mundo laboral, que finalmente es donde nos desempeñaremos, por lo que es importante sacar el máximo provecho. Existe una gran diferencia dentro de lo que es la Universidad y una empresa, donde se entregan herramientas para poder ser utilizadas en la práctica, pero es de suma importancia poder desenvolverse ante escenarios adversos.
- En términos del desarrollo de la práctica y la función desempeñada, es posible decir que fue un gran aporte a mi formación como profesional, pues fue posible conocer el rubro de la siderúrgica, entender el funcionamiento desde materia prima hasta el producto terminado en una empresa como CAP acero, que lleva años en la industria siderúrgica y siendo la empresa productora de acero más grande del país. Además es importante agregar que es gratificante ser un aporte para una empresa logrando concretar cada una de las problemáticas propuestas.
- La oportunidad de desenvolverse en el mundo laboral con distintos tipos de profesionales es de gran aporte para generar ideas que sean de utilidad, debido a que a partir de estas ideas una empresa podría mejorar su eficiencia, no tan solo en lo productivo, sino también dentro de lo social.

Referencias

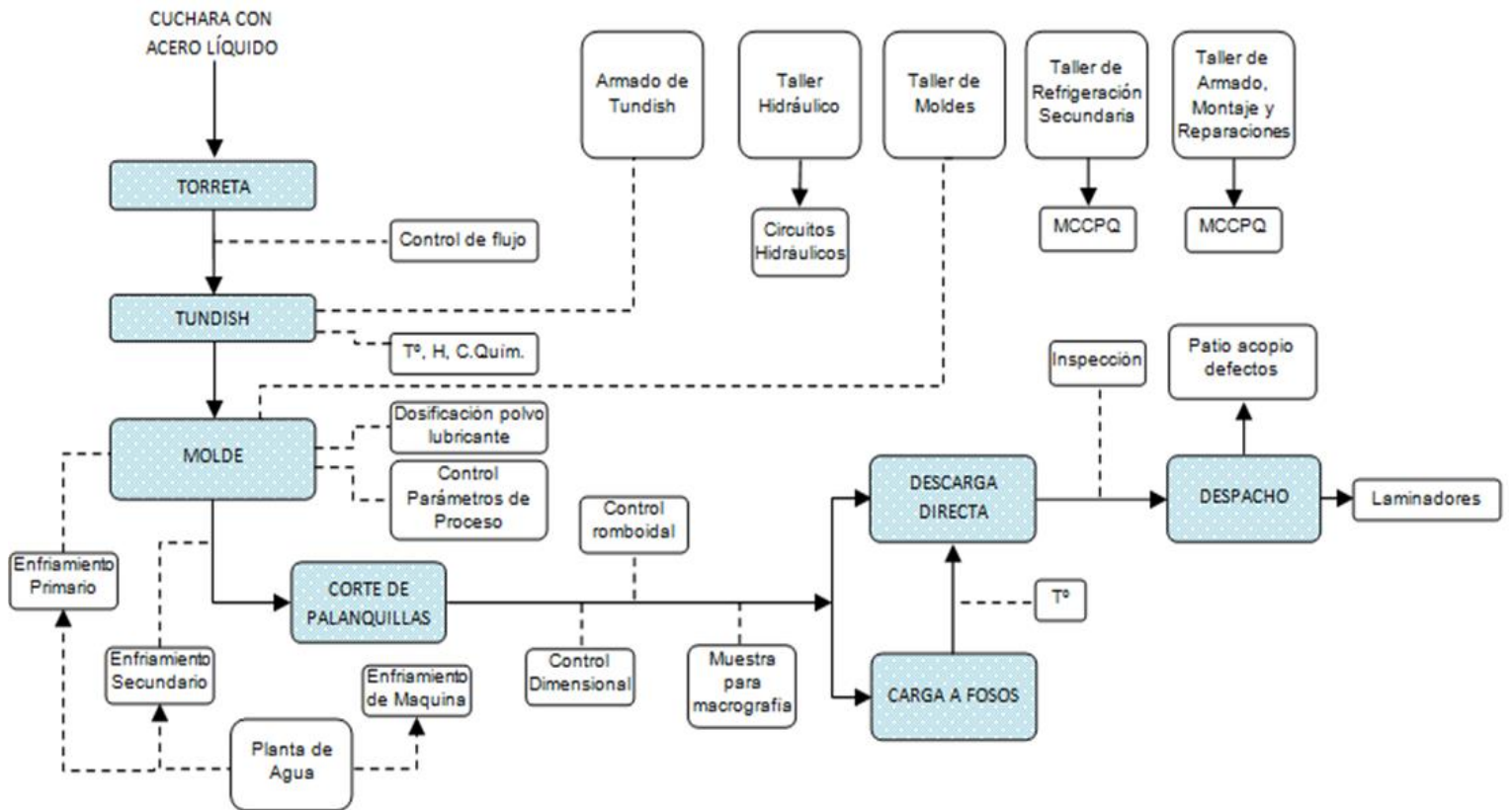
- ARNOLETTO (2007). “Administración de la producción como ventaja competitiva”. Retrieved from:
https://www.academia.edu/34495356/Arnoletto_E.J._2007_Administraci%C3%B3n_de_la_producci%C3%B3n_como_ventaja_competitiva_Edici%C3%B3n_electr%C3%B3nica_gratuita._Texto_completo_en_www.eumed.net_libros_2007b_299
—
- EVANS.J & LINDSAY.W (2008). “Managing for Quality and Performance Excellence”. Retrieved from
https://trove.nla.gov.au/work/32619284?q&sort=holdings+desc&_id=1563594286626&versionId=39717869+250994115
- IBACACHE, H (2011). “Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad para la zona de embalaje, Celulosa Arauco Constitución S.A” (tesis de pregrado). Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción, Chile.
- CAP Acero – Compañía Siderurgica Huachipato S.A (2019). “Quienes Somos” Retrieved from
http://www.capacero.cl/cap_acero/quienessomos/quienes-somos/2018-01-29/115836.html
- Lean Solution (2019). “¿Qué es Six Sigma?” Retrived from
<http://leansolutions.co/que-es-six-sigma/>
- Soporte de Minitab19 (2019). “Ejemplo de Gráfica de ID de distribución (Censura por derecha)” Retrived from
<https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/reliability/how-to/distribution-id-plot-arbitrary-censoring/before-you-start/example/>

Anexos

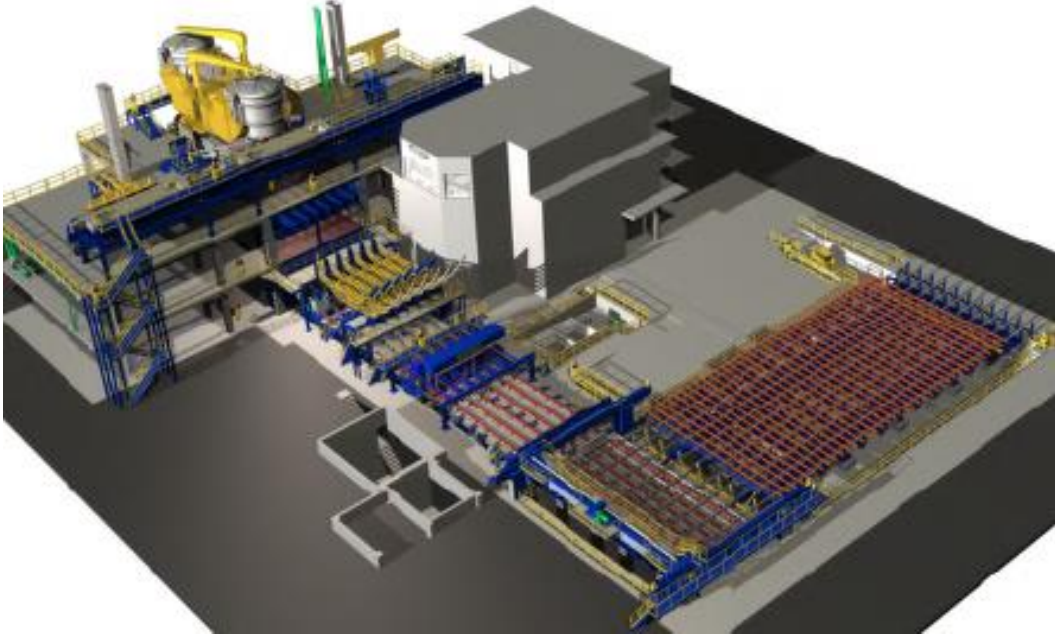
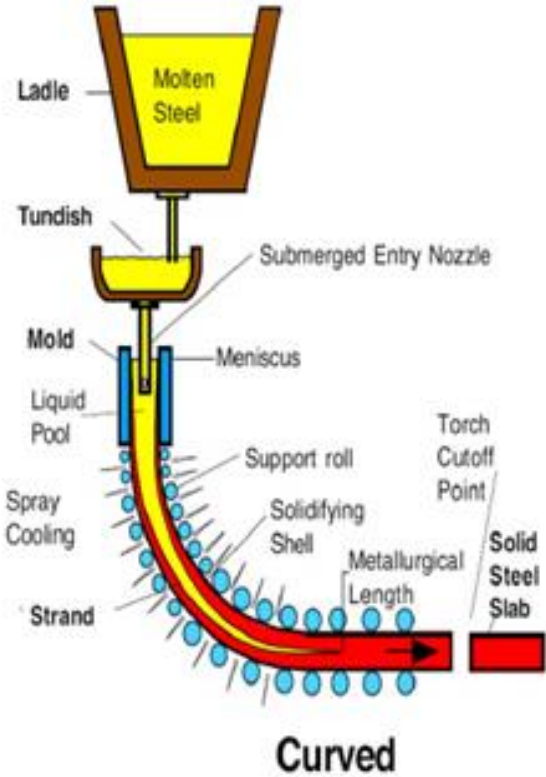
Anexo A: Ciclo DMAIC



