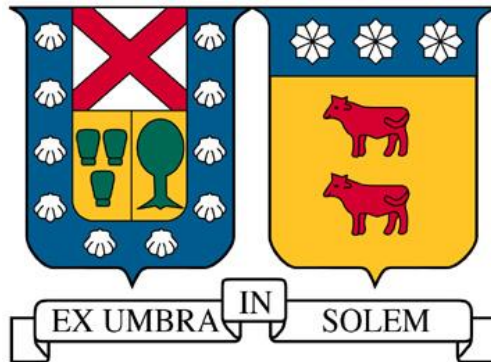


UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS
VALPARAISO – CHILE



ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD Y ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO PARA
OPTIMIZAR LA DISPONIBILIDAD DE ACTIVOS CRÍTICOS EN FAENA MINERA

JORGE ROQUE GONZÁLEZ RODRÍGUEZ

TRABAJO FINAL PARA OPTAR AL GRADO DE
MAGÍSTER EN GESTIÓN DE ACTIVOS Y MANTENIMIENTO

PROFESOR GUÍA: SR. PABLO VIVEROS

OCTUBRE 2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): Memoria o trabajo de título; Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: Análisis de confiabilidad y estrategias de mantenimiento para optimizar la disponibilidad de activos críticos en faena minera

Nombre del candidato(a): Jorge González Rodríguez

Carrera / Grado: Magíster en Gestión de Activos y Mantenimiento

Campus: Santiago Vitacura ; Departamento: Industrias

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Pablo Viveros Gunckel, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

El trabajo **NO** contiene información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

6 meses; 12 meses; 2 años; 3 años; 5 años; 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 18-11-25; Firma: 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 17-11-25; Firma: 

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

ÍNDICE

1.	RESUMEN EJECUTIVO.....	5
2.	INTRODUCCIÓN.....	6
2.1.	OBJETIVOS.....	6
2.2.	ALCANCES	7
2.3.	CONTEXTO OPERACIONAL	7
2.4.	PROBLEMÁTICA.....	7
3.	ESTADO DEL ARTE: ANÁLISIS DE DESEMPEÑO HISTÓRICO Y PROBABILÍSTICO EN CONFIABILIDAD	8
3.1.	ENFOQUES Y MODELOS: INGENIERÍA DE CONFIABILIDAD, ANÁLISIS DE DATOS, PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA.....	8
3.1.1.	Modelos de Confiabilidad:	9
3.1.2.	Análisis de Supervivencia:	9
3.1.3.	Teoría de la Confiabilidad:.....	9
3.2.	TÉCNICA DE ANÁLISIS.....	9
3.2.1.	Análisis de Datos Históricos:.....	9
3.2.2.	Análisis de Fallos:	9
3.2.3.	Simulación:	9
3.3.	RUBROS INDUSTRIALES DE USO DE DESEMPEÑO HISTÓRICOS Y PROBABILÍSTICOS.	9
4.	METODOLGÍA.....	11
4.1.	OBTENCIÓN DE DATOS DE SISTEMAS EAM	12
4.1.1.	Búsqueda de información en MÁXIMO IBM.....	12
4.1.2.	Búsqueda información en JD EWARS	13
4.2.	OBTENCIÓN DE DATOS DE FORMA CONVENCIONAL.....	14
4.2.1.	Consumo de combustible.....	15
5.	DISPONIBILIDAD DEL ACTIVO	16
5.1.	LIBRO OPERADOR DE CALDERA.....	17
6.	CÁLCULO DE CONFIABILIDAD	18
6.1.	MÉTODO AJUSTE DE DATOS PARA DISTRIBUCIÓN WEIBULL.....	18
6.2.	RESULTADOS CÁLCULOS DE CONFIABILIDAD	19
7.	ANÁLISIS DIAGRAMA JACK-KNIFE	20

7.1.	RESULTADOS DIAGRAMA JACK-KNIFE.....	22
8.	AJUSTE DE LAS ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO	22
8.1.	ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO POST RENOVACIÓN DE LA MÁQUINA	22
9.	CÁLCULO DE COSTOS DE MANTENIMIENTO	23
9.1.	ESPERANZA DE COSTOS DE MANTENIMIENTO POR UNIDAD DE TIEMPO 24	
9.2.	COMPARACIÓN DE COSTOS ANTES Y DESPUÉS DE LA RENOVACIÓN....	25
10.	RESULTADOS ESPERADOS DE LA NUEVA ESTRATEGIA.....	27
11.	EVALUACIÓN CRÍTICA DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO Y SU VIABILIDAD OPERACIONAL	27
11.1.	FACTORES CLAVES PARA EL ÉXITO DE LA PROPUESTA	27
11.1.1.	Calidad y disponibilidad de datos históricos:.....	28
11.1.3.	Aplicación de metodologías de confiabilidad:.....	28
11.1.4.	Enfoque diferenciado en mantenimiento:	28
11.1.5.	Capacidad de adaptación operativa:	28
11.1.6.	Gestión de repuestos críticos:.....	28
11.1.7.	Uso de repuestos de calderas dadas de baja :	28
11.2.	RIESGOS DE NO CUMPLIR LO PROYECTADO Y ESTRATEGIAS PARA MITIGARLOS	28
12.	CONCLUSIONES	30
	ANEXO 1: LEY DE WEIBULL.....	31
	• Modelo de ranking ajustado	32
	• Cálculo de función acumulada de falla F(t) y estimación de confiabilidad.....	34
	• Gráfico de dispersión	35
	• Cálculo de “ α ” y MTBF	36
	ANEXO 2: MANTENIMIENTO PREDICTIVO BASADO EN CONDICIÓN	37
	Implementación de tecnologías de monitoreo de condición:.....	37
	Análisis de Datos en Tiempo Real:	37
	Gestión y Planificación de Repuestos Críticos:.....	37
	ANEXO 3: INSPECCIÓN ÓPTIMA DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN	38
	Cálculo de intervenciones óptimas	39
	ANEXO 4: MANTENIMIENTO CORRECTIVO 1000 HORAS DE CALDERA	40
	ANEXO 5: IMAGEN MANTENIMIENTO CORRECTIVO 1000 HORAS DE CALDERA	41

ANEXO 6: IMAGEN TABLAS CONSUMO COMBUSTIBLE ACTIVO ENERO / FEBRERO 2023	42
ANEXO 7: IMAGEN TABLA CONSUMO COMBUSTIBLE ACTIVO MARZO / ABRIL 2023	43
ANEXO 8: IMAGEN TABLA CONSUMO COMBUSTIBLE ACTIVO MAYO/JUNIO 2023 ..	44
ANEXO 9: IMAGEN TABLA CONSUMO COMBUSTIBLE ACTIVO JULIO 2023	45
ANEXO 10: IMAGEN TABLA RESUMEN LIBRO OPERADOR	46
ANEXO 11: CALDERA PLANTA	47
ANEXO 12: QUEBRADA BLANCA	48
ANEXO 13: BIBLIOGRAFÍA	49

1. RESUMEN EJECUTIVO

En el siguiente trabajo final, se realizará un análisis de desempeño histórico y probabilístico, bajo un enfoque modelado en confiabilidad, a un equipo que es parte de un proceso productivo en una faena minera. Este activo se encuentra en etapa de fin de vida útil, y la estrategia de operaciones consiste en realizar una reparación a uno de sus ítems mantenibles específicos, con el objetivo de aumentar su disponibilidad y asegurar la continuidad operacional hasta el cierre definitivo de la planta.

Se llevará a cabo un estudio de análisis de datos con el propósito de demostrar si la estrategia de mantenimiento fue la adecuada. Asimismo, se desarrollará un análisis de los componentes que fueron excluidos de la estrategia y su condición de criticidad. Finalmente, se ejecutará una comparación de los resultados obtenidos, se propondrán mejoras y conclusiones.

PARÁMETRO	ANTES	POST
Beta	1,107	0,996
Alfa	316	216
MTBF	318	216
tiempo (h)	300	300
R(t)	38,92%	25,06%

2. INTRODUCCIÓN

El estudio se ejecutará en Quebrada Blanca I, faena minera a rajo abierto, la cual lixivia mineral para producir cátodos de cobre. Específicamente a una caldera, que tiene por objetivo calentar agua para el proceso de electro obtención. En este contexto, se analiza el desempeño de un activo crítico para el proceso, cuyo objetivo principal es calentar agua para mantener la eficiencia del sistema productivo.

La caldera, conocida en faena como “calentador uno”, ha presentado fallas recurrentes que comprometen la continuidad operacional. Este activo se encuentra en etapa final de vida útil, y la estrategia de operaciones - al momento del estudio- es realizar un overhaul a un elemento específico del activo, con el objetivo de aumentar su confiabilidad y asegurar continuidad operacional hasta el cierre definitivo de la planta.

Este trabajo busca evaluar la efectividad de dicha estrategia mediante un estudio de confiabilidad, combinando con análisis de desempeño histórico del componente del activo que fue incluido en la mejora. Además, se abordará la criticidad de los elementos no considerados en la intervención, con el fin de identificar riesgos operacionales latentes y proponer mejoras que optimicen la gestión del activo en su fase terminal.

La importancia de este estudio radica en su capacidad para entregar evidencia técnica que respalde decisiones estratégicas en un entorno de alta presión operativa, donde cada detención no programada representa un impacto significativo en la planificación, los recursos y la eficiencia del proceso productivo.

2.1. OBJETIVOS

Desarrollar un análisis de desempeño histórico y probabilístico, bajo un enfoque modelado en confiabilidad, antes y posterior a la intervención con el objetivo de comprobar si la estrategia de mantenimiento fue la adecuada.

Realizar un análisis de datos de desempeño histórico del activo con el objetivo de identificar que ítem mantenible generan las detenciones del calentador.

Analizar la etapa del ciclo de vida de los elementos y su tiempo medio de reparación entre averías, con el fin de definir una estrategia de mantenimiento alineada con las necesidades operativas

Ejecutar una comparación de resultados obtenidos y proponer mejoras

2.2. ALCANCES

El alcance del estudio está relacionado con los elementos que generan indisponibilidad del activo, identificar que dispositivos generan las detenciones del calentador. Se excluyen estudios de eficiencia energética, cálculos de producción de vapor o agua caliente y la relación que tiene con la producción propia del negocio o costos de mantenimiento y de ineficiencia.

2.3. CONTEXTO OPERACIONAL

Cada calentador es capaz de asumir en forma independiente el total de la carga del proceso, pero se usaban por lo general dos calderas. De las 3 calderas existentes sólo dos operaban, una estaba dada de baja y se utilizaba en la condición de reutilizar sus parte o componentes para repuestos. Si bien con solo un calentador la planta puede producir, se generan problemas de operación cuando uno de los dos presenta mantenimientos de largo aliento.

2.4. PROBLEMÁTICA

El calentador uno, es un equipo crítico en el proceso de electro obtención, el cual ha llegado al final de su vida útil, presentando fallas recurrentes que ponen en riesgo la operación de la planta. La estrategia actual de mantenimiento, basada en un overhaul de un componente específico del calentador, busca extender la vida útil del activo y mantener

su disponibilidad hasta el cierre de la planta. Este desafío se agrava por la necesidad de operar bajo restricciones de tiempo, ya que la planta está en etapa de cierre definitivo.

La efectividad de esta estrategia no ha sido evaluada de manera exhaustiva, dejando dudas sobre su capacidad para cumplir los objetivos operacionales en un contexto de desgaste creciente. Además, los componentes no considerados en esta estrategia también podrían estar contribuyendo significativamente a las detenciones del activo, representando un área de incertidumbre que debe ser abordada.

La necesidad de desarrollar un análisis integral de confiabilidad y criticidad surge no solo para validar la estrategia actual, sino también para identificar oportunidades de mejora que optimicen la operación del calentador, maximizando su disponibilidad y minimizando los riesgos asociados al proceso

3. ESTADO DEL ARTE: ANÁLISIS DE DESEMPEÑO HISTÓRICO Y PROBABILÍSTICO EN CONFIABILIDAD

Este tipo de análisis abarca diversas áreas, como la ingeniería de confiabilidad, el análisis de datos, la probabilidad y la estadística

El análisis de desempeño histórico implica el estudio de datos pasados para identificar patrones y tendencias en la confiabilidad de productos y sistemas. El enfoque probabilístico utiliza modelos matemáticos para predecir la confiabilidad futura basándose en datos históricos y condiciones operativas

La confiabilidad sigue enfrentando desafíos como la integración de nuevas tecnologías y la adaptación a entornos estocásticos. Se anticipa que el uso de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático jugarán un papel crucial en el futuro de la confiabilidad.

3.1. ENFOQUES Y MODELOS: INGENIERÍA DE CONFIABILIDAD, ANÁLISIS DE DATOS, PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA.

3.1.1. Modelos de Confiabilidad: Los modelos de confiabilidad, como el modelo de Weibull, el modelo de exponencial y el modelo de gamma, se utilizan para analizar la confiabilidad de sistemas y elementos.

3.1.2. Análisis de Supervivencia: El análisis de supervivencia es una técnica estadística utilizada para analizar la confiabilidad de sistemas y partes en función del tiempo.

3.1.3. Teoría de la Confiabilidad: La teoría de la confiabilidad se enfoca en el desarrollo de modelos y técnicas para evaluar y mejorar la confiabilidad de sistemas y piezas.

3.2. TÉCNICA DE ANÁLISIS.

3.2.1. Análisis de Datos Históricos: El análisis de datos históricos se utiliza para identificar patrones y tendencias en la confiabilidad de sistemas y partes.

3.2.2. Análisis de Fallos: El análisis de fallos se utiliza para identificar las causas raíces de los fallos y mejorar la confiabilidad de sistemas y componentes.

3.2.3. Simulación: La simulación se utiliza para evaluar la confiabilidad de sistemas y piezas en diferentes escenarios y condiciones.

3.2.4 Herramientas y Software.

- ReliaSoft Weibull++: Software de análisis de confiabilidad que ofrece herramientas para el análisis de datos históricos, la simulación y el análisis de fallos.
- MATLAB: Software de análisis numérico que ofrece herramientas para el análisis de datos históricos y la simulación.

3.3. RUBROS INDUSTRIALES DE USO DE DESEMPEÑO HISTÓRICOS Y PROBABILÍSTICOS.

Industria Minera: La minería es uno de los principales sectores económicos de Chile. Las empresas mineras utilizan análisis de confiabilidad para evaluar y mejorar la disponibilidad y eficiencia de sus equipos y procesos.

Industria Energética: Las empresas de generación y transmisión de energía eléctrica, como Endesa y Enel, utilizan análisis de confiabilidad para evaluar y mejorar la confiabilidad de sus sistemas y componentes.

Industria de Transporte: Las empresas de transporte en Chile, como las aerolíneas LATAM Airlines y las empresas de transporte terrestre, utilizan análisis de confiabilidad para evaluar y mejorar la confiabilidad de sus vehículos y sistemas.

(1) Estado del arte. Fuente: <https://predictiva21.com/confiabilidad>
(https://www.academia.edu/65656665/Confiabilidad_Historia_estado_del_arte_y_d)

esafiosfuturos) / (<https://www.redalyc.org/pdf/496/49614003.pdf>)/ Apuntes Clase MGA 18 / <https://www.hbkworld.com/en/products/software/reliability/weibull-life-data-analysis-software/key-features> /(<https://rmessuite.com/es/experiencia.php>) /

4. METODOLGÍA

A continuación, se ejecutará un estudio de obtención de datos a través de plataformas o programas de gestión de mantenimiento que son JD EWARS y MÁXIMO IBM, también se revisarán los libros de operador de calentador y el consumo de combustible del activo. Luego se realizará una preparación de datos, con la finalidad de obtener información significativa como: fechas, tiempo de detención, tiempos de buen funcionamiento, causas que generan las paradas. Para el análisis se usarán cálculos de disponibilidad, diagramas de dispersión, análisis de Weibull estadístico utilizado para analizar datos de la vida útil, tasas de fallas y confiabilidad. Finalmente obtendremos resultados y conclusiones. Ver imagen 1, esquema metodología.

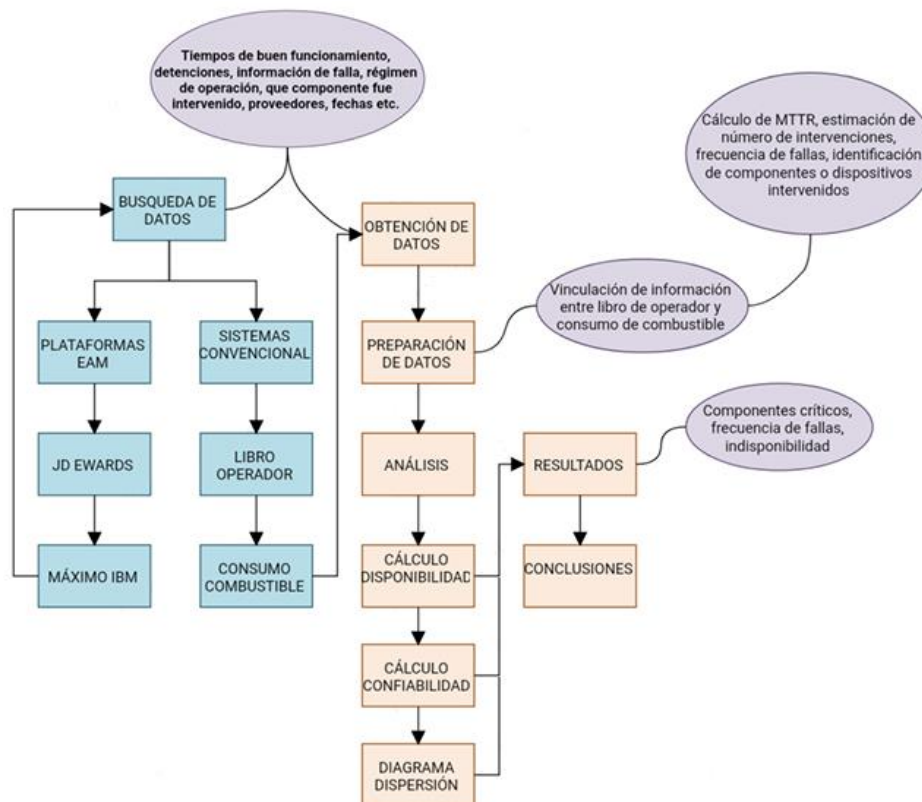


Imagen 1: Esquema Metodología

4.1. OBTENCIÓN DE DATOS DE SISTEMAS EAM

Aproximadamente a partir de mayo del 2023 en QB1 se trabaja con MAXIMO IBM, software del tipo EAM (gestión de activos empresariales), donde se generan los programas de mantenimiento preventivos, predictivos y correctivos de los activos de planta, a través de disparos de órdenes de trabajo (OT), que son enviadas a proveedores y personal interno de la compañía según corresponda, también se realiza gestión de solicitud de insumos o materiales a través de un inventario. Antes de la implementación de MAXIMO IBM, se usaba JD Ewards, al cual se daba el mismo uso.

El estudio se ejecutará mediante la recopilación de datos, específicamente se buscará en los sistemas disponibles (MAXIMO IBM y JD Ewards) ordenes de trabajo generadas al activo específico “calentador 1”, con el objetivo de tener información de ejecución de mantenimientos preventivos, correctivos y predictivos.

4.1.1. Búsqueda de información en MÁXIMO IBM

En el software se busca el activo y se descargan las OT cargadas al Calentador 1, lamentablemente existen ordenes de trabajo que corresponden a otros equipos, que no tienen relación con el objetivo del análisis (ver imagen 2).

Debido a que la implementación del programa lleva poco tiempo y la cantidad de datos es baja y poco asertiva, se descarta el uso de esta herramienta.

Activos (TCK) JorgeGonzalez

Buscar Activo

Activo: 40000 CALENTADOR N°1 AGUA Planta: QB

Ver detalles de trabajo

Orden de trabajo	Descripción	Estado	Fecha de estado	Inicio previsto	Finalización prevista	Inicio programado	Finalización programada	Inicio real	Finalización rea
	PI 1S ASEO CAMIONETAS MECANICAS RIAGUI	70-COMP	23-05-23 14:59	23-05-23 14:00	23-05-23 20:00	23-05-23 14:00	23-05-23 15:00	23-05-23 14:59	23-05-23 14:59
293376	PI 1S ASEO CAMIONETAS MECANICAS RIAGUI MPH.	70-COMP	31-05-23 15:02	30-05-23 14:00	30-05-23 17:00	30-05-23 14:00	30-05-23 15:00	31-05-23 15:02	31-05-23 15:02
293450	PI 1S ASEO CAMIONETAS MECANICAS	70-COMP	23-05-23 14:45	23-05-23 16:00	23-05-23 18:00	23-05-23 16:00	23-05-23 18:00	23-05-23 14:45	23-05-23 14:45
293511	PI 1S ELECTRICAS CALENTADOR	70-COMP	21-05-23 14:52	17-05-23 0:00	17-05-23 2:00	17-05-23 14:00	17-05-23 15:00	21-05-23 14:52	21-05-23 14:52
293512	PI 1S ELECTRICAS CALENTADOR	32-WPCOND	26-08-23 15:52	24-05-23 0:00	24-05-23 2:00				
293514	PI 1S DUCHA EMERG APVs DE AGLOMERACION	70-COMP	20-05-23 9:45	17-05-23 8:00	17-05-23 9:00	17-05-23 8:00	17-05-23 9:00	20-05-23 9:45	20-05-23 9:45

Imagen 2: IBM MÁXIMO, activo calentador 1

4.1.2. Búsqueda información en JD EWARS

En este sistema existe información histórica, la cual puede ser descargada en planilla Excel. Existe el número de OT, pero solo una glosa genérica del nombre de la máquina y la fecha. No especifica tiempos de detención, ni tampoco detalla la actividad o trabajo ejecutado (ver imagen 3)

Se debe buscar otro medio de obtención de datos, como los libros de operador de caldera y los consumos de combustibles desde sala control.

#	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
			CALENTADOR PLANTA Nº1	60 OT Realizada		C CORRECTIVA		2 Proximos Planes Semanales	560014AH00	CALENTADOR PLANTA Nº1	000001QB00	03-04-2023	03-04-23	
			CALENTADOR PLANTA Nº1	60 OT Realizada		C CORRECTIVA		2 Proximos Planes Semanales	560014AH00	CALENTADOR PLANTA Nº1	000001QB00	02-04-2023	02-04-23	
			CALENTADOR REFINO Nº2	60 OT Realizada		C CORRECTIVA		2 Proximos Planes Semanales	340045GH00	CALENTADOR REFINO Nº2	000001QB00	05-03-2023	05-03-23	
			CALENTADOR PLANTA Nº1	60 OT Realizada		C CORRECTIVA		2 Proximos Planes Semanales	560014AH00	CALENTADOR PLANTA Nº1	000001QB00	03-03-2023	03-03-23	
			CALENTADOR 1 REFINO LAVADO MOT	60 OT Realizada		C CORRECTIVA		2 Proximos Planes Semanales	410001ARE00	EQUIPOS ÁREA 410	000001QB00	10-01-2023	22-01-23	
			CALENTADOR 2 REFINO LAVADO MOT	60 OT Realizada		C CORRECTIVA		2 Proximos Planes Semanales	410001ARE00	EQUIPOS ÁREA 410	000001QB00	10-01-2023	23-01-23	
			CALENTADOR 1 LAVADO Y REVISIÓN	60 OT Realizada		C CORRECTIVA		2 Proximos Planes Semanales	540001ARE00	EQUIPOS ÁREA 540	000001QB00	09-01-2023	18-01-23	
			CALENTADOR 2 LAVADO Y REVISIÓN	60 OT Realizada		C CORRECTIVA		2 Proximos Planes Semanales	540001ARE00	EQUIPOS ÁREA 540	000001QB00	09-01-2023	19-01-23	
			calentador n 2 refino	60 OT Realizada		C CORRECTIVA		1 Emergencia / Imprevisto	560014GH00	CALENTADORES Y CALDERAS PLANTA	560014GH00	20-08-2022	19-08-22	
			calentador n 3 planta	42 OT Asignada para Ejecución		C CORRECTIVA		1 Emergencia / Imprevisto	560014AH00	CALENTADOR PLANTA Nº1	560025AB000	08-02-2022	07-02-22	
			calentador 1 planta	60 OT Realizada		C CORRECTIVA		1 Emergencia / Imprevisto	560014AH00	CALENTADOR PLANTA Nº1	560025AB000	06-02-2022	05-02-22	
			calentador n 1 planta	60 OT Realizada		C CORRECTIVA		1 Emergencia / Imprevisto	560014AH00	CALENTADOR PLANTA Nº1	560025AB000	04-10-2021	02-10-21	
			calentadores de refino	60 OT Realizada		C CORRECTIVA		1 Emergencia / Imprevisto	340045GH00	CALENTADORES REFINO Nº1,2,3	340045GH00	08-07-2021	07-07-21	
			calentador n 2	60 OT Realizada		C CORRECTIVA		1 Emergencia / Imprevisto	560025AH00	CALENTADOR PLANTA Nº2	560025AB000	29-05-2021	28-05-21	
			calentador n 2 planta	60 OT Realizada		C CORRECTIVA		1 Emergencia / Imprevisto	560025AH00	CALENTADOR PLANTA Nº2	560025AB000	20-10-2020	19-10-20	
			calentador n 2 planta	60 OT Realizada		C CORRECTIVA		1 Emergencia / Imprevisto	560025AH00	CALENTADOR PLANTA Nº2	560025AB000	19-10-2020	18-10-20	
			calentador n 1 refino	60 OT Realizada		C CORRECTIVA		1 Emergencia / Imprevisto	340044AH00	CALENTADOR REFINO Nº1	340046AB000	18-10-2020	16-10-20	
			calentador n 1 refino	60 OT Realizada		C CORRECTIVA		1 Emergencia / Imprevisto	340044AH00	CALENTADOR REFINO Nº1	340046AB000	16-10-2020	15-10-20	
			calentador n 1	60 OT Realizada		C CORRECTIVA		1 Emergencia / Imprevisto	340044AH00	CALENTADOR REFINO Nº1	340046AB000	15-10-2020	14-10-20	
			calentador 2 planta	60 OT Realizada		C CORRECTIVA		1 Emergencia / Imprevisto	560025AH00	CALENTADOR PLANTA Nº2	560025AB000	30-05-2020	30-05-20	
			calentador n 1	60 OT Realizada		C CORRECTIVA		1 Emergencia / Imprevisto	560014AH00	CALENTADOR PLANTA Nº1	560025AB000	24-05-2020	24-05-20	
			calentador n 2	60 OT Realizada		C CORRECTIVA		1 Emergencia / Imprevisto	560025AH00	CALENTADOR PLANTA Nº2	560025AB000	02-12-2019	01-12-19	

Imagen 3: Planilla Excel descarga de JD Ewards

4.2. OBTENCIÓN DE DATOS DE FORMA CONVENCIONAL

Debido a que la información de los softwares no entrega los datos necesarios para ejecutar un análisis, se decide revisar consumos de combustible y los libros de operador de caldera.