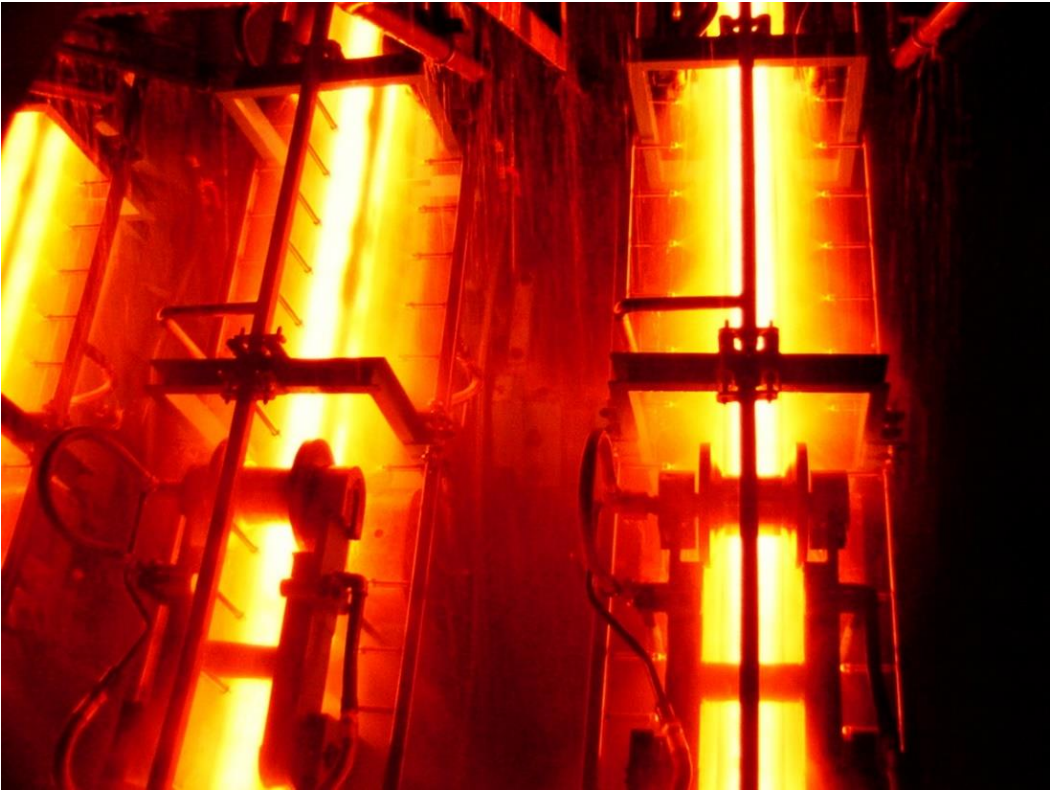
Anexo B: Diagrama de proceso Máquina de Colada Continua (MCC)



Anexo C: Colada Continua tipo Curva



Anexo D: Palanquillas Procesada en la MCC



Anexo F: Calificación para severidad del defecto y Disposición de Palanquillas

Severidad del defecto	Características de Rechupe	Calificación
Bajo	Agujero entre 2 y 5 mm de diámetro	X
Medio	Agujero entre 5 y 8 mm de diámetro	XX
Alto	Agujero Superior a 8 mm	XXX

Severidad del defecto	Características de Rombosidad	Calificación
Bajo	$6 < d1-d2 \leq 8 \text{ mm}$	X
Medio	$8 \text{ mm} < d1-d2 \leq 11 \text{ mm}$	XX
Alto	$d1-d2 > 11 \text{ mm}$	XXX

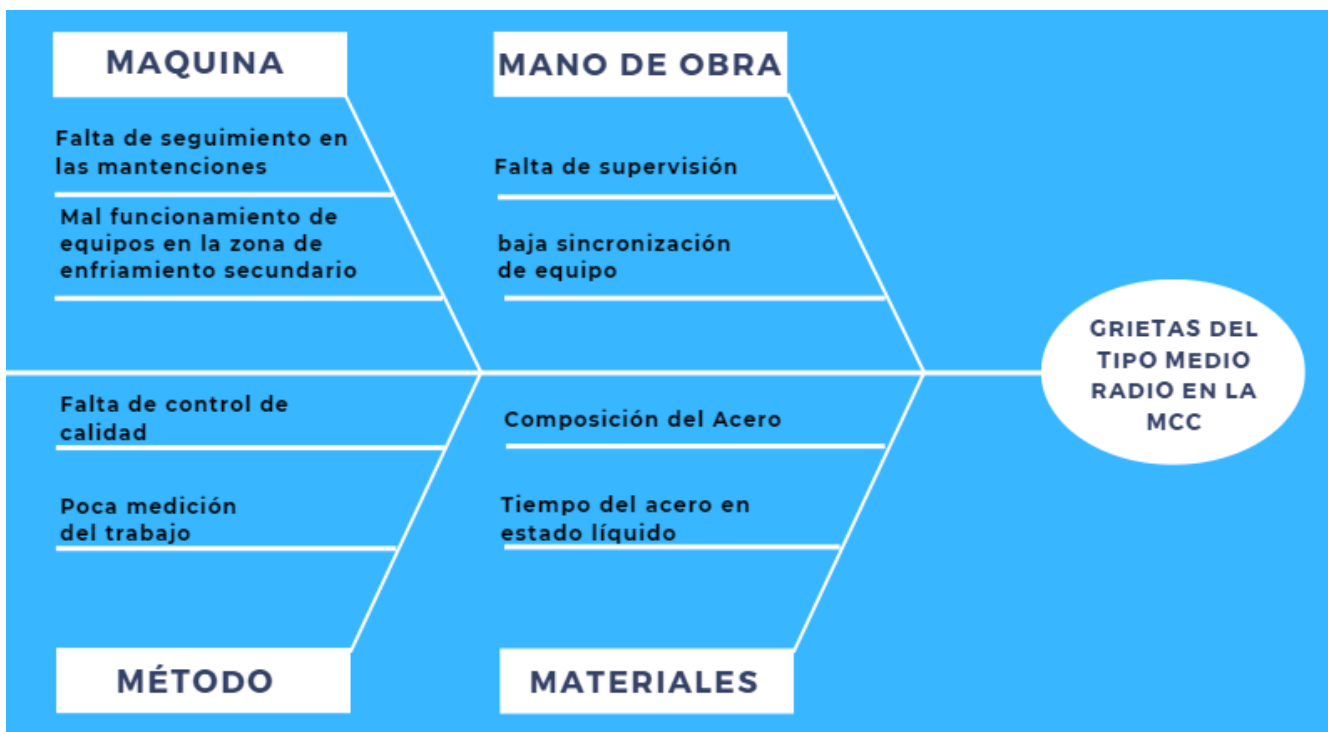
Severidad del defecto	Características de Sub-Superficial	Calificación
Bajo	Grieta menor a 5 mm de longitud	X
Medio	$5 \text{ mm} \leq \text{Largo grieta} < 10 \text{ mm}$	XX
Alto	Grieta mayor o igual a 10 mm	XXX

Severidad del defecto	Características de Medio Radio	Calificación
Bajo	Grieta menor a 5 mm de longitud	X
Medio	$5 \text{ mm} \leq \text{Largo grieta} < 10 \text{ mm}$	XX
Alto	Grieta mayor o igual a 10 mm	XXX