Existe una planilla de consumo de combustible el cual registra las horas de operación del activo y las de no operación. El libro del operador de caldera tiene por objetivo registrar todo lo que ocurre durante las horas de funcionamiento del activo durante el turno, en ello se registra como se recibe la caldera, parámetros de funcionamiento, si existe detención, visita de proveedores, si se ha ejecutado algún mantenimiento.

Al cruzar esta información (libro de operación y consumo combustible) podemos hacer una relación entre las horas efectivas de funcionamiento del equipo y los trabajos de mantenimiento ejecutados.

4.2.1. Consumo de combustible

En la planilla de consumo de combustible se puede encontrar las horas de detención del activo (por no consumo de combustible) y determinar la disponibilidad operacional del activo (ver tabla 1, mes de enero 2023).

Disponibilidad operacional (2): Comprende, a efectos de la no funcionalidad, el tener en cuenta: tiempos activos de reparación correctiva, tiempos de mantenimientos planeados (preventivos o predictivos), tiempos logísticos (preparación, suministro de repuestos o recurso humanos) tiempos administrativos, etc.

Fecha	Dia	Calentador N° 1 - PLANTA									
		FUELOIL #6				DIESEL					
		Real (kg/dia)	Horas Operativas	Cons. Eq. (kg/Hrs)	Forecast (kg/dia)	Budget (kg/dia)	Real (LITROS/dia)	Horas Operativas	Cons. Eq. (kg/Hrs)	Forecast (kg/dia)	Budget (kg/dia)
01-01-2023	1	10672	24	445			0	0	0		
02-01-2023	2	10771	24	449			0	0	0		
03-01-2023	3	10610	24	442			0	0	0		
04-01-2023	4	11127	24	464			0	0	0		
05-01-2023	5	10746	24	448			0	0	0		
06-01-2023	6	10716	24	447			0	0	0		
07-01-2023	7	10835	24	451			0	0	0		
08-01-2023	8	9056	21,75	416			0	0	0		
09-01-2023	9	10829	24	451			0	0	0		
10-01-2023	10	11099	24	462			0	0	0		
11-01-2023	11	11015	24	459			0	0	0		
12-01-2023	12	10435	21	497			0	0	0		
13-01-2023	13	4405	12,5	352			0	0	0		
14-01-2023	14	11060	24	461			0	0	0		
15-01-2023	15	10355	24	431	# REF	# REF	0	0	0	# REF	# REF
16-01-2023	16	11571	24	482			0	0	0		
17-01-2023	17	11607	24	484			0	0	0		
18-01-2023	18	10573	23	460			0	0	0		
19-01-2023	19	10500	24	438			0	0	0		
20-01-2023	20	10297	24	429			0	0	0		
21-01-2023	21	11674	24	486			0	0	0		
22-01-2023	22	10480	24	437			0	0	0		
23-01-2023	23	10164	24	424			0	0	0		
24-01-2023	24	10268	23	446			0	0	0		
25-01-2023	25	12000	24	500			0	0	0		
26-01-2023	26	10798	24	450			0	0	0		
27-01-2023	27	10387	24	433			0	0	0		
28-01-2023	28	10344	24	431			0	0	0		
29-01-2023	29	4844	12,5	388			0	0	0		
30-01-2023	30	5652	12	471			7385	12	615		
31-01-2023	31	2414	2,5	966			5164	5	1033		
TOTAL MES		307.304	680,25	452	# REF	# REF	12.549	17	738	# REF	# REF

Tabla 1: Registro consumo mes enero 2023. Fuente, operador sala control

(2) Disponibilidad operacional Fuente: Mantenimiento. Planeación, ejecución y control.

Luis Alberto Mora Gutiérrez. Primera edición 2009

5. DISPONIBILIDAD DEL ACTIVO

En este caso se toman las horas totales de operativas del activo (680,25 HH) durante el mes, según tabla1 registro consumo mes enero 2023 y se dividen por el régimen de funcionamiento de 24 horas al día por los 31 días del mes (en este caso enero 2023). La disponibilidad del mes de enero es 91,43%.

El gráfico 1 muestra el resumen de disponibilidad del activo durante un período de 7 meses. Se puede apreciar que existen meses los cuales la disponibilidad del activo respecto al consumo de combustible es muy baja y en los softwares de gestión de activos, no existe información sobre esto. Es por esto se deben revisar los libros del operador de caldera donde debería estar la información necesaria para la ejecución del análisis.

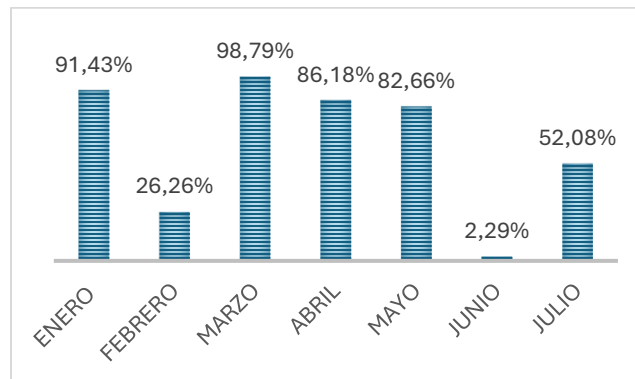


Gráfico 1: Disponibilidad enero – julio 2023

5.1. LIBRO OPERADOR DE CALDERA

Al momento de revisar la planilla de consumo de combustible y ejecutar el cálculo de disponibilidad operacional se detectan días en los cuales existen detenciones del activo lo que generan indisponibilidad del calentador. En el libro de operador de caldera existen datos donde se detalla el evento causante de las detenciones las cuales pueden ser motivos operacionales, mantenimientos preventivos, correctivos, etc.

En tabla 2, resumen del libro de operador de caldera, el cual especifica el motivo que generó la detención. Al cruzar la información del libro del operador con la planilla de consumo de combustible, podemos obtener la causa de la detención del activo, fechas, duración de reparación, etc.

HH DETENCIÓN	COMPONENTE	FECHA	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDAD
2	TUBOS	02-02-2023	Se realiza reparación de 1 tubo roto del calentador
72	TUBOS	15-2 al 18-02	Empresa sella 7 tubos del sistema ignotubular y soldaron 3 tubos al sistema agua tubular
2	TUBOS	20-02-2023	Se reparan 2 tubos agua tubular
1	PROBLEMA CON CALEFACTOR	29-03-2023	01:30 a 2:30 Cae calentador por baja de T° de combustible, se llama eléctricos reponen automático de precalentadores
1	PROBLEMA CON CALEFACTOR	30-03-2023	15:30 a 16:30 Cae calentador por baja de T° de combustible, se llama eléctricos reponen automático de precalentadores
2	PROBLEMA CON CALEFACTOR	02-04-2023	Problema de bombas de alimentación de agua N°3 se corta correa, queda trabajando con bomba N°2; Problema con calefactor eléctrico de combustible, se autoriza a trabajar con petróleo Diesel
20,5	BOMBA 3 ALIMENTACIÓN DE AGUA	02-04-2023	Problema de bombas de alimentación de agua N°3 se corta correa, queda trabajando con bomba N°2; Problema con calefactor eléctrico de combustible, se autoriza a trabajar con petróleo Diesel
2	BOMBA 3 ALIMENTACIÓN DE AGUA	03-04-2023	Se ejecuta reparación de correa de bomba N°3
12	TUBOS	20-04-2023	16:00 Rotura de tubos, equipo bloqueado
12	FILTRACIONES EN TAPAS	21-04-2023	01:00 am Se corre calentador con petróleo Diesel pero a los 10 min de operar se deja F/S por filtración de agua por tapa traseras y delanteras
	TUBOS	21-04-2023	15:00 Se pone en servicio, se realiza la reparación de 2 tubos
1	SISTEMA SEGURIDAD TEMPERATURA	28-04-2023	de 12 a 13 hrs. Se detiene calentador por aumento de temperatura en sistema
activo	TUBOS	28-04-2023	17:30 Se detiene calentador por aumento de temperatura y rotura de tubos,

Tabla 2: Resumen libro operador 2023. Ver tabla completa en Anexo 9

6. CÁLCULO DE CONFIABILIDAD

Desde la planilla de consumo de combustibles se identifican las horas de buen funcionamiento del activo y cuánto tiempo estuvo detenido, pero no existe detalle sobre la causa o modo de avería. El libro de “operador de la caldera” entrega datos más detallados, por ejemplo, que elemento ocasionó la detención del activo, quien ejecutó la reparación, cuantas veces durante el día etc. Al cruzar esta información se obtienen datos claves, como tiempo de buen funcionamiento, número de reparaciones, tiempo de operación total de la máquina, tasa de avería y se establecen patrones.

Con la información obtenida se puede desarrollar un análisis de datos de desempeño histórico del activo, con el objetivo de identificar que componentes generan las detenciones del calentador. Identificar en que etapa del ciclo de vida se encuentran los elementos y su tiempo medio de reparación entre desperfecto.

6.1. MÉTODO AJUSTE DE DATOS PARA DISTRIBUCIÓN WEIBULL

El análisis de Weibull es un método estadístico utilizado en ingeniería de confiabilidad y mantenimiento para analizar datos de la vida útil, tasas de fallas y confiabilidad de los equipos (3).

La metodología Weibull permite caracterizar el comportamiento de fallas y estimar la vida útil de activos, proporcionando una base cuantitativa para la toma de decisiones en estrategias de mantenimiento. En este estudio, se aplicó con el propósito de determinar la etapa del ciclo de vida en la que se encuentra el ítem mantenible, tanto antes como después de la intervención, con el fin de evaluar la efectividad de la estrategia implementada por el área de operaciones (ver anexo 1 desarrollo de cálculos)

(3) Análisis Weibull. Fuente: Apuntes Ajuste de Curva MGA-18 Raúl Stegmaier – Fredy Kristjanpoller

6.2. RESULTADOS CÁLCULOS DE CONFIABILIDAD

El primer cálculo - antes de la renovación - el parámetro de forma β es 1,107, lo que ubica al componente en una tasa de avería creciente, finalizando su vida útil y entrando a etapa de desgaste. Posterior a la renovación completa, β es 0,996 saliendo de etapa de rodaje y entrando a tasa de falla constante, ver imagen 4.

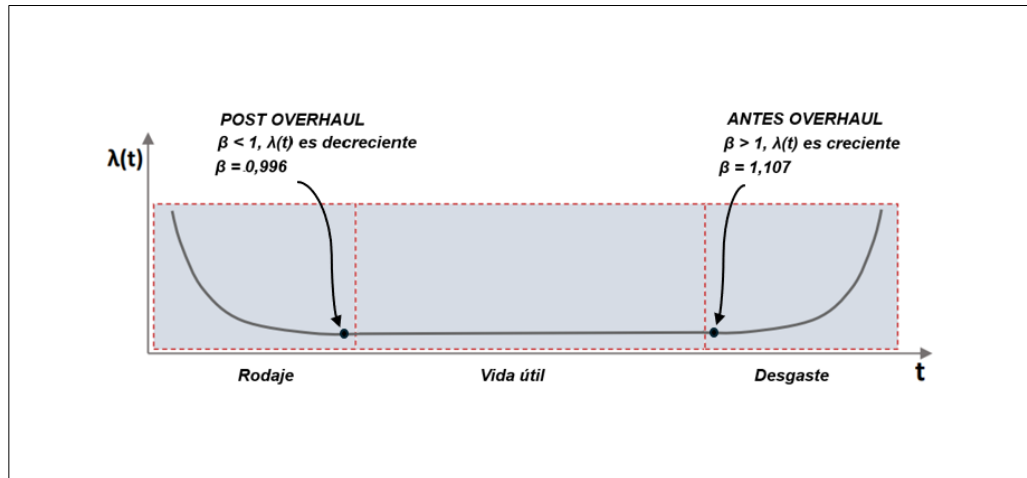


Imagen 4: Parámetro de forma β , gráfico comportamiento de la tasa de avería de los equipos durante su ciclo de vida.

La tabla resumen 3, muestra los resultados obtenidos del cálculo realizados. Este análisis se desarrolló antes de la intervención del activo con 32 datos y posterior a la renovación con 41 datos. Alfa es un parámetro de magnitud o característica de vida que tiene relación con el tiempo esperado hasta un fallo. No es una medida directa de tiempo entre fallos. En el caso antes del overhaul, es levemente menor que el MTBF debido a que se encuentra en una etapa de tasa de avería creciente.

PARÁMETRO	ANTES	POST
Beta	1,107	0,996
Alfa	316	216
MTBF	318	216
tiempo (h)	300	300
R(t)	38,92%	25,06%

Tabla 3: Parámetro, antes y posterior a la intervención

7. ANÁLISIS DIAGRAMA JACK-KNIFE

Debido a que existen pocos datos como para realizar un estudio de confiabilidad del resto de los componentes, es necesario realizar un estudio con una nueva metodología. El análisis de diagrama Jack-nife, es un método para analizar el tiempo de inactividad o indisponibilidad de equipos o sistemas, usando diagramas de dispersión. La elaboración de este diagrama preserva el esquema de clasificación de los histogramas de Pareto, y a su vez aporta contenidos adicionales con respecto a la regularidad de eventos de mantenimiento y tiempo medio de reparación, mediante la aplicación de valores límites, los diagramas de dispersión puede ser dividido en cuatro cuadrantes que permitan que los componentes o dispositivos que generan detenciones sean clasificadas en: agudos, crónico, agudo/crónico y bajo control (4).

(4) Fuente: <https://ausencorylsones.wordpress.com/2016/11/16/jackknife-vs-pareto-cual-es-mejor-y-por-que>

Al momento de ejecutar el diagrama de dispersión se deben tener los valores N, número de desperfectos y el MTTR. Ver imagen 18. Luego para ejecutar los cuatro cuadrantes se deben cruzar en el promedio del N y el MTTR. También se deben proyectar curvas ISO, las cuales corresponden en este caso a 22, 14 y 5 que corresponden al KPI (1-Ai) y tienen por objetivo mostrar gráficamente que dispositivos pueden recibir la condición de repuestos críticos, ver tabla 4.

COMPONENTE	N	MTTR	KPI Indisponibilidad
BOMBA 3 ALIMENTACIÓN DE AGUA	2	11,25	22,5
FILTRACIONES EN TAPAS	1	12	12
FUGA DE GASES	1	21	21
PROBLEMA CON CALEFACTOR	2	1,5	3
SELENOIDE DE ENCENDIDO	4	3,5	14
SISTEMA SEGURIDAD TEMPERATURA	2	2,5	5
VALVULA REGULADORA DE COMBUSTIBLE	1	4	4

Tabla 4: Resumen de resultados

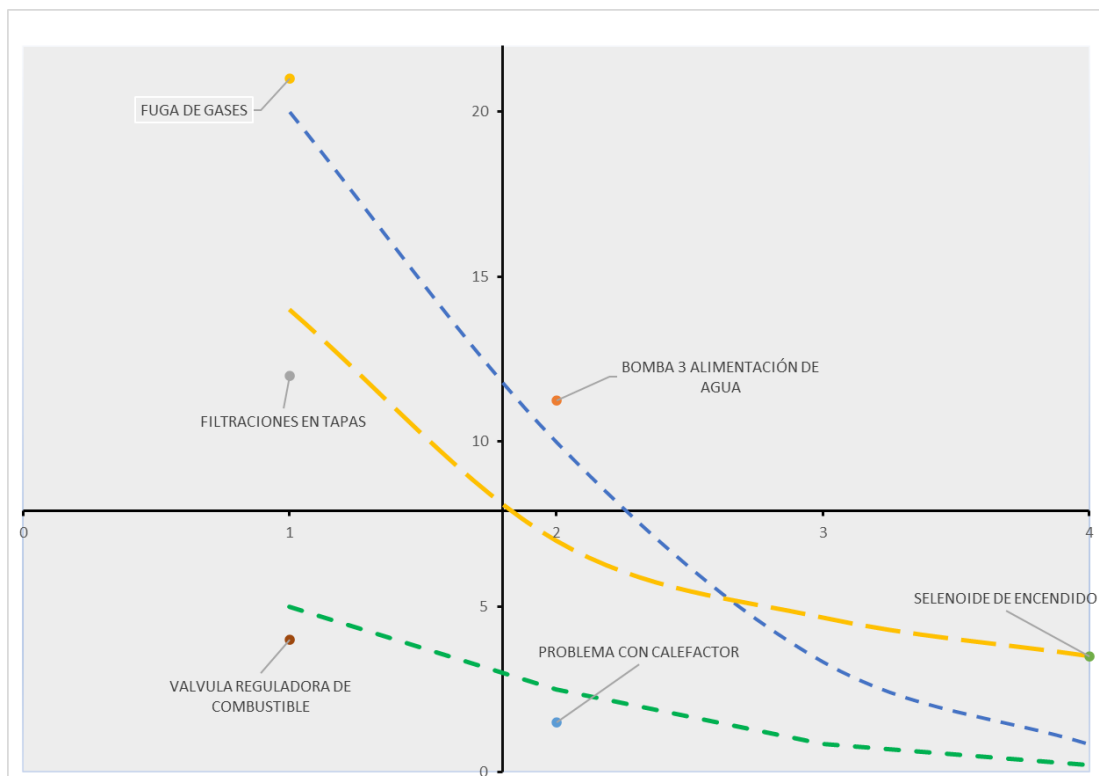


Gráfico 2: Diagramas de dispersión

7.1. RESULTADOS DIAGRAMA JACK-KNIFE

El elemento “bomba 3 de alimentación” es el que tiene más de 22 horas de indisponibilidad porque está sobre la curva ISO 22. El desperfecto “fuga de gases” es el 2do componente más crítico porque se encuentra próximo a las 22 horas de indisponibilidad (este desperfecto está asociada a la reparación de renovación de tubos). Luego el ítem mantenible “solenoides de encendido” sería el 3er dispositivo debido a que está próximo a la segunda curva ISO 14 y la cuarta avería es “filtraciones de tapas de agua”.

8. AJUSTE DE LAS ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO

A partir de los resultados del cálculo de disponibilidad, confiabilidad y el análisis de diagrama Jack -Knife, se debe ajustar la estrategia de mantenimiento con el objetivo de maximizar la disponibilidad y minimizar las detenciones del activo. Los meses con mayor indisponibilidad de la máquina están asociados principalmente al componente "tubos". Este dispositivo fue renovado en su totalidad y la estrategia debe ser ajustada. Existen componentes del activo que fueron excluidos de la renovación del activo, pero deben ser considerados en la nueva estrategia de mantenimiento.

8.1. ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO POST RENOVACIÓN DE LA MÁQUINA

La propuesta consiste en aplicar mantenimiento predictivo basado en condición para el componente “tubos”, con el objetivo de evitar detenciones no programadas del activo. Esta estrategia permite anticiparse a posibles fallas mediante el monitoreo de señales de deterioro, lo que facilita la planificación de intervenciones en momentos óptimos. De esta forma, se maximiza la vida útil del componente y se minimizan las consecuencias operacionales de fallas inesperadas, alineándose con el objetivo de operaciones de mantener la continuidad operacional.

A partir del análisis de criticidad realizado mediante la metodología Jack-Knife, se identificaron los componentes con mayores tasas de indisponibilidad. Para estos elementos, se recomienda aplicar una política de mantenimiento preventivo a edad

constante (tp), asegurando su confiabilidad y reduciendo el riesgo de fallas que puedan comprometer la operación.

En resumen, la nueva estrategia de mantenimiento para la caldera contempla intervenciones predictivas sin detención del activo para el componente renovado (tubos) y mantenimiento preventivo programado para los componentes críticos identificados en el estudio de criticidad. Esta combinación busca optimizar la disponibilidad del equipo, reducir costos asociados a fallas inesperadas y mejorar la planificación de recursos en faena.

ESTRATEGIA MANTENIMIENTO	COMPONENTE
PREDICTIVO BASADO EN CONDICIÓN	TUBOS
	FILTRACIONES EN TAPAS
	FUGA DE GASES
PREVENTIVO EDAD CONSTANTE	BOMBA ALIMENTACIÓN
	CALEFACTOR
	SELENOIDE ENCENDIDO
	SIST. SEGURIDAD TEMP.
	VÁLVULA REG TEM

Tabla 5: Resumen estrategias de mantenimiento

9. CÁLCULO DE COSTOS DE MANTENIMIENTO

A continuación, se presenta una tabla resumen de los costos de mantenimientos correctivos y preventivos, antes y después de la renovación del activo. Con estos valores podemos determinar la esperanza de costos de mantenimiento de las nuevas estrategias de mantenimiento.

ANTES DE LA RENOVACIÓN			PROYECCIÓN		
Alfa	Beta	MTBF	Alfa	Beta	MTBF
316,000	1,107	304,281	216,464	0,9957	216,861
Cp \$	Cc \$	I. criticidad	Cp \$	Cc \$	I. criticidad
\$ 8.000.000	\$ 30.000.000	3,8	\$ 4.000.000	\$ 7.000.000	1,8
MTTRp	MTTRc	H op año	MTTRp	MTTRc	H op año
10	35	8240	2	5	8240

Tabla 5: Resumen costos de mantenimiento

9.1. ESPERANZA DE COSTOS DE MANTENIMIENTO POR UNIDAD DE TIEMPO

Luego de determinar el número de intervenciones del mantenimiento basado en condición (ver anexo 3) para el ítem “Tubos” es necesario calcular el escenario para el resto de los elementos que componen al calentador. En base al estudio realizado en diagrama de dispersión (apartado 7) se debe estimar el costo de las intervenciones correctivas y preventivas. Es posible calcular el costo de mantenimiento esperado (esperanza de costo) considerando los costos de emergencia y preventivos asociados a un ciclo de mantenimiento (5).

$$C_{TM} = \frac{C_P \cdot R(tp) + C_E \cdot [1 - R(tp)]}{MTBM_{tp} + MTTR_{tp}}$$

Fórmula 1: Fórmula esperanza de costos de mantenimiento por unidad de tiempo

Donde:

C_{TM} : Costo de mantenimiento por unidad de tiempo

C_P : Costo de una intervención preventiva

C_E : Costo de una intervención de emergencia

$R(tp)$: Confiabilidad en el instante “tp”

$MTBM_{tp}$: Esperanza de tiempo entre intervenciones

$MTTR_{tp}$: Esperanza de tiempo de reemplazo

(5) *Mantenimiento predictivo basado en condición. Fuente: Estrategias de mantenimiento Apuntes complementario MGA-18. Adolfo Arata, Raúl Stegmaier, Fredy Kristjanpoller*

9.2. COMPARACIÓN DE COSTOS ANTES Y DESPUÉS DE LA RENOVACIÓN

La tabla compara la situación actual con la posterior a la renovación. En ambos escenarios, el tiempo óptimo de intervención se mantiene en 315 horas. Antes del overhaul de cada 100 intervenciones, 37 son preventivas y 63 correctivas, con un costo promedio de 21 millones de pesos por intervención. Posterior a la renovación, de cada 100 intervenciones, 23 son preventivas y 77 correctivas, pero el costo promedio por intervención se reduce significativamente a 6 millones de pesos. Este análisis evidencia que, aunque el porcentaje de intervenciones correctivas aumenta tras la renovación, el costo total de mantenimiento disminuye de forma considerable, lo que sugiere una mejora en la eficiencia económica del proceso.

Situación	tiempo	R(t)	F(t)	Costo Intervención promedio	MTTRt	Ec	Ec prev	Ec corr	n° int año t	n° prev año t	n° corr año t	A	Ppto Anual
Antes Overhaul	315	37%	63%	\$ 21.878.255	26	\$ 94.928	\$ 12.814	\$ 82.114	36	13	23	89%	\$ 782.210.205
Post Overhaul	315	23%	77%	\$ 6.298.301	4	\$ 37.021	\$ 5.499	\$ 31.522	48	11	37	97%	\$ 305.055.137

Tabla 6: Situación actual y post renovación de activo

En los gráficos de esperanza de costos de mantenimiento, se observa la curva azul que representa la esperanza de costos de mantenimiento. Esta curva muestra un comportamiento decreciente en los dos casos, alcanzando su punto más bajo a las 315 horas de operación. Sin embargo, se evidencia una diferencia significativa en los costos, antes del overhaul, el costo de mantenimiento es casi tres veces mayor que en el escenario posterior, lo que refleja un gasto considerablemente más alto en la situación actual.

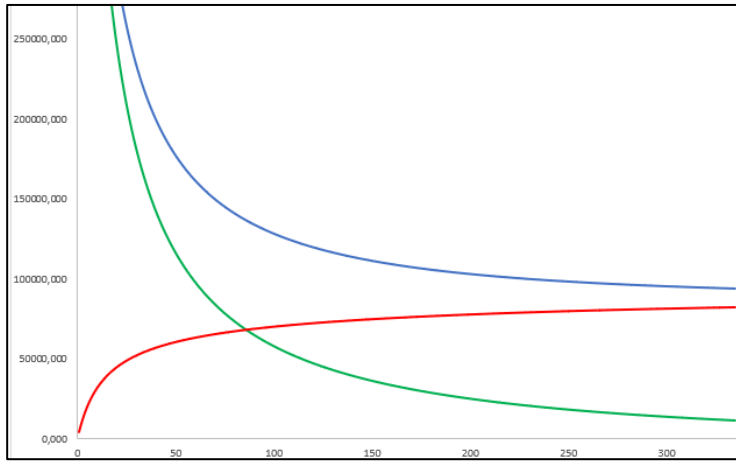


Gráfico 3: Esperanza de costos de mantenimiento antes de la renovación

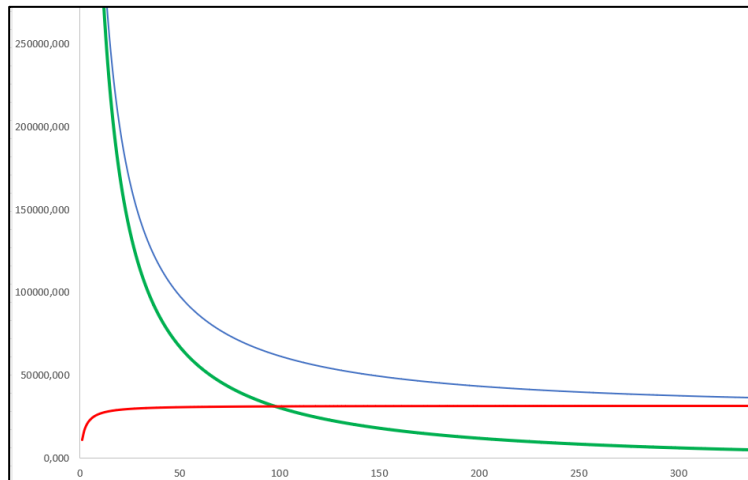


Gráfico 4: Esperanza de costos de mantenimiento post overhaul

10. RESULTADOS ESPERADOS DE LA NUEVA ESTRATEGIA.

La disponibilidad promedio del activo durante los últimos siete meses es del 62,81%. Este valor incluye un overhaul de 900 horas, mantenimientos correctivos no programados y programados de componentes excluidos del overhaul y componentes que fueron parte de la renovación, así como mantenimientos preventivos y rutinas de inspección realizadas durante las paradas de planta programadas por operaciones.