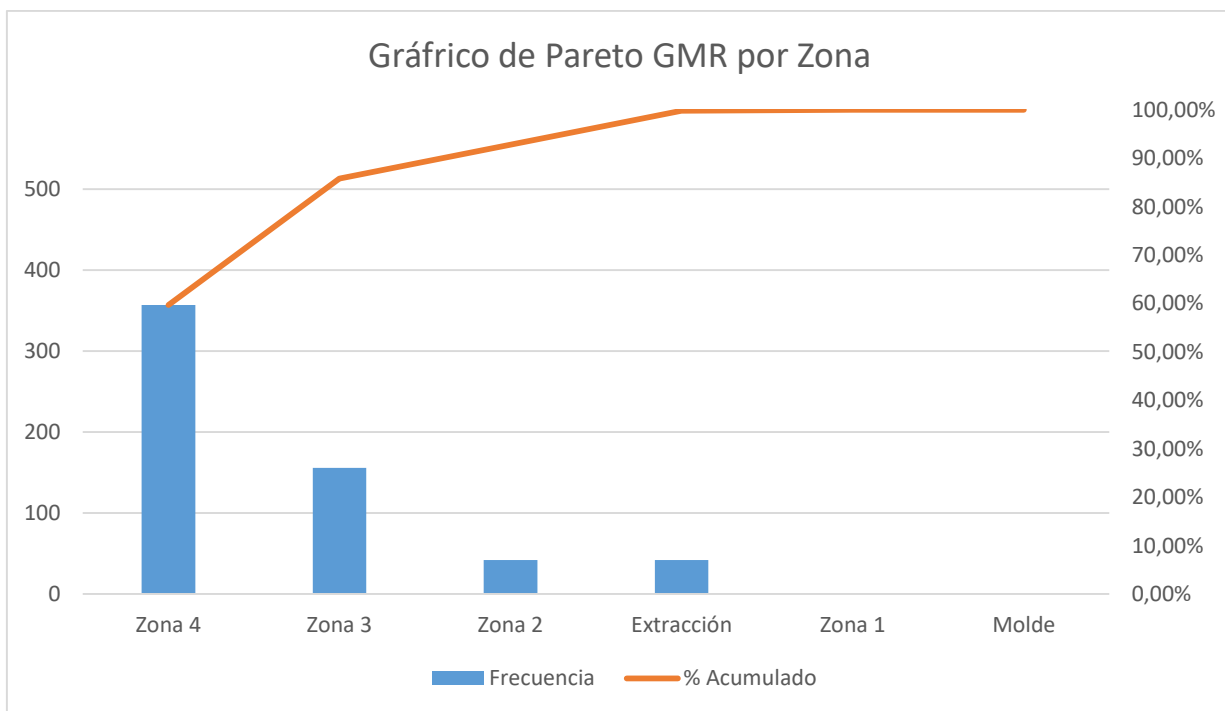
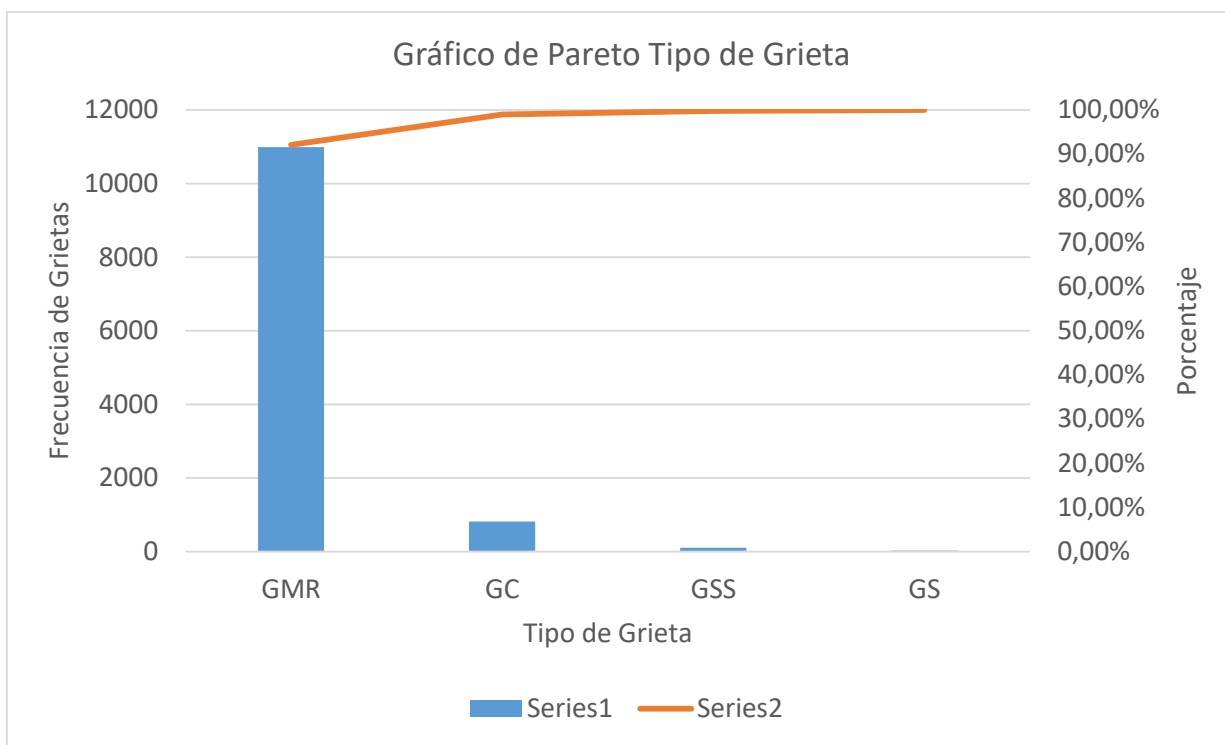
Disposición	Código que define el destino de la palanquilla no conforme con los requisitos especificados
Disposición 1	Orden original o vigente.
Disposición 2	Reaplicación.
Disposición 3	Recuperación y reinspección en Laminador de Barras.
Disposición 4	Chatarra.

Anexo G: Diagrama Causa Efecto (Ishikawa)

Defecto	Causa Principal
Rechupe	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad de la colada • Intensidad de enfriamiento
Rombosidad	<ul style="list-style-type: none"> • Desgaste molde oscilatorio • Alineamiento de rodillos en pie de molde • Enfriamiento primario
Grietas Sub-Superficiales	<ul style="list-style-type: none"> • Extracción y enderezado • Enfriamiento Secundario
Grietas Centrales	<ul style="list-style-type: none"> • Enfriamiento Secundario • Fuerza de Extracción y enderezado
Grietas Medio Radio	<ul style="list-style-type: none"> • Enfriamiento Secundario • Des alineamiento y estado de boquillas en Cámara de Vapor
Grietas Superficiales	<ul style="list-style-type: none"> • Desgaste molde oscilatorio • Presencia de Azufre y fosforo

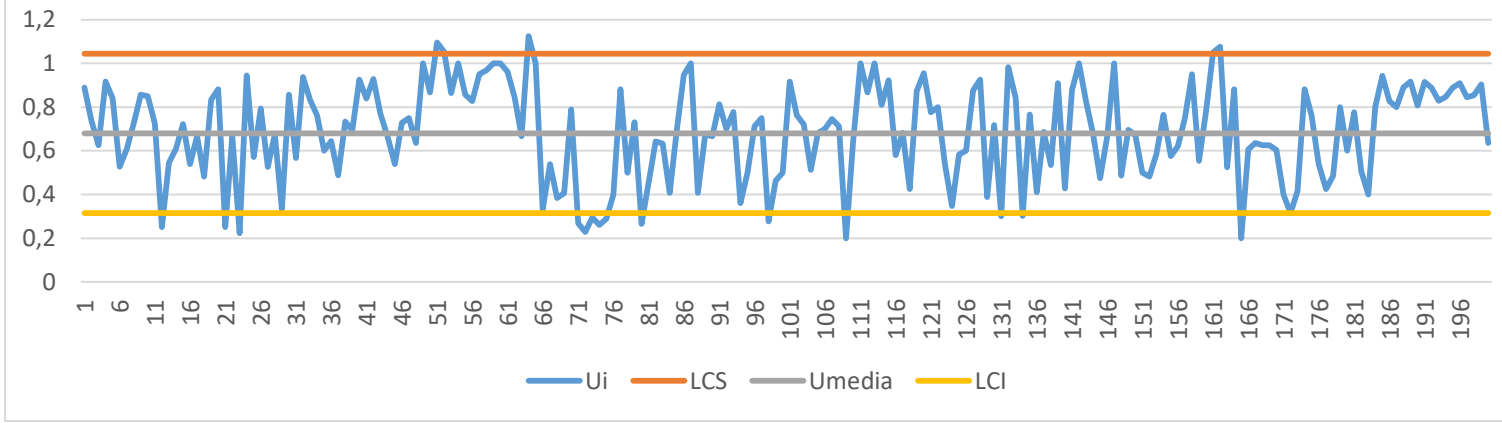


Anexo H: Gráficos de Pareto

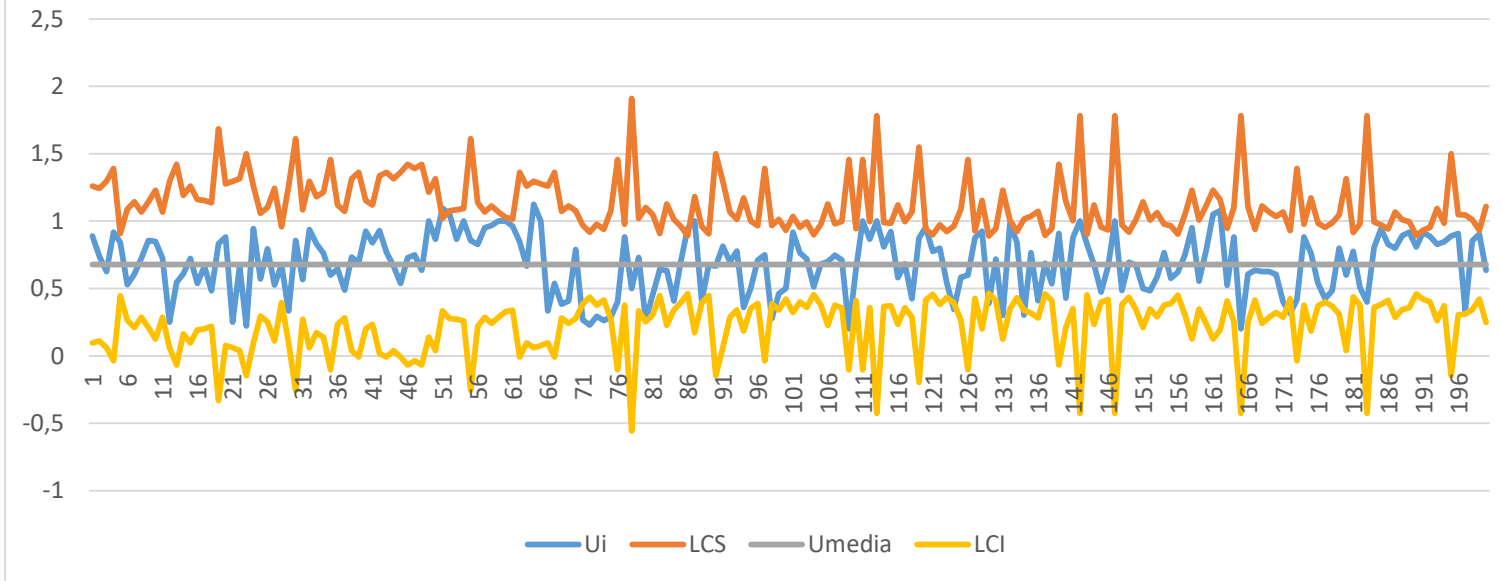


Anexo I: Cartas de Control del Proceso

Carta de Control u



Carta de control u con limites variables



Anexo J: Ponderación de equipos críticos

Zona	Elemento (Para cada línea)	Imp. Producción	Fact. servicio	Comp.Mec	Pond.	Criticidad
Molde (enfriamiento primario)	Bastidor de soporte	3	3	1	2,6	C2
	Bancos oscilantes	3	3	3	3	C2
	motor eléctrico 164M4 montaje 3B (1 u/Molde)	3	3	1	2,6	C2
	Junta tipo ZGN97 (motor-reductor/Molde)	3	3	1	2,6	C2
	Junta ZGN 122 (Reductor-eje excéntrico/Molde)	3	1	1	2	C1
	Soporte Neumático de resortes (1 u/Molde)	1	1	3	1,4	C1
Enfriamiento Secundario	Rociador (16 u/Línea)	5	5	5	5	C3
	Boquilla (156 u/Línea)-(24 u/Zona 1 - 44 u/Zona)	5	5	1	4,2	C3
	Manifold (4 u/Línea)	5	2	1	3,3	C3
	Niple (156 u/Línea)-(24 u/Zona 1 - 44 u/Zona)	5	5	3	4,6	C3
	Tabla de protección de madera marina (3/Línea)	1	1	3	1,4	C1
Zona Curva	Rodillo guía superior (1 u/Línea)	3	1	3	2,4	C2
	Rodillo biconico superior (1 u/Línea)	3	1	3	2,4	C2
	Amortiguador Superior (1 u/Línea)	3	1	5	2,8	C2
	Rodillo guía central (1 u/Línea)	3	1	3	2,4	C2
	Rodillo biconico central (1 u/Línea)	3	3	3	3	C2
	Amortiguador Central (1 u/Línea)	3	1	5	2,8	C2
	Rodillo guía inferior (1 u/Línea)	3	1	3	2,4	C2
	Rodillo biconico inferior (1 u/Línea)	3	3	3	3	C2
	Amortiguador Inferior (1 u/Línea)	3	1	5	2,8	C2
	Bastidor de soporte para rodillo (1 u/Línea)	3	1	3	2,4	C2
	Rodillo extractor General superior (1 u/Línea)	3	1	3	2,4	C2
	Rodillo extractor General inferior (1 u/Línea)	3	1	3	2,4	C2
	Rodillo de apoyo (1 u/Línea)	3	3	3	3	C2