La proyección de disponibilidad - excluyendo el tiempo de detención de la renovación se incrementa al 89,77%. Este cálculo considera los meses en los cuales el activo operó de manera óptima, sin las 900 horas de renovación del componente "tubos". Además, se contempla una detención del activo de 10 a 14 horas semanales para mantenimientos preventivos programados por operaciones y mantenimientos correctivos programados de componentes excluidos de la renovación.

La disponibilidad promedio aumentó significativamente del 62,81% al 89,77% después del overhaul, lo que demuestra la efectividad de las renovaciones y mejoras implementadas. A pesar de las detenciones semanales de 10 a 14 horas, la disponibilidad se mantiene alta, lo que indica una mejora en la eficiencia de los mantenimientos preventivos y correctivos. Al excluir las 900 horas de renovación del componente "tubos", se obtiene una visión más precisa de la disponibilidad operativa del activo.

11. EVALUACIÓN CRÍTICA DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO Y SU VIAVILIDAD OPERACIONAL

El siguiente apartado analiza los elementos claves que sustentan el éxito de la estrategia de mantenimiento propuesta, los riesgos asociados a su implementación y las oportunidades de mejora en la gestión de activos críticos en contextos operacionales exigentes como el cierre de una faena minera.

11.1. FACTORES CLAVES PARA EL ÉXITO DE LA PROPUESTA

Los factores claves para alcanzar los resultados de propuesta de estrategia de mantenimiento dependen de una serie de factores técnicos, operacionales y organizacionales que deben estar alineados para alcanzar los resultados esperados. Estos elementos permiten sostener la disponibilidad del activo en un contexto desafiante como lo es la etapa final de vida útil de una faena minera.

11.1.1. Calidad y disponibilidad de datos históricos: La precisión del análisis técnico depende directamente de la calidad de los registros operacionales y de mantenimiento.

11.1.2. Integración de información de activos: Combinación de fuentes como los libros del operador y los registros de consumo de combustible es fundamental para construir una base sólida de datos.

11.1.3. Aplicación de metodologías de confiabilidad: Se utilizaron modelos como Weibull y Jack-Knife, pero si existiera buena información también podrían incorporarse otras metodologías como, por ejemplo: Análisis RAM, para evaluar el comportamiento integral del sistema o FMEA, para identificar modos de falla y sus consecuencias.

11.1.4. Enfoque diferenciado en mantenimiento: La combinación de mantenimiento predictivo para componentes renovados y preventivo para los excluidos del overhaul optimiza la disponibilidad del activo.

11.1.5. Capacidad de adaptación operativa: La flexibilidad para ajustar estrategias en función de los resultados obtenidos y del comportamiento del activo es esencial en contextos de cierre de planta.

11.1.6. Gestión de repuestos críticos: La planificación adecuada del inventario y la disponibilidad de componentes clave permiten reducir tiempos de detención y mejorar la respuesta ante fallas.

11.1.7. Uso de repuestos de calderas dadas de baja : En ausencia de stock y ante la dificultad de conseguir repuestos nuevos para activos antiguos, se ha recurrido al uso de componentes de máquinas dadas de baja. Esta práctica ha sido clave para mantener la operación, aunque presenta riesgos importantes.

11.2. RIESGOS DE NO CUMPLIR LO PROYECTADO Y ESTRATEGIAS PARA MITIGARLOS

La implementación de una estrategia de mantenimiento en activos críticos, especialmente en contextos de cierre de faena, está expuesta a múltiples riesgos que pueden comprometer los resultados esperados. Estos riesgos no solo afectan la disponibilidad operacional del activo, sino que también pueden generar impactos económicos, logísticos y de seguridad. A continuación, en la siguiente tabla, se detallan los

principales riesgos identificados en este estudio, junto con las estrategias propuestas para abordarlos de manera efectiva.

RIESGO IDENTIFICADO	DESCRIPCIÓN	ESTRATEGIA DE MITIGACIÓN
Baja disponibilidad de repuestos críticos por obsolescencia	El activo evaluado posee componentes antiguos que ya no se fabrican o no están disponibles en el mercado. Esto genera una alta dependencia de soluciones alternativas y expone la operación a detenciones prolongadas.	Recuperación de componentes: Se retiran repuestos desde calderas dadas de baja en faena. Aunque no se garantiza su funcionalidad, permite mantener la operación en casos urgentes.
Condición deteriorada de los repuestos reutilizados	Los activos en desuso se encuentran expuestos a condiciones ambientales extremas (polvo abrasivo, humedad, radiación solar), sin protección ni mantenimiento, lo que compromete la integridad de los componentes extraídos.	Evaluación técnica estructurada: Implementar protocolos de inspección visual, pruebas funcionales y validación técnica antes de instalar componentes reutilizados. Priorizar repuestos con menor exposición y mejor conservación.
Limitada información en sistemas EAM	Las plataformas de gestión de mantenimiento (MAXIMO IBM, JD Edwards) presentan registros incompletos, genéricos o mal clasificados, lo que impide aplicar metodologías avanzadas como RAM, FMEA o RCM.	Fortalecimiento del registro técnico: Estandarizar el ingreso de datos, incluir detalles de intervención, causas de falla, tiempos de detención y recursos utilizados. Capacitar al personal en el uso correcto de los sistemas EAM.
Dificultad logística para traer repuestos o coordinar visitas técnicas	La ubicación de la faena a 4.400 metros de altitud dificulta la fluidez de conseguir proveedores especializados, encarece el transporte de repuestos y limita la frecuencia de inspecciones externas.	Planificación anticipada y acuerdos logísticos: Establecer contratos marco con proveedores, mantener inventario estratégico en faena y coordinar visitas técnicas con suficiente antelación. Evaluar alternativas de transporte aéreo o terrestre según criticidad.
Falta de personal especializado en faena	La reasignación de recursos humanos a la nueva planta ha reducido la disponibilidad de técnicos capacitados en la operación actual, afectando la ejecución de mantenimientos complejos.	Capacitación interna y retención de conocimiento: Desarrollar programas de formación técnica para el personal disponible, documentar procedimientos críticos y fomentar la transferencia de experiencia entre equipos.
Desalineación entre mantenimiento y operación	Las actividades de mantenimiento no siempre se coordinan con la planificación operativa, lo que genera conflictos, detenciones no programadas y pérdida de eficiencia en la producción.	Integración operativa: Establecer canales de comunicación directa entre las áreas de mantenimiento y operación. Implementar reuniones de planificación conjunta y sistemas de programación compartida para sincronizar intervenciones.

Tabla 7: Riesgo Identificado y estrategia de mitigación

12. CONCLUSIONES

El presente estudio sobre el calentador de agua en faena minera Quebrada Blanca I demuestra la importancia de una gestión estratégica del mantenimiento basada en análisis de desempeño histórico y probabilístico, bajo un enfoque modelado en confiabilidad, especialmente en contextos operacionales exigentes como cierres de planta donde el objetivo es asegurar la disponibilidad y funcionamiento del activo. A través de un enfoque riguroso, se logró validar la efectividad de la intervención realizada al componente “tubos”, evidenciando mejoras significativas tanto en la disponibilidad operativa como en la eficiencia económica del activo.

Los objetivos planteados fueron cumplidos de manera integral. Se realizó un análisis histórico y probabilístico del desempeño del calentador, se identificaron los ítems mantenibles responsables de las detenciones, se evaluó su criticidad y se propusieron estrategias diferenciadas de mantenimiento. La implementación de mantenimiento predictivo basado en condición para los tubos, junto con mantenimiento preventivo a edad constante para los componentes críticos excluidos del overhaul, permitió optimizar la gestión del activo en su etapa final de vida útil.

Desde el punto de vista técnico, la disponibilidad promedio del activo aumentó de un 62,81% a un 89,77% al excluir las 900 horas de detención por renovación, lo que representa una mejora sustancial en la continuidad operacional. Este resultado valida la estrategia adoptada y demuestra que, incluso con detenciones semanales programadas por operaciones, el sistema mantiene una alta eficiencia operativa. En términos económicos, el análisis de costos de mantenimiento reveló una reducción significativa en el costo promedio por intervención, pasando de 21 millones a 6 millones de pesos. Esta disminución, junto con el mantenimiento del tiempo óptimo de intervención en 315 horas, confirma la estabilidad del sistema bajo las nuevas condiciones y refuerza la conveniencia financiera de la estrategia implementada.

En conjunto, el trabajo desarrollado no solo aporta evidencia técnica para la toma de decisiones, sino que también genera valor organizacional al reducir riesgos operacionales, optimizar recursos y asegurar la continuidad de procesos productivos en un escenario de cierre. La metodología aplicada puede ser replicable en otros activos en condiciones similares, consolidando una cultura de mantenimiento basada en confiabilidad y eficiencia.

ANEXO 1: LEY DE WEIBULL

La ley de Weibull (1) es ampliamente utilizada para el análisis de confiabilidad debido a que con este modelo es posible representar todo el ciclo de vida de un elemento.

Las relaciones para este modelo son:

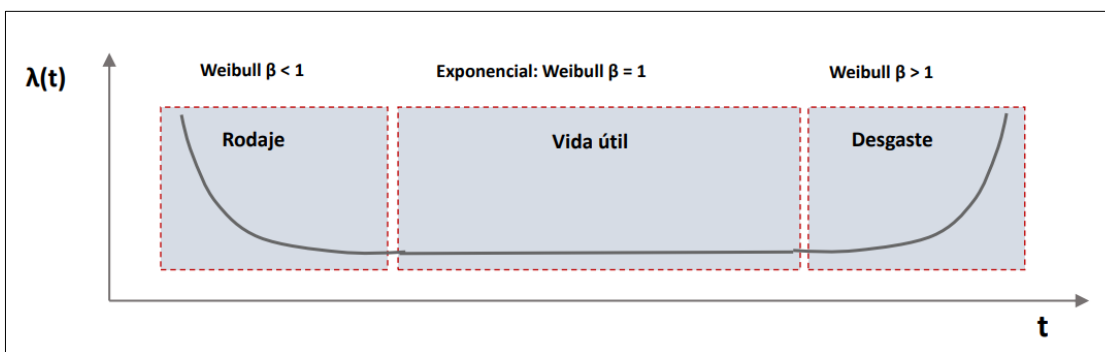
$$\begin{aligned} R(t) &= e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^\beta} & f(t) &= \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} \times e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^\beta} \\ \lambda(t) &= \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} & E(t) &= \alpha * \Gamma((\beta+1)/\beta) \quad \text{media (MTBF)} \end{aligned}$$

Relaciones para el análisis de confiabilidad

Donde:

γ : Constante de localización, expresada en las mismas unidades de t y define el punto de partida o el origen de la distribución.

α : Es la constante de escala, alargamiento de la distribución en el eje del tiempo. Cuando $t-\gamma=\alpha$ la confiabilidad es constante igual a $R(t) = 36,8\%$; esta constante representa el tiempo, medido desde γ , para el cual el 63,3% de la población puede haber tenido algún defecto, esto para cualquier valor de β . Por esta razón, α es también llamado característica de vida.



Comportamiento de la tasa de avería de los equipos durante su ciclo de vida.

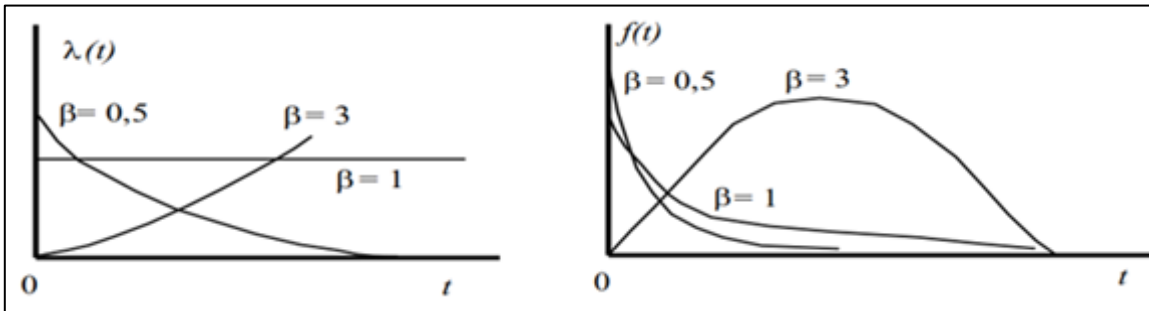
(1) Análisis Weibull. Fuente: Apuntes Ajuste de Curva MGA-18 Raúl Stegmaier – Fredy Kristjanpoller

β : Es la constante de forma; este parámetro controla la forma de la distribución.

Si: $\beta < 1$, $\lambda(t)$ es decreciente

$\beta = 1$, $\lambda(t)$ es constante

$\beta > 1$, $\lambda(t)$ es creciente



Gráficos Ley de Weibull, tasa de falla y función densidad de avería.

- **Modelo de ranking ajustado**

Desde la planilla de consumo de combustibles podemos identificar las horas de buen funcionamiento del activo y cuánto tiempo estuvo detenido. El libro de “operador de la caldera” entrega información más detallada, por ejemplo, que ítem mantenible ocasionó la detención del activo, quien ejecutó la reparación y el tiempo.

En la primera columna están los tiempos de buen funcionamiento hasta el desperfecto, ordenados en forma ascendente. En “Tipo de intervención” se detalla el componente o ítem mantenible del calentador

Tiempo de funcionamiento entre eventos [hr]	Tipo de Intervención	Ranking Global Kj	Ranking de Falla	Ranking ajustado de falla rj
1	TUBOS	1	1	1,000
2	TUBOS	2	2	2,000
2,5	TUBOS	3	3	3,000
3,5	BOMBA ALIMENTCIÓN	4		
4	FILTRACIÓN EN TAPAS	5		
4,5	TUBOS	6	4	4,071
11	SISTEMA DE SEGURIDAD DE TEMPERATURA	7		
12	TUBOS	8	5	5,184
12	TUBOS	9	6	6,297
12,5	TUBOS	10	7	7,409
13	TUBOS	11	8	8,522
17,5	SELENOIDE DE ENCENDIDO	12		
21	TUBOS	13	9	9,688
23	CALEFACTOR	14		
23	BOMBA ALIMENTCIÓN	15		
23	TUBOS	16	10	10,983
47	CALEFACTOR	17		
62	TUBOS	18	11	12,359
75	TUBOS	19	12	13,735
85,5	TUBOS	20	13	15,111
93,75	TUBOS	21	14	16,487
108,5	TUBOS	22	15	17,863
119	TUBOS	23	16	19,239
136	TUBOS	24	17	20,615
143	TUBOS	25	18	21,991
168	TUBOS	26	19	23,367
191	TUBOS	27	20	24,744
197,5	TUBOS	28	21	26,120
208,5	TUBOS	29	22	27,496
216	TUBOS	30	23	28,872
382	TUBOS	31	24	30,248
426	TUBOS	32	25	31,624

Listado de intervenciones de los componentes o elementos del activo.

De la tabla, el “Ranking global Kj: cuenta todas las intervenciones del activo con el objetivo de obtener el Kn. En este caso es 32 (Kn, ver formula 1). Luego se define el “ranking de fallas”, sólo el ítem mantenible y objeto de evaluación “Tubos”.

La última columna de tabla “Ranking ajustado de falla rj”: Depende del ranking de avería ajustado anterior. Cuenta sólo los desperfectos del ítem mantenible. Por ejemplo, la intervención 4 y 5 del Ranking Global Kj, corresponden a mantenimientos de elementos que no son parte de este estudio y se ejecuta un ajuste según formula (1). Según fórmula depende 2 veces del ranking ajustado anterior. También depende 2 veces del Kn.

$$r_j = r_{j-1} + (K_n + 1 - r_{j-1}) / (K_n + 1 - (K_j - 1))$$

Fórmula (1). Cálculo de la posición media ajustada de falla

- **Cálculo de función acumulada de falla $F(t)$ y estimación de confiabilidad**

De la tabla 1 se mantienen los datos del ítem mantenible y se eliminan las filas del resto de componentes del activo. Se calcula ahora la función acumulada de falla $F(t)$, la cual se obtiene utilizando el método de rangos promedios de la aproximación de Bernard. Esta aproximación tiene la cualidad de ajustar datos lineales en una curva exponencial.

$$F(t_j) = \frac{K_j - 0.3}{N_o + 0.4}$$

Fórmula: Rangos promedios aproximación Bernard.

Donde:

$F(t_j)$: Probabilidad de fallas acumuladas al tiempo t_j

K_j : N° de eventos (desperfecto) que han ocurrido hasta t_j

N_o : N° total de eventos

La columna de estimación de confiabilidad $R(t)$ es igual $1 - F(t)$. Esto es sólo una estimación debido a que faltan parámetros de forma por calcular y la función acumulada de avería también es una estimación. Luego calculamos las columnas de $\ln(t)$ del tiempo de funcionamiento de las fallas y el $\ln(-\ln(Rt))$ de la confiabilidad. Estas dos últimas columnas serán los ejes de nuestro gráfico de dispersión

Tiempo de funcionamiento entre eventos [hr]	Tipo de Intervención	Ranking Global Kj	Ranking de Falla	Ranking ajustado de falla rj	F(t)	R(t)	ln(t)	ln(-ln(Rt))
1	TUBOS	1	1	1,000	0,02160494	0,97839506	0	-3,82393237
2	TUBOS	2	2	2,000	0,05246914	0,94753086	0,69314718	-2,92070332
2,5	TUBOS	3	3	3,000	0,08333333	0,91666667	0,91629073	-2,4417164
4,5	TUBOS	6	4	4,071	0,11640212	0,88359788	1,5040774	-2,089466
12	TUBOS	8	5	5,184	0,15074278	0,84925722	2,48490665	-1,81159593
12	TUBOS	9	6	6,297	0,18508344	0,81491656	2,48490665	-1,58635857
12,5	TUBOS	10	7	7,409	0,21942409	0,78057591	2,52572864	-1,39544292
13	TUBOS	11	8	8,522	0,25376475	0,74623525	2,56494936	-1,22855794
21	TUBOS	13	9	9,688	0,28974068	0,71025932	3,04452244	-1,0725787
23	TUBOS	16	10	10,983	0,32971394	0,67028606	3,13549422	-0,916164
62	TUBOS	18	11	12,359	0,37218552	0,62781448	4,12713439	-0,76462048
75	TUBOS	19	12	13,735	0,4146571	0,5853429	4,31748811	-0,62444711
85,5	TUBOS	20	13	15,111	0,45712868	0,54287132	4,44851638	-0,49284987
93,75	TUBOS	21	14	16,487	0,49960027	0,50039973	4,54063166	-0,36766651
108,5	TUBOS	22	15	17,863	0,54207185	0,45792815	4,68675017	-0,24712509
119	TUBOS	23	16	19,239	0,58454343	0,41545657	4,77912349	-0,12967916
136	TUBOS	24	17	20,615	0,62701502	0,37298498	4,91265489	-0,01387875
143	TUBOS	25	18	21,991	0,6694866	0,3305134	4,96284463	0,10175127
168	TUBOS	26	19	23,367	0,71195818	0,28804182	5,12396398	0,21885405
191	TUBOS	27	20	24,744	0,75442976	0,24557024	5,25227343	0,339448
197,5	TUBOS	28	21	26,120	0,79690135	0,20309865	5,28573858	0,46628638
208,5	TUBOS	29	22	27,496	0,83937293	0,16062707	5,33993904	0,60358889
216	TUBOS	30	23	28,872	0,88184451	0,11815549	5,37527841	0,75881966
382	TUBOS	31	24	30,248	0,92431609	0,07568391	5,94542061	0,94825043
426	TUBOS	32	25	31,624	0,96678768	0,03321232	6,05443935	1,22519627

Tabla: Se eliminan filas que no corresponden al ítem mantenible. Se agregan columnas F(t), R(t), ln(t) y ln(-ln(Rt)).

- **Gráfico de dispersión**

En la etapa de gráfico el eje “x” es $ln(t)$ del tiempo de funcionamiento. El eje “y” corresponde a la columna $ln(-ln(Rt))$. También agregamos una línea de tendencia, donde presenta la ecuación de la recta y el R2.

La pendiente de la recta “b” corresponde al parámetro de forma $\beta = 1,1069$. Esto indica que el elemento tiene una tasa de avería relativamente creciente.

El R2 de un 96% indica que es aceptable el procedimiento de ajuste de curva debido a que se ha evaluado sólo un ítem mantenible. Cuando el R2 es bajo, el proceso de ajuste de curva no es exitoso, por ejemplo, pueden ser problemas de información o ajuste de distintos comportamientos.

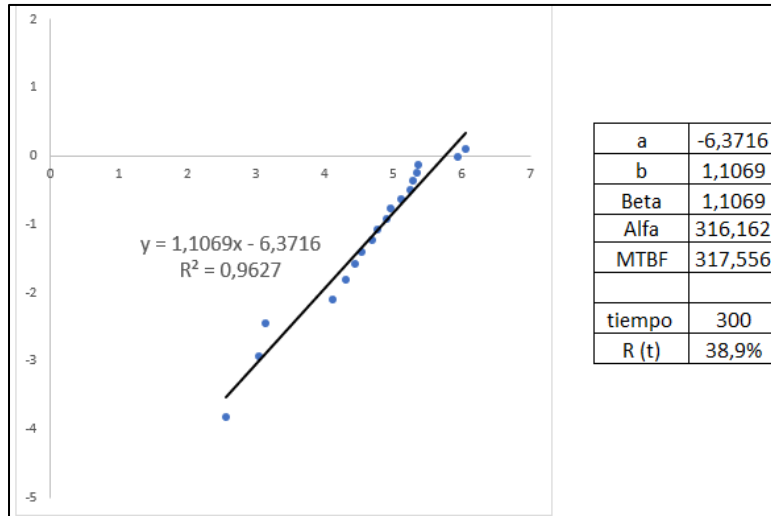


Imagen: Gráfico de dispersión

- **Cálculo de “ α ” y MTBF**

El siguiente es el cálculo del parámetro de magnitud de la distribución Weibull alfa “ α ” y el MTBF se da por la siguiente relación.

$$y = a + bx \qquad a = -\beta \ln(\alpha)$$

$$MTBF = \alpha * \tau ((\beta + 1) / \beta) \qquad \alpha = \exp(-a / \beta)$$

Imagen: Relación para cálculo de alfa y MTBF

Donde:

a: constante de ecuación de la recta.

b: pendiente de la recta

β : parámetro de forma

α : parámetro de magnitud

ANEXO 2: MANTENIMIENTO PREDICTIVO BASADO EN CONDICIÓN

Dentro de las políticas de mantenimiento, es de gran utilidad el mantenimiento predictivo o sintomático. Ello consiste en poder adelantarse a las posibles fallas, realizando de esta forma intervenciones con la ventaja de la programación de la actividad. Esta política se sustenta en la idea de aprovechar el componente hasta que dé señales de estar próximo a fallar. De esta forma se aprovecha el elemento en prácticamente toda su vida útil y se evita las consecuencias de las detenciones de emergencia. La forma de adelanto a las posibles fallas debe ser encontrando síntomas que se anticipen a éstas. Los síntomas pueden ser descubiertos, ya sea por un plan de inspección planificado o bien por el mismo operario que siente algún tipo de anomalías, tal como vibraciones, sobrecalentamiento, etcétera. (1)

Implementación de tecnologías de monitoreo de condición:

En QB 1, existía esta política para los activos críticos, pero los recursos humanos y tecnológicos fueron destinados para la nueva planta. Se debe retomar esta estrategia y realizar análisis de vibraciones, termografía, monitoreo de lubricantes, sensores de temperatura y presión permitirá identificar primeras señales de desviaciones, anticipando posibles cambios en la tendencia de fallas. Mantener rutinas de mantenimiento de instrumentación del activo.

Análisis de Datos en Tiempo Real: Se debe realizar una mejora en el uso de plataformas EAM, ingresar cada activo con su descripción técnica, incorporar manuales, mantenimientos preventivos, pautas de mantenimiento etc. Especificar y detallar los trabajos ejecutados en los activos, ingresar también los datos como tiempo de detención y especificar qué actividad se ejecutó, mano de obra, tiempo de buen. Establecer los indicadores de mantenimiento como disponibilidad y confiabilidad, desarrollar un nuevo análisis con más información y evaluar si el overhaul mantiene una tasa de avería estable

Gestión y Planificación de Repuestos Críticos: Inventario Estratégico: Asegurar que los repuestos críticos, identificados a través de análisis de criticidad, estén siempre disponibles para intervenciones rápidas.

(1) *Mantenimiento predictivo basado en condición. Fuente: Estrategias de mantenimiento Apuntes complementario MGA-18. Adolfo Arata, Raúl Stegmaier, Fredy Kristjanpoller*

ANEXO 3: INSPECCIÓN ÓPTIMA DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN

Este modelo (1) se caracteriza por determinar la cantidad óptima de inspecciones que se le deben hacer a un componente, de acuerdo con su criticidad (c), el tiempo que se debe detener para inspeccionarlo (T_i) y el tiempo que el equipo se mantiene detenido ante una falla (T_b).

En este sentido se puede definir el TDT, tiempo total de indisponibilidad por unidad de tiempo para un elemento, de la siguiente manera:

$$\text{TDT} = yT_i + \frac{cT_b}{y}$$

Fórmula tiempo total de indisponibilidad por unidad de tiempo.

En donde:

TDT: Tiempo total de indisponibilidad por unidad de tiempo para el elemento.

T_i : Tiempo de indisponibilidad por inspección del elemento

T_b : Tiempo de indisponibilidad por falla del elemento

c: Constante de criticidad. Se evalúa de 1 a 5 (menor criticidad a mayor criticidad)

y: Número de inspecciones por unidad de tiempo para el elemento.

Al optimizar la función objetivo TDT y despejar la cantidad de inspecciones, se obtiene que:

$$y^* = \left(\frac{cT_b}{T_i} \right)^{1/2}$$

Fórmula optimizada tiempo total de indisponibilidad

(1) *Mantenimiento predictivo basado en condición. Fuente: Estrategias de mantenimiento Apuntes complementario MGA-18. Adolfo Arata, Raúl Stegmaier, Fredy Kristjanpoller*

Este y^* indicará la cantidad de intervenciones que se le deben realizar al elemento para aplicar un mantenimiento preventivo. Por lo general este y^* es medido como número de intervenciones / mes

Cálculo de intervenciones óptimas

La cantidad de inspecciones óptimas que se le deben realizar al ítem mantenible del activo está dada por la fórmula optimizada, según imagen 20.