Anexo K: Equipos críticos



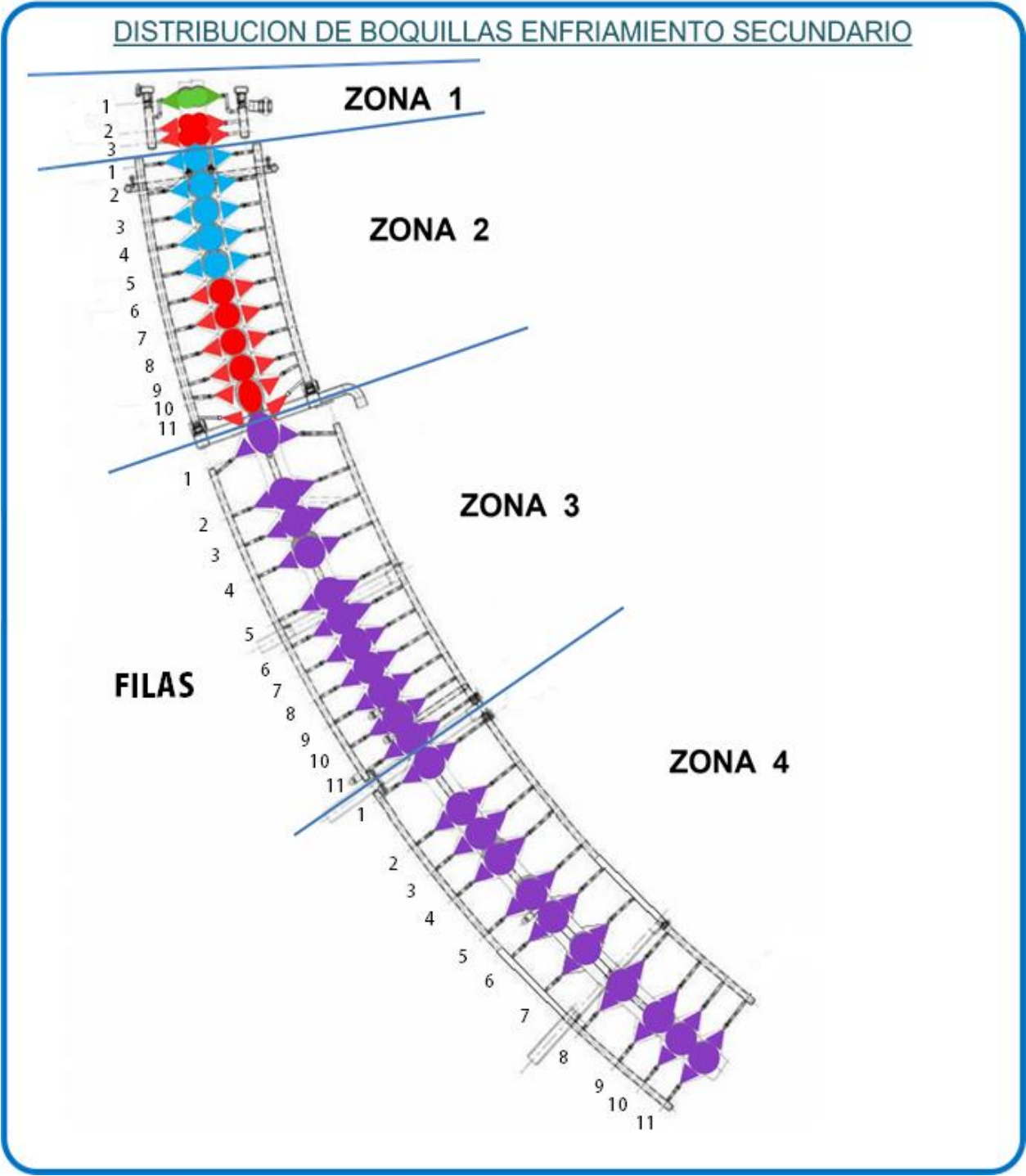
Boquilla



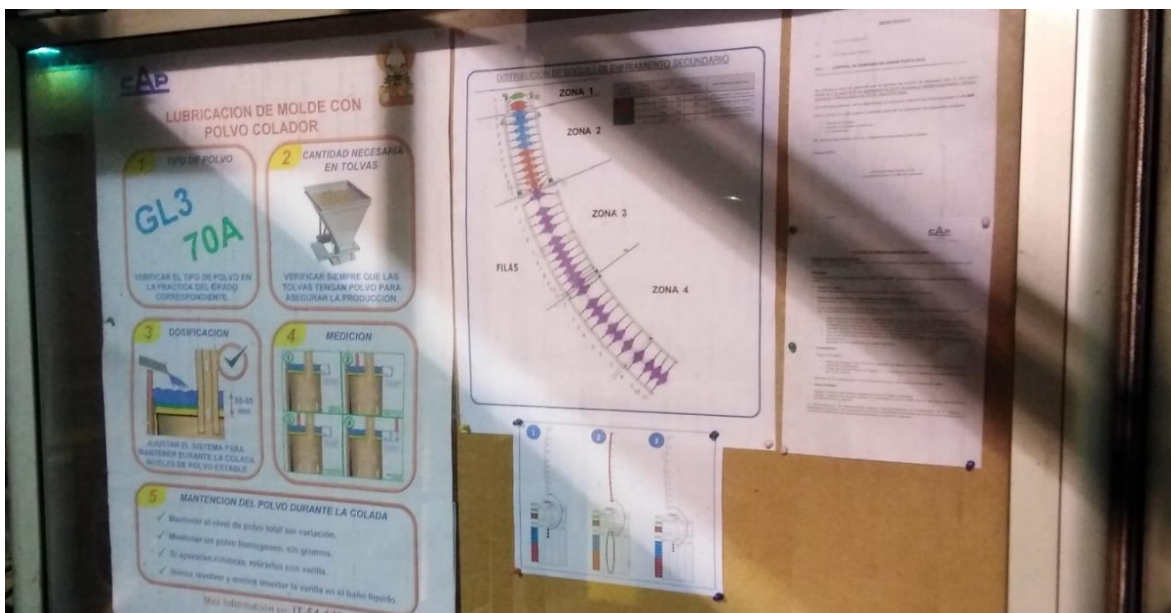
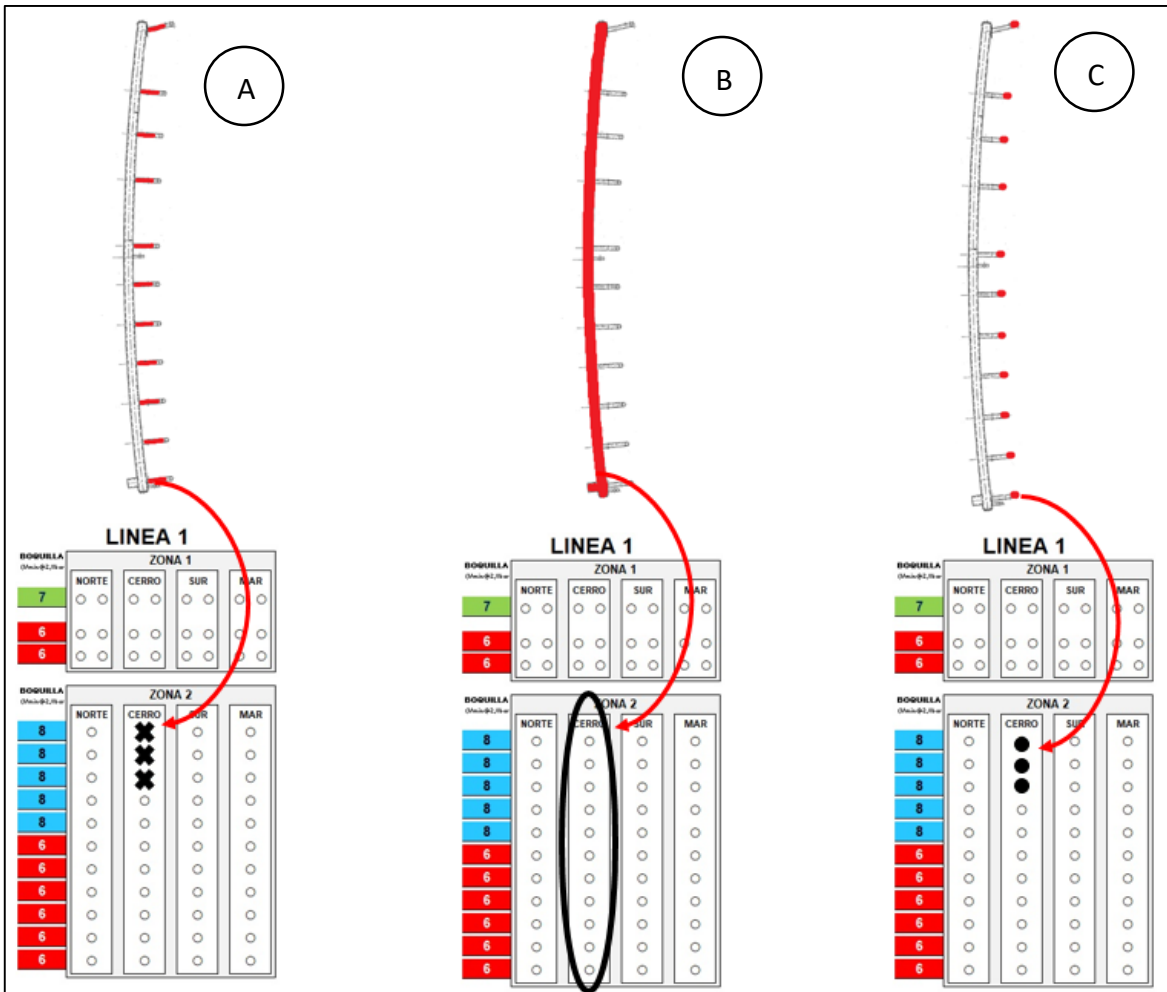
Niple
(Zona 2,3 y 4)



Rociador
Izquierda (Zona 1)



Anexo N: Instructivo de llenado para cartilla en cuadro de información de la MCC.



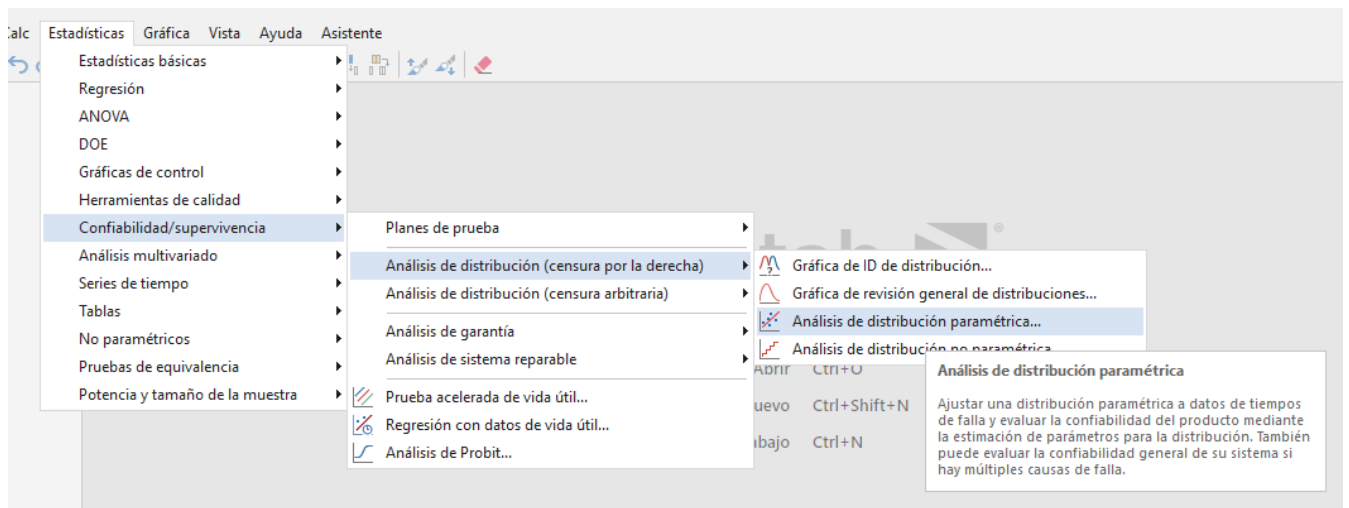
Anexo O: Cartilla para inspección de equipos

FECHA:/...../..... NOMBRE: TIPO DE MANTENCIÓN:	HORA DE DETECCIÓN: (Sistema:24 Hrs.) TIEMPO DE INTERVENCIÓN: (Sistema:24 Hrs.) LETRA: (Correctivo - Preventivo) FIRMA:		LINEA 5	LINEA 4	LINEA 3	LINEA 2	LINEA 1																																																																																																																																																																																																																																																																						
		<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">BOQUILLA (m=0/2 bar)</td> <td style="text-align: center;">1(7)</td> <td style="text-align: center;">2(6)</td> <td style="text-align: center;">3(6)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">ZONA 1</td> <td style="text-align: center;">NORTE</td> <td style="text-align: center;">CERRO</td> <td style="text-align: center;">SUR</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">MAR</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">ZONA 2</td> <td style="text-align: center;">NORTE</td> <td style="text-align: center;">CERRO</td> <td style="text-align: center;">SUR</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">MAR</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">BOQUILLA (m=0/2 bar)</td> <td style="text-align: center;">1(8)</td> <td style="text-align: center;">2(8)</td> <td style="text-align: center;">3(8)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">ZONA 1</td> <td style="text-align: center;">NORTE</td> <td style="text-align: center;">CERRO</td> <td style="text-align: center;">SUR</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">MAR</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">ZONA 2</td> <td style="text-align: center;">NORTE</td> <td style="text-align: center;">CERRO</td> <td style="text-align: center;">SUR</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">MAR</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">BOQUILLA (m=0/2 bar)</td> <td style="text-align: center;">1(3)</td> <td style="text-align: center;">2(3)</td> <td style="text-align: center;">3(3)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">ZONA 1</td> <td style="text-align: center;">NORTE</td> <td style="text-align: center;">CERRO</td> <td style="text-align: center;">SUR</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">MAR</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">ZONA 2</td> <td style="text-align: center;">NORTE</td> <td style="text-align: center;">CERRO</td> <td style="text-align: center;">SUR</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">MAR</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">BOQUILLA (m=0/2 bar)</td> <td style="text-align: center;">1(3)</td> <td style="text-align: center;">2(3)</td> <td style="text-align: center;">3(3)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">ZONA 1</td> <td style="text-align: center;">NORTE</td> <td style="text-align: center;">CERRO</td> <td style="text-align: center;">SUR</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">MAR</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">ZONA 2</td> <td style="text-align: center;">NORTE</td> <td style="text-align: center;">CERRO</td> <td style="text-align: center;">SUR</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">MAR</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> </tr> </table>		BOQUILLA (m=0/2 bar)	1(7)	2(6)	3(6)	ZONA 1	NORTE	CERRO	SUR	MAR	O	O	O	ZONA 2	NORTE	CERRO	SUR	MAR	O	O	O	BOQUILLA (m=0/2 bar)	1(8)	2(8)	3(8)	ZONA 1	NORTE	CERRO	SUR	MAR	O	O	O	ZONA 2	NORTE	CERRO	SUR	MAR	O	O	O	BOQUILLA (m=0/2 bar)	1(3)	2(3)	3(3)	ZONA 1	NORTE	CERRO	SUR	MAR	O	O	O	ZONA 2	NORTE	CERRO	SUR	MAR	O	O	O	BOQUILLA (m=0/2 bar)	1(3)	2(3)	3(3)	ZONA 1	NORTE	CERRO	SUR	MAR	O	O	O	ZONA 2	NORTE	CERRO	SUR	MAR	O	O	O	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">BOQUILLA (m=0/2 bar)</td> <td style="text-align: center;">1(7)</td> <td style="text-align: center;">2(6)</td> <td style="text-align: center;">3(6)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">ZONA 1</td> <td style="text-align: center;">NORTE</td> <td style="text-align: center;">CERRO</td> <td style="text-align: center;">SUR</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">MAR</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">ZONA 2</td> <td style="text-align: center;">NORTE</td> <td style="text-align: center;">CERRO</td> <td style="text-align: center;">SUR</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">MAR</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">BOQUILLA (m=0/2 bar)</td> <td style="text-align: center;">1(8)</td> <td style="text-align: center;">2(8)</td> <td style="text-align: center;">3(8)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">ZONA 1</td> <td style="text-align: center;">NORTE</td> <td style="text-align: center;">CERRO</td> <td style="text-align: center;">SUR</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">MAR</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">ZONA 2</td> <td style="text-align: center;">NORTE</td> <td style="text-align: center;">CERRO</td> <td style="text-align: center;">SUR</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">MAR</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">BOQUILLA (m=0/2 bar)</td> <td style="text-align: center;">1(3)</td> <td style="text-align: center;">2(3)</td> <td style="text-align: center;">3(3)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">ZONA 1</td> <td style="text-align: center;">NORTE</td> <td style="text-align: center;">CERRO</td> <td style="text-align: center;">SUR</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">MAR</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">ZONA 2</td> <td style="text-align: center;">NORTE</td> <td style="text-align: center;">CERRO</td> <td style="text-align: center;">SUR</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">MAR</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> </tr> </table>		BOQUILLA (m=0/2 bar)	1(7)	2(6)	3(6)	ZONA 1	NORTE	CERRO	SUR	MAR	O	O	O	ZONA 2	NORTE	CERRO	SUR	MAR	O	O	O	BOQUILLA (m=0/2 bar)	1(8)	2(8)	3(8)	ZONA 1	NORTE	CERRO	SUR	MAR	O	O	O	ZONA 2	NORTE	CERRO	SUR	MAR	O	O	O	BOQUILLA (m=0/2 bar)	1(3)	2(3)	3(3)	ZONA 1	NORTE	CERRO	SUR	MAR	O	O	O	ZONA 2	NORTE	CERRO	SUR	MAR	O	O	O	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">BOQUILLA (m=0/2 bar)</td> <td style="text-align: center;">1(7)</td> <td style="text-align: center;">2(6)</td> <td style="text-align: center;">3(6)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">ZONA 1</td> <td style="text-align: center;">NORTE</td> <td style="text-align: center;">CERRO</td> <td style="text-align: center;">SUR</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">MAR</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">ZONA 2</td> <td style="text-align: center;">NORTE</td> <td style="text-align: center;">CERRO</td> <td style="text-align: center;">SUR</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">MAR</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">BOQUILLA (m=0/2 bar)</td> <td style="text-align: center;">1(8)</td> <td style="text-align: center;">2(8)</td> <td style="text-align: center;">3(8)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">ZONA 1</td> <td style="text-align: center;">NORTE</td> <td style="text-align: center;">CERRO</td> <td style="text-align: center;">SUR</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">MAR</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">ZONA 2</td> <td style="text-align: center;">NORTE</td> <td style="text-align: center;">CERRO</td> <td style="text-align: center;">SUR</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">MAR</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">BOQUILLA (m=0/2 bar)</td> <td style="text-align: center;">1(3)</td> <td style="text-align: center;">2(3)</td> <td style="text-align: center;">3(3)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">ZONA 1</td> <td style="text-align: center;">NORTE</td> <td style="text-align: center;">CERRO</td> <td style="text-align: center;">SUR</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">MAR</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">ZONA 2</td> <td style="text-align: center;">NORTE</td> <td style="text-align: center;">CERRO</td> <td style="text-align: center;">SUR</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">MAR</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> </tr> </table>		BOQUILLA (m=0/2 bar)	1(7)	2(6)	3(6)	ZONA 1	NORTE	CERRO	SUR	MAR	O	O	O	ZONA 2	NORTE	CERRO	SUR	MAR	O	O	O	BOQUILLA (m=0/2 bar)	1(8)	2(8)	3(8)	ZONA 1	NORTE	CERRO	SUR	MAR	O	O	O	ZONA 2	NORTE	CERRO	SUR	MAR	O	O	O	BOQUILLA (m=0/2 bar)	1(3)	2(3)	3(3)	ZONA 1	NORTE	CERRO	SUR	MAR	O	O	O	ZONA 2	NORTE	CERRO	SUR	MAR	O	O	O	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">BOQUILLA (m=0/2 bar)</td> <td style="text-align: center;">1(7)</td> <td style="text-align: center;">2(6)</td> <td style="text-align: center;">3(6)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">ZONA 1</td> <td style="text-align: center;">NORTE</td> <td style="text-align: center;">CERRO</td> <td style="text-align: center;">SUR</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">MAR</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">ZONA 2</td> <td style="text-align: center;">NORTE</td> <td style="text-align: center;">CERRO</td> <td style="text-align: center;">SUR</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">MAR</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">BOQUILLA (m=0/2 bar)</td> <td style="text-align: center;">1(8)</td> <td style="text-align: center;">2(8)</td> <td style="text-align: center;">3(8)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">ZONA 1</td> <td style="text-align: center;">NORTE</td> <td style="text-align: center;">CERRO</td> <td style="text-align: center;">SUR</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">MAR</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">ZONA 2</td> <td style="text-align: center;">NORTE</td> <td style="text-align: center;">CERRO</td> <td style="text-align: center;">SUR</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">MAR</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">BOQUILLA (m=0/2 bar)</td> <td style="text-align: center;">1(3)</td> <td style="text-align: center;">2(3)</td> <td style="text-align: center;">3(3)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">ZONA 1</td> <td style="text-align: center;">NORTE</td> <td style="text-align: center;">CERRO</td> <td style="text-align: center;">SUR</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">MAR</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">ZONA 2</td> <td style="text-align: center;">NORTE</td> <td style="text-align: center;">CERRO</td> <td style="text-align: center;">SUR</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">MAR</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> <td style="text-align: center;">O</td> </tr> </table>		BOQUILLA (m=0/2 bar)	1(7)	2(6)	3(6)	ZONA 1	NORTE	CERRO	SUR	MAR	O	O	O	ZONA 2	NORTE	CERRO	SUR	MAR	O	O	O	BOQUILLA (m=0/2 bar)	1(8)	2(8)	3(8)	ZONA 1	NORTE	CERRO	SUR	MAR	O	O	O	ZONA 2	NORTE	CERRO	SUR	MAR	O	O	O	BOQUILLA (m=0/2 bar)	1(3)	2(3)	3(3)	ZONA 1	NORTE	CERRO	SUR	MAR	O	O	O	ZONA 2	NORTE	CERRO	SUR	MAR	O	O	O
BOQUILLA (m=0/2 bar)	1(7)	2(6)	3(6)																																																																																																																																																																																																																																																																										
ZONA 1	NORTE	CERRO	SUR																																																																																																																																																																																																																																																																										
MAR	O	O	O																																																																																																																																																																																																																																																																										
ZONA 2	NORTE	CERRO	SUR																																																																																																																																																																																																																																																																										
MAR	O	O	O																																																																																																																																																																																																																																																																										
BOQUILLA (m=0/2 bar)	1(8)	2(8)	3(8)																																																																																																																																																																																																																																																																										
ZONA 1	NORTE	CERRO	SUR																																																																																																																																																																																																																																																																										
MAR	O	O	O																																																																																																																																																																																																																																																																										
ZONA 2	NORTE	CERRO	SUR																																																																																																																																																																																																																																																																										
MAR	O	O	O																																																																																																																																																																																																																																																																										
BOQUILLA (m=0/2 bar)	1(3)	2(3)	3(3)																																																																																																																																																																																																																																																																										
ZONA 1	NORTE	CERRO	SUR																																																																																																																																																																																																																																																																										
MAR	O	O	O																																																																																																																																																																																																																																																																										
ZONA 2	NORTE	CERRO	SUR																																																																																																																																																																																																																																																																										
MAR	O	O	O																																																																																																																																																																																																																																																																										
BOQUILLA (m=0/2 bar)	1(3)	2(3)	3(3)																																																																																																																																																																																																																																																																										
ZONA 1	NORTE	CERRO	SUR																																																																																																																																																																																																																																																																										
MAR	O	O	O																																																																																																																																																																																																																																																																										
ZONA 2	NORTE	CERRO	SUR																																																																																																																																																																																																																																																																										
MAR	O	O	O																																																																																																																																																																																																																																																																										
BOQUILLA (m=0/2 bar)	1(7)	2(6)	3(6)																																																																																																																																																																																																																																																																										
ZONA 1	NORTE	CERRO	SUR																																																																																																																																																																																																																																																																										
MAR	O	O	O																																																																																																																																																																																																																																																																										
ZONA 2	NORTE	CERRO	SUR																																																																																																																																																																																																																																																																										
MAR	O	O	O																																																																																																																																																																																																																																																																										
BOQUILLA (m=0/2 bar)	1(8)	2(8)	3(8)																																																																																																																																																																																																																																																																										
ZONA 1	NORTE	CERRO	SUR																																																																																																																																																																																																																																																																										
MAR	O	O	O																																																																																																																																																																																																																																																																										
ZONA 2	NORTE	CERRO	SUR																																																																																																																																																																																																																																																																										
MAR	O	O	O																																																																																																																																																																																																																																																																										
BOQUILLA (m=0/2 bar)	1(3)	2(3)	3(3)																																																																																																																																																																																																																																																																										
ZONA 1	NORTE	CERRO	SUR																																																																																																																																																																																																																																																																										
MAR	O	O	O																																																																																																																																																																																																																																																																										
ZONA 2	NORTE	CERRO	SUR																																																																																																																																																																																																																																																																										
MAR	O	O	O																																																																																																																																																																																																																																																																										
BOQUILLA (m=0/2 bar)	1(7)	2(6)	3(6)																																																																																																																																																																																																																																																																										
ZONA 1	NORTE	CERRO	SUR																																																																																																																																																																																																																																																																										
MAR	O	O	O																																																																																																																																																																																																																																																																										
ZONA 2	NORTE	CERRO	SUR																																																																																																																																																																																																																																																																										
MAR	O	O	O																																																																																																																																																																																																																																																																										
BOQUILLA (m=0/2 bar)	1(8)	2(8)	3(8)																																																																																																																																																																																																																																																																										
ZONA 1	NORTE	CERRO	SUR																																																																																																																																																																																																																																																																										
MAR	O	O	O																																																																																																																																																																																																																																																																										
ZONA 2	NORTE	CERRO	SUR																																																																																																																																																																																																																																																																										
MAR	O	O	O																																																																																																																																																																																																																																																																										
BOQUILLA (m=0/2 bar)	1(3)	2(3)	3(3)																																																																																																																																																																																																																																																																										
ZONA 1	NORTE	CERRO	SUR																																																																																																																																																																																																																																																																										
MAR	O	O	O																																																																																																																																																																																																																																																																										
ZONA 2	NORTE	CERRO	SUR																																																																																																																																																																																																																																																																										
MAR	O	O	O																																																																																																																																																																																																																																																																										
BOQUILLA (m=0/2 bar)	1(7)	2(6)	3(6)																																																																																																																																																																																																																																																																										
ZONA 1	NORTE	CERRO	SUR																																																																																																																																																																																																																																																																										
MAR	O	O	O																																																																																																																																																																																																																																																																										
ZONA 2	NORTE	CERRO	SUR																																																																																																																																																																																																																																																																										
MAR	O	O	O																																																																																																																																																																																																																																																																										
BOQUILLA (m=0/2 bar)	1(8)	2(8)	3(8)																																																																																																																																																																																																																																																																										
ZONA 1	NORTE	CERRO	SUR																																																																																																																																																																																																																																																																										
MAR	O	O	O																																																																																																																																																																																																																																																																										
ZONA 2	NORTE	CERRO	SUR																																																																																																																																																																																																																																																																										
MAR	O	O	O																																																																																																																																																																																																																																																																										
BOQUILLA (m=0/2 bar)	1(3)	2(3)	3(3)																																																																																																																																																																																																																																																																										
ZONA 1	NORTE	CERRO	SUR																																																																																																																																																																																																																																																																										
MAR	O	O	O																																																																																																																																																																																																																																																																										
ZONA 2	NORTE	CERRO	SUR																																																																																																																																																																																																																																																																										
MAR	O	O	O																																																																																																																																																																																																																																																																										