Donde:

Ti: Tiempo de indisponibilidad por inspección del elemento. La inspección se realizará sin detener el activo, se usará monitoreo por condición y se estima un máximo de 5 horas por inspección

Tb: Tiempo de indisponibilidad por falla del elemento, esto corresponde al promedio de reparación por falla del elemento el cual es de 35 HH

c: Constante de criticidad. La falla del elemento genera detención del activo el cual es crítico 5.

y: Número de inspecciones por mes es 13.

ANEXO 4: MANTENIMIENTO CORRECTIVO 1000 HORAS DE CALDERA

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	% completado	Duración	Comienzo
1		Mantenión Calentador N°1	51%	990 horas	lun 05-06-23 7:00
2		Preparativos	100%	9 horas	lun 05-06-23 7:00
3		Detención de calentador día anterior	100%	1 hora	lun 05-06-23 7:00
4		Charla de inicio de turno	100%	1 hora	lun 05-06-23 8:00
5		Lectura y revisión de procedimiento de cambio de tubos	100%	1 hora	lun 05-06-23 9:00
6		Bloqueo de equipo	100%	1 hora	lun 05-06-23 10:00
7		Traslado de tubos Curvos	100%	1 hora	lun 05-06-23 11:00
8		Traslado de tubos Rectos	100%	1 hora	lun 05-06-23 12:00
9		Traslado de herramientas	100%	1 hora	lun 05-06-23 14:00
10		Puesta en Marcha de compresor	100%	1 hora	lun 05-06-23 15:00
11		Instalación de mangueras y herramientas de torchado	100%	1 hora	lun 05-06-23 16:00
12		Trabajo Cambio de Tubos Curvos	29%	165 horas	lun 05-06-23 17:00
13		Retiro de gabilla cámara de Humo	100%	2 horas	lun 05-06-23 17:00
14		Retiro de cemento refractario interior del hogar	100%	9 horas	mar 06-06-23 7:00
15		Retiro de planchas de revestimiento calentador parte trasera	100%	6 horas	mar 06-06-23 17:00
16		Retiro de aislación de calentador parte trasera	100%	3 horas	mié 07-06-23 11:00
17		Retiro de pletinas entre tubos	50%	9 horas	mié 07-06-23 15:00
18		Retiro de tubos curvos Total 12 (van 6)	50%	24 horas	jue 08-06-23 12:00
19		Limpieza de manifold (esmerilado)	0%	4 horas	sáb 10-06-23 15:00
20		Instalación y soldadura de tubo curvo Total 12 (van 6)	50%	24 horas	sáb 10-06-23 7:00
21		Instalación de pletinas	0%	27 horas	mar 13-06-23 9:00
22		Instalación de ganchos en pletinas para adherencia de cemento refractario	0%	18 horas	jue 15-06-23 15:00
23		Aplicación de cemento refractario entre tubos rectos	0%	18 horas	sáb 17-06-23 10:00
24		Instalación de aislación termina	0%	5 horas	dom 18-06-23 18:00

Proyecto: Programa Cambio de Fecha: mar 20-06-23 13:55

Tarea	Resumen inactivo	Tareas externas
División	Tarea manual	Hito externo
Hito	solo duración	Fecha limite
Resumen	Informe de resumen manual	Progreso
Resumen del proyecto	Resumen manual	Progreso manual
Tarea inactiva	solo el comienzo	
Hito inactivo	solo fin	

Página 1

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	% completado	Duración	Comienzo
25		Instalación de planchas de revestimiento calentador parte trasera	0%	6 horas	lun 19-06-23 11:00
26		Aseo al interior del hogar	0%	4 horas	lun 19-06-23 18:00
27		Cambio de empaquetadura de escotilla de acceso e instalación de escotilla	0%	1 hora	mar 20-06-23 10:00
28		Housekeeping	0%	5 horas	mar 20-06-23 11:00
29		Trabajos Cambio de tubos rectos	54%	508 horas	mar 06-06-23 13:00
30		Retiro de tapas Frontales	100%	1 hora	jue 08-06-23 9:00
31		Instalacion de mantas ignifugas sector tapas frontales	100%	1 hora	jue 08-06-23 10:00
32		Apertura de tapas Traseras	100%	1 hora	jue 08-06-23 11:00
33		Instalacion de mantas ignifugas sector tapas frontales	100%	1 hora	jue 08-06-23 12:00
34		Retiro de tapa de escotilla	100%	1 hora	jue 08-06-23 14:00
35		Torchado de soldadura tubos rectos delanteros DIA (quemador) 186 Total (van 104)	56%	156 horas	mar 06-06-23 15:00
36		Torchado de soldadura tubos rectos traseros DIA(camara de Humo) 186 Total (van 105)	56%	154 horas	mar 06-06-23 13:00
37		Retiro de ventilador	100%	10 horas	jue 08-06-23 15:00
38		Retiro de 186 tubos Rectos (van 104)	56%	221 horas	jue 08-06-23 14:00
39		Limpieza de manto post torchado	54%	17 horas	lun 19-06-23 11:00
40		Dimensionar corte de tubos rectos 186 total (van 124)	67%	5 horas	mar 29-08-23 16:00
41		Instalacion de tubos nuevos 186 total (van 104)	56%	235,35 horas	mar 06-06-23 16:00
42		Soldadura de tubos nuevos delanteros (quemador) Total 186 (Van 104)	56%	243 horas	mar 06-06-23 17:00
43		Soldadura de tubos nuevos traseros (camara de Humo) Total 186 (Van 104)	56%	243 horas	mar 06-06-23 18:00
44		Cambio de platina, instalacion de lana de vidrio y revestimiento	0%	18 horas	vie 30-06-23 7:00
45		Limpieza de tubos no cambiados	0%	18 horas	vie 30-06-23 7:00
46		Cambio de pernos en mal estado de sujecion de tapas delanteras (pernos soldados)	0%	8 horas	sáb 01-07-23 15:00
47		Cambio de pernos en mal estado de sujecion de tapas traseras (pernos pasados)	0%	8 horas	dom 02-07-23 9:00
48		Cambio de empaquetaduras de tapas	0%	2 horas	dom 02-07-23 11:00

Proyecto: Programa Cambio de Fecha: mar 20-06-23 13:55

Tarea	Resumen inactivo	Tareas externas
División	Tarea manual	Hito externo
Hito	solo duración	Fecha limite
Resumen	Informe de resumen manual	Progreso
Resumen del proyecto	Resumen manual	Progreso manual
Tarea inactiva	solo el comienzo	
Hito inactivo	solo fin	

ANEXO 5: IMAGEN MANTENIMIENTO CORRECTIVO 1000 HORAS DE CALDERA



ANEXO 6: IMAGEN TABLAS CONSUMO COMBUSTIBLE ACTIVO ENERO / FEBRERO 2023

Fecha	Dia	Calentador N° 1 - PLANTA									
		FUEL OIL #6					DIESEL				
		Real (kg/dia)	Horas Operativas	Cons. Eq. (kg/Hrs)	Forecast (kg/dia)	Budget (kg/dia)	Real (LITROS/dia)	Horas Operativas	Cons. Eq. (kg/Hrs)	Forecast (kg/dia)	Budget (kg/dia)
01-01-2023	1	10672	24	445	#!REF!	#!REF!	0	0	0	#!REF!	#!REF!
02-01-2023	2	10771	24	449			0	0	0		
03-01-2023	3	10610	24	442			0	0	0		
04-01-2023	4	11127	24	464			0	0	0		
05-01-2023	5	10746	24	448			0	0	0		
06-01-2023	6	10716	24	447			0	0	0		
07-01-2023	7	10835	24	451			0	0	0		
08-01-2023	8	9056	21,75	416			0	0	0		
09-01-2023	9	10829	24	451			0	0	0		
10-01-2023	10	11099	24	462			0	0	0		
11-01-2023	11	11015	24	459			0	0	0		
12-01-2023	12	10435	21	497			0	0	0		
13-01-2023	13	4405	12,5	352			0	0	0		
14-01-2023	14	11060	24	461			0	0	0		
15-01-2023	15	10355	24	431			0	0	0		
16-01-2023	16	11571	24	482			0	0	0		
17-01-2023	17	11607	24	484			0	0	0		
18-01-2023	18	10573	23	460			0	0	0		
19-01-2023	19	10500	24	438			0	0	0		
20-01-2023	20	10297	24	429			0	0	0		
21-01-2023	21	11674	24	486			0	0	0		
22-01-2023	22	10480	24	437			0	0	0		
23-01-2023	23	10164	24	424			0	0	0		
24-01-2023	24	10268	23	446			0	0	0		
25-01-2023	25	12000	24	500			0	0	0		
26-01-2023	26	10798	24	450			0	0	0		
27-01-2023	27	10387	24	433			0	0	0		
28-01-2023	28	10344	24	431			0	0	0		
29-01-2023	29	4844	12,5	388			0	0	0		
30-01-2023	30	5652	12	471			7385	12	615		
31-01-2023	31	2414	2,5	966			5164	5	1033		
TOTAL MES		307.304	680,25	452	#!REF!	#!REF!	12.549	17	738	#!REF!	#!REF!

Fecha	Dia	Calentador N° 1 - PLANTA									
		FUEL OIL #6					DIESEL				
		Real (kg/dia)	Horas Operativas	Cons. Eq. (kg/Hrs)	Forecast (kg/dia)	Budget (kg/dia)	Real (LITROS/dia)	Horas Operativas	Cons. Eq. (kg/Hrs)	Forecast (kg/dia)	Budget (kg/dia)
01-02-2023	1	0	0	0	#N/D	#N/D	0	0	0	#N/D	#N/D
02-02-2023	2	0	0	0			0	0	0		
03-02-2023	3	0	0	0			0	0	0		
04-02-2023	4	0	0	0			0	0	0		
05-02-2023	5	0	0	0			0	0	0		
06-02-2023	6	0	0	0			0	0	0		
07-02-2023	7	0	0	0			8699	19	458		
08-02-2023	8	0	0	0			7054	19,5	362		
09-02-2023	9	1569	1	1569			6612	17	389		
10-02-2023	10	0	0	0			5541	9,5	583		
11-02-2023	11	8193	13	630			915	2	458		
12-02-2023	12	1399	2	700			11056	14,5	762		
13-02-2023	13	0	0	0			0	0	0		
14-02-2023	14	0	0	0			0	0	0		
15-02-2023	15	0	0	0			0	0	0		
16-02-2023	16	0	0	0			0	0	0		
17-02-2023	17	0	0	0			0	0	0		
18-02-2023	18	0	0	0			5680	9,5	598		
19-02-2023	19	0	0	0			0	0	0		
20-02-2023	20	0	0	0			1855	5,5	337		
21-02-2023	21	0	0	0			10384	24	433		
22-02-2023	22	16437	16,5	996			3148	7,5	420		
23-02-2023	23	10311	24	430			0	0	0		
24-02-2023	24	11371	24	474			0	0	0		
25-02-2023	25	11517	24	480			0	0	0		
26-02-2023	26	11414	24	476			0	0	0		
27-02-2023	27	11320	24	472			0	0	0		
28-02-2023	28	10855	24	452			0	0	0		
TOTAL MES		94.386	176,50	535	#N/D	#N/D	60.944	128	476	#N/D	#N/D

ANEXO 7: IMAGEN TABLA CONSUMO COMBUSTIBLE ACTIVO MARZO / ABRIL 2023

Fecha	Dia	Calentador N° 1 - PLANTA									
		FUEL OIL #6				DIESEL					
		Real (kg/dia)	Horas Operativas	Cons. Eq. (kg/Hrs)	Forecast (kg/dia)	Budget (kg/dia)	Real (LITROS/dia)	Horas Operativas	Cons. Eq. (kg/Hrs)	Forecast (kg/dia)	Budget (kg/dia)
01-03-2023	1	13079	24	545	#N/D	#N/D	0	0	0	#N/D	#N/D
02-03-2023	2	11984	24	499			0	0	0		
03-03-2023	3	8814	18	490			4886	6	814		
04-03-2023	4	11028	24	460			0	0	0		
05-03-2023	5	10082	24	420			0	0	0		
06-03-2023	6	9311	24	388			0	0	0		
07-03-2023	7	9421	24	393			0	0	0		
08-03-2023	8	11279	24	470			0	0	0		
09-03-2023	9	12076	24	503			0	0	0		
10-03-2023	10	12404	24	517			0	0	0		
11-03-2023	11	12593	24	525			0	0	0		
12-03-2023	12	12542	24	523			0	0	0		
13-03-2023	13	12532	24	522			0	0	0		
14-03-2023	14	12497	24	521			0	0	0		
15-03-2023	15	12847	24	535			0	0	0		
16-03-2023	16	12758	24	532			0	0	0		
17-03-2023	17	12699	24	529			0	0	0		
18-03-2023	18	12814	24	534			0	0	0		
19-03-2023	19	12804	24	534			0	0	0		
20-03-2023	20	12722	24	530			0	0	0		
21-03-2023	21	10818	23	470			0	0	0		
22-03-2023	22	13069	24	545			0	0	0		
23-03-2023	23	12627	24	526			0	0	0		
24-03-2023	24	12801	24	533			0	0	0		
25-03-2023	25	12843	24	535			0	0	0		
26-03-2023	26	12421	24	518			0	0	0		
27-03-2023	27	12450	24	519			0	0	0		
28-03-2023	28	12701	24	529			0	0	0		
29-03-2023	29	12277	23	534			0	0	0		
30-03-2023	30	12277	23	534			0	0	0		
31-03-2023	31	14698	24	612			0	0	0		
TOTAL MES		375.268	735,00	511	#N/D	#N/D	4.886	6	814	#N/D	#N/D