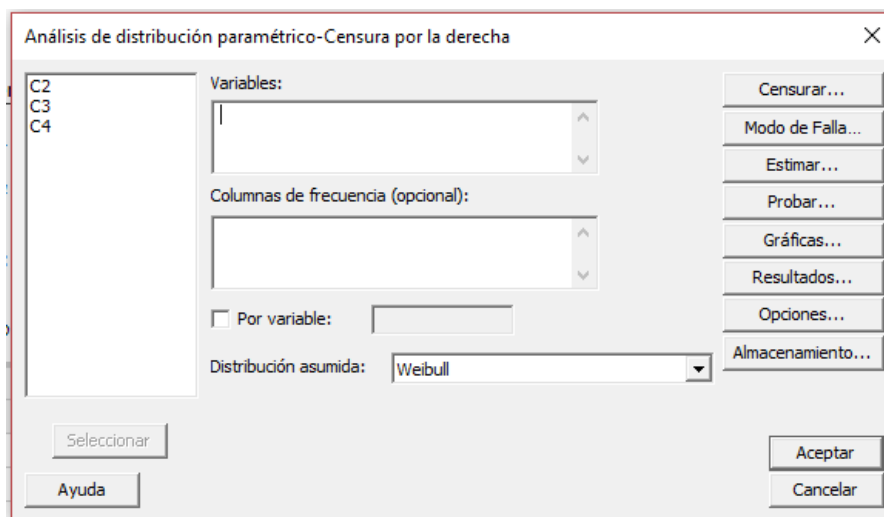
Anexo P: Ingreso de datos en Minitab

Mediante Minitab será posible determinar el percentil el cual indican la antigüedad en la que se espera que un porcentaje de equipos falle, en la Tabla 3-10 se hace mención como función cuantil P.

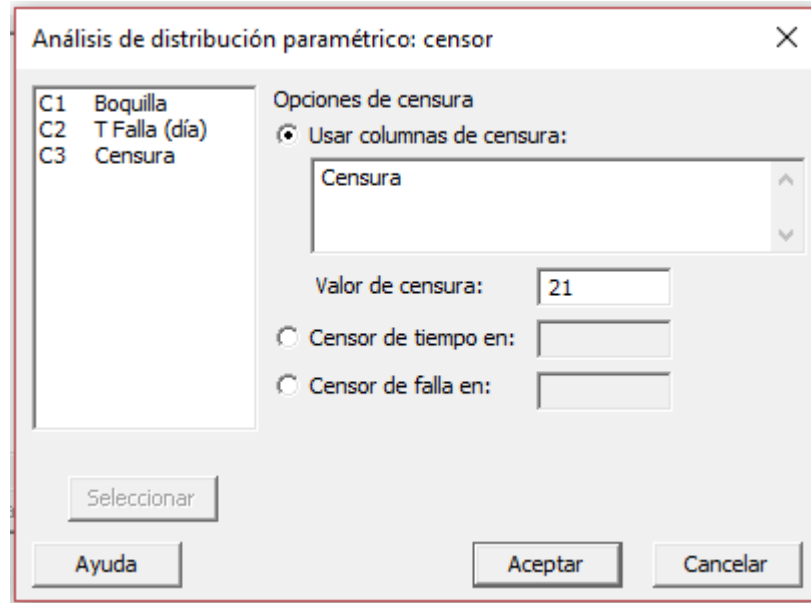
Una vez abierto el programa se debe realizar la Siguiete Secuencia:



En Variable se deberá ingresar los tiempos de falla del equipo en días Con una distribución de Weibull que generalmente es la que mejor se ajusta a los datos, de esta manera obtener el porcentaje de falla para Rociadores o Niples con su respectivo percentil.



A diferencia de los datos sin censura, se observaran las boquillas como grupos, se debe ir al botón Censura el que se observa en el extremo superior derecho de la imagen anterior y se desplegará lo siguiente:



Donde, debe llevar una columna que acompañara a las boquillas observadas, las que fallan se le asignara el valor de 1, y las que no fallaron durante el tiempo t, se le asignara 21, de esta manera las cuales serán censuradas por la derecha en 21 días. A modo de ejemplo:

↓	C1	C2	C3
	Boquilla	T Falla (día)	Censura
1	1	21	21
2	2	21	21
3	3	9	1
4	4	21	21
5	5	21	21
6	6	21	21
7	7	21	21
8	8	16	1
9	9	18	1
10	10	21	21

Tabla de percentiles

Porcentaje	Percentil	Error estándar	IC normal de 95,0%	
			Inferior	Superior
1	5,29040	4,07695	1,16823	23,9580
2	6,91946	4,36174	2,01146	23,8031
3	8,10265	4,45455	2,75846	23,8006
4	9,06824	4,47625	3,44631	23,8612
5	9,90033	4,46422	4,09100	23,9591
6	10,6406	4,43472	4,70122	24,0838
7	11,3133	4,39622	5,28231	24,2302
8	11,9338	4,35364	5,83774	24,3955
9	12,5125	4,31012	6,36990	24,5784
10	13,0570	4,26780	6,88049	24,7780
20	17,4239	4,11636	10,9661	27,6847
30	20,8669	4,64807	13,4851	32,2895
40	23,9572	5,78139	14,9287	38,4458
50	26,9401	7,36160	15,7689	46,0253
60	29,9916	9,34197	16,2878	55,2252

Como ejemplo la tabla de percentiles arroja que al día 20 fallará un 30% de las boquillas según los datos ingresado.

Anexo Q: Indicadores de eficiencia

Con la Ayuda de la interfaz para registro de datos será posible calcular los indicadores de eficiencia en mantenimiento como:

- Tiempo promedio entre fallas (MTBF): este dato es útil dado que dará a conocer la media promedio del tiempo de detención por fallas de un equipo.

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo de funcionamiento (TF)}}{\text{Número de fallas del equipo (NF)}}$$

Dónde:

TF= Horas del período menos horas por imprevistos internos menos horas por mantención programada menos horas Operacionales.

NF= Numero de fallas por imprevistos internos: Mecánicos, Eléctricos, etc.

Es para ello que se incorporó dentro del formulario los tiempos de intervención en el cambio del equipo.



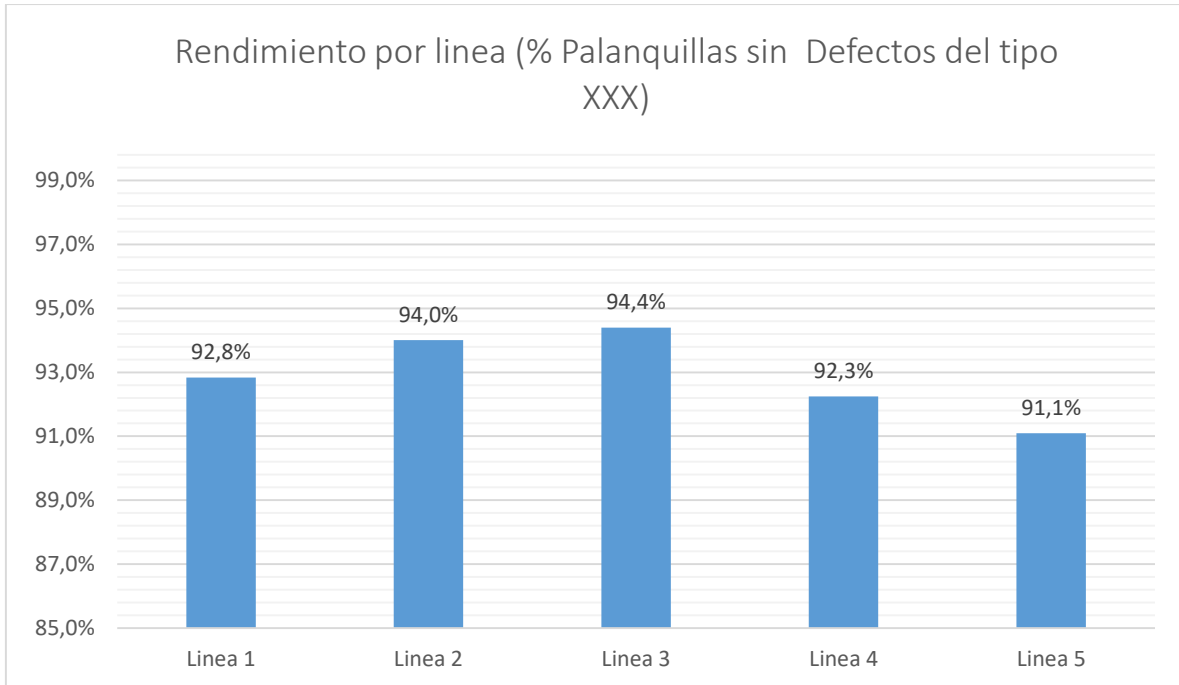
TIEMPO DE INTERVENCION

INICIO [] : [] TERMINO [] : []

The image shows a blue rectangular box containing a form for recording intervention time. At the top, the text 'TIEMPO DE INTERVENCION' is written in white. Below this, there are two sets of input fields. The first set is labeled 'INICIO' and consists of two dropdown menus separated by a colon. The second set is labeled 'TERMINO' and also consists of two dropdown menus separated by a colon. The dropdown menus are currently empty, showing only a downward-pointing arrow.

Anexo R: Gráfico de Barras para Estudio Vs Plan de Acción

- EL primer Gráfico representa el análisis de situación actual con un nivel de sigma del procesos de 2,96 y un rendimiento del proceso general de un 92%



- El segundo gráfico representa el rendimiento del proceso luego del plan de Acción con nivel de sigma de 3,17 y un rendimiento del proceso en general de 95,3 %