Fecha	Dia	Calentador N° 1 - PLANTA									
		FUEL OIL #6				DIESEL					
		Real (kg/dia)	Horas Operativas	Cons. Eq. (kg/Hrs)	Forecast (kg/dia)	Budget (kg/dia)	Real (LITROS/dia)	Horas Operativas	Cons. Eq. (kg/Hrs)	Forecast (kg/dia)	Budget (kg/dia)
01-04-2023	1	14670	23	635	#N/D	#N/D	0	0	0	#N/D	#N/D
02-04-2023	2	3360	3,5	960			8447	17	497		
03-04-2023	3	10003	22	455			1477	1,5	985		
04-04-2023	4	12173	24	507			0	0	0		
05-04-2023	5	12381	24	516			0	0	0		
06-04-2023	6	12825	24	534			0	0	0		
07-04-2023	7	12903	24	538			0	0	0		
08-04-2023	8	12441	24	518			0	0	0		
09-04-2023	9	13319	24	555			0	0	0		
10-04-2023	10	12793	24	533			0	0	0		
11-04-2023	11	12790	24	533			0	0	0		
12-04-2023	12	13137	24	547			0	0	0		
13-04-2023	13	12913	24	538			0	0	0		
14-04-2023	14	12843	24	535			0	0	0		
15-04-2023	15	12863	24	536			0	0	0		
16-04-2023	16	13273	24	553			0	0	0		
17-04-2023	17	13066	24	544			0	0	0		
18-04-2023	18	12327	24	514			0	0	0		
19-04-2023	19	13046	23	567			0	0	0		
20-04-2023	20	6799	4	1700			2197	6	366		
21-04-2023	21	0	0	0			0	0	0		
22-04-2023	22	11372	16	711			0	0	0		
23-04-2023	23	12093	24	504			0	0	0		
24-04-2023	24	12519	24	522			0	0	0		
25-04-2023	25	13022	24	543			0	0	0		
26-04-2023	26	12488	24	520			0	0	0		
27-04-2023	27	12238	24	510			0	0	0		
28-04-2023	28	5552	11	505			0	0	0		
29-04-2023	29	6249	14	446			0	0	0		
30-04-2023	30	11094	24	462			0	0	0		
TOTAL MES		336.489	620,50	542	#N/D	#N/D	12.121	25	495	#N/D	#N/D

ANEXO 8: IMAGEN TABLA CONSUMO COMBUSTIBLE ACTIVO MAYO/JUNIO 2023

		Calentador N° 1 - PLANTA									
Fecha	Dia	FUEL OIL #6					DIESEL				
		Real (kg/dia)	Horas Operativas	Cons. Eq. (kg/Hrs)	Forecast (kg/dia)	Budget (kg/dia)	Real (LITROS/dia)	Horas Operativas	Cons. Eq. (kg/Hrs)	Forecast (kg/dia)	Budget (kg/dia)
01-05-2023	1	11222	24	468	#N/D	#N/D	0	0	0	#N/D	#N/D
02-05-2023	2	6250	17,5	357			1621	3	540		
03-05-2023	3	10990	24	458			0	0	0		
04-05-2023	4	11723	24	488			0	0	0		
05-05-2023	5	11780	24	491			0	0	0		
06-05-2023	6	12029	24	501			0	0	0		
07-05-2023	7	11843	24	493			0	0	0		
08-05-2023	8	10664	24	444			0	0	0		
09-05-2023	9	12294	24	512			0	0	0		
10-05-2023	10	14033	24	585			0	0	0		
11-05-2023	11	13625	24	568			0	0	0		
12-05-2023	12	10735	19,5	551			2151	4,5	478		
13-05-2023	13	14047	24	585			0	0	0		
14-05-2023	14	13966	24	582			0	0	0		
15-05-2023	15	11611	18	645			1465	5,5	0		
16-05-2023	16	0	0	0			10474	12	873		
17-05-2023	17	5164	13,5	383			0	0	0		
18-05-2023	18	10509	24	438			0	0	0		
19-05-2023	19	10856	24	452			0	0	0		
20-05-2023	20	11014	24	459			0	0	0		
21-05-2023	21	10935	24	456			0	0	0		
22-05-2023	22	10970	24	457			0	0	0		
23-05-2023	23	11744	24	489			0	0	0		
24-05-2023	24	10540	24	439			0	0	0		
25-05-2023	25	8217	15,5	530			0	0	0		
26-05-2023	26	0	0	0			0	0	0		
27-05-2023	27	5999	15	400			0	0	0		
28-05-2023	28	10756	24	448			0	0	0		
29-05-2023	29	10816	24	451			0	0	0		
30-05-2023	30	6328	12	527			0	0	0		
31-05-2023	31	0	0	0			0	0	0		
TOTAL MES		300.660	615,00	489	#N/D	#N/D	15.711	25	628	#N/D	#N/D

		Calentador N° 1 - PLANTA									
Fecha	Dia	FUEL OIL #6					DIESEL				
		Real (kg/dia)	Horas Operativas	Cons. Eq. (kg/Hrs)	Forecast (kg/dia)	Budget (kg/dia)	Real (LITROS/dia)	Horas Operativas	Cons. Eq. (kg/Hrs)	Forecast (kg/dia)	Budget (kg/dia)
01-06-2023	1	4785	12	399	#N/D	#N/D	0	0	0	#N/D	#N/D
02-06-2023	2	3142	4,5	698			0	0	0		
03-06-2023	3	0	0	0			0	0	0		
04-06-2023	4	0	0	0			0	0	0		
05-06-2023	5	0	0	0			0	0	0		
06-06-2023	6	0	0	0			0	0	0		
07-06-2023	7	0	0	0			0	0	0		
08-06-2023	8	0	0	0			0	0	0		
09-06-2023	9	0	0	0			0	0	0		
10-06-2023	10	0	0	0			0	0	0		
11-06-2023	11	0	0	0			0	0	0		
12-06-2023	12	0	0	0			0	0	0		
13-06-2023	13	0	0	0			0	0	0		
14-06-2023	14	0	0	0			0	0	0		
15-06-2023	15	0	0	0			0	0	0		
16-06-2023	16	0	0	0			0	0	0		
17-06-2023	17	0	0	0			0	0	0		
18-06-2023	18	0	0	0			0	0	0		
19-06-2023	19	0	0	0			0	0	0		
20-06-2023	20	0	0	0			0	0	0		
21-06-2023	21	0	0	0			0	0	0		
22-06-2023	22	0	0	0			0	0	0		
23-06-2023	23	0	0	0			0	0	0		
24-06-2023	24	0	0	0			0	0	0		
25-06-2023	25	0	0	0			0	0	0		
26-06-2023	26	0	0	0			0	0	0		
27-06-2023	27	0	0	0			0	0	0		
28-06-2023	28	0	0	0			0	0	0		
29-06-2023	29	0	0	0			0	0	0		
30-06-2023	30	0	0	0			0	0	0		
TOTAL MES		7.927	16,50	480	#N/D	#N/D	-	-	#iDIV/0!	#N/D	#N/D

ANEXO 9: IMAGEN TABLA CONSUMO COMBUSTIBLE ACTIVO JULIO 2023

Fecha	Dia	Calentador N° 1 - PLANTA									
		FUEL OIL #6					DIESEL				
		Real (kg/dia)	Horas Operativas	Cons. Eq. (kg/Hrs)	Forecast (kg/dia)	Budget (kg/dia)	Real (LITROS/dia)	Horas Operativas	Cons. Eq. (kg/Hrs)	Forecast (kg/dia)	Budget (kg/dia)
01-07-2023	1	0	0	0	#N/D	#N/D	0	0	0	#N/D	#N/D
02-07-2023	2	0	0	0			0	0	0		
03-07-2023	3	0	0	0			0	0	0		
04-07-2023	4	0	0	0			0	0	0		
05-07-2023	5	0	0	0			0	0	0		
06-07-2023	6	0	0	0			0	0	0		
07-07-2023	7	0	0	0			2628	8,5	309		
08-07-2023	8	0	0	0			3781	12	315		
09-07-2023	9	0	0	0			3186	12	266		
10-07-2023	10	4860	12	405			6854	12	571		
11-07-2023	11	11039	24	460			0	0	0		
12-07-2023	12	10260	24	428			0	0	0		
13-07-2023	13	10480	24	437			0	0	0		
14-07-2023	14	9639	24	402			0	0	0		
15-07-2023	15	10295	24	429			0	0	0		
16-07-2023	16	11837	24	493			0	0	0		
17-07-2023	17	8629	20,5	421			0	0	0		
18-07-2023	18	0	0	0			0	0	0		
19-07-2023	19	0	0	0			0	0	0		
20-07-2023	20	4259	13	328			0	0	0		
21-07-2023	21	6460	24	269			0	0	0		
22-07-2023	22	9622	24	401			0	0	0		
23-07-2023	23	6377	23	277			0	0	0		
24-07-2023	24	3452	12	288			3087	12	257		
25-07-2023	25	4027	12	336			3382	12	282		
26-07-2023	26	10117	24	422			0	0	0		
27-07-2023	27	10781	18	599			0	0	0		
28-07-2023	28	0	0	0			0	0	0		
29-07-2023	29	6468	15	431			0	0	0		
30-07-2023	30	12147	23	528			0	0	0		
31-07-2023	31	11724	23	510			0	0	0		
TOTAL MES		162.473	387,50	419	#N/D	#N/D	22.918	69	335	#N/D	#N/D

ANEXO 10: IMAGEN TABLA RESUMEN LIBRO OPERADOR

HH	DETENCIÓN	COMPONENTE	FECHA	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDAD
2		TUBOS	02-02-2023	Se realiza reparación de 1 tubo roto del calentador
72		TUBOS	15-2 al 18-02	Empresa sella 7 tubos del sistema ignotubular y soldaron 3 tubos al sistema agua tubular
2		TUBOS	20-02-2023	Se reparan 2 tubos agua tubular
1		PROBLEMA CON CALEFACTOR	29-03-2023	01:30 a 2:30 Cae calentador por baja de T° de combustible, se llama eléctricos reponen automático de precalentadores
1		PROBLEMA CON CALEFACTOR	30-03-2023	15:30 a 16:30 Cae calentador por baja de T° de combustible, se llama eléctricos reponen automático de precalentadores
2		PROBLEMA CON CALEFACTOR	02-04-2023	Problema de bombas de alimentación de aguaN°3 se corta correa, queda trabajando con bomba N°2; Problema con calefactor eléctrico de combustible, se autoriza a trabajar con petróleo Diesel
20,5		ALIMENTACIÓN DE AGUA BOMBA 3	02-04-2023	Problema de bombas de alimentación de aguaN°3 se corta correa, queda trabajando con bomba N°2; Problema con calefactor eléctrico de combustible, se autoriza a trabajar con petróleo Diesel
2		ALIMENTACIÓN DE AGUA BOMBA 3	03-04-2023	Se ejecuta reparación de correa de bomba N°3
12		TUBOS	20-04-2023	16:00 Rotura de tubos, equipo bloqueado
12		FILTRACIONES EN TAPAS	21-04-2023	01:00 am Se corre calentador con petróleo Diesel pero a los 10 min de operar se deja F/S por filtración de agua por tapa trasera y delanteras
		TUBOS	21-04-2023	15:00 Se pone en servicio, se realiza la reparación de 2 tubos
1		SISTEMA SEGURIDAD TEMPERATURA	28-04-2023	de 12 a 13 hrs. Se detiene calentador por aumento de temperatura en sistema
activo detenido		TUBOS	28-04-2023	17:30 Se detiene calentador por aumento de temperatura y rotura de tubos, se entrega activo fuera de servicio
activo detenido		TUBOS	28-04-2023	17:30 Se detiene calentador por aumento de temperatura y rotura de tubos, se entrega activo fuera de servicio
24		TUBOS	29-04-2023	Activo detenido. Se ejecuta reparación de 1 tubo de sistema ignotubular. Equipo parte a las 17:00 con búnker
3,5		SELENOIDE DE ENCENDIDO	02-05-2023	11:00 hrs. Se detiene calentador por mono (grumo de petróleo) en el hogar, se bota mono...equipo presenta problema en el encendido. Personal eléctrico cheque falla en solenoide que da paso a gas. 14:30 se pasa activo con petróleo Diesel
3,5		SELENOIDE DE ENCENDIDO	12-05-2023	Se detiene calentador por mono (grumo de petróleo) en el hogar, se bota mono
activo detenido		TUBOS	16-05-2023	Se deja fuera de servicio por rotura de tubos TDF con bloqueo departamental eléctrico
24		TUBOS	17-05-2023	17:30 Se repara 2 tubos
activo detenido		TUBOS	25-05-2023	22:30 hrs, se detiene equipo por rotura de tubos
activo detenido		TUBOS	26-05-2023	Se ejecuta reparación de tubos rotos
activo detenido		TUBOS	27-05-2023	07:00 Se recibe turno con activo fuera de servicio por reparación de tubos
40		TUBOS	27-05-2023	16:00 Se pone en servicio con búnker
activo detenido		TUBOS	30-05-2023	19:00 hrs. Se detiene calentador por rotura de tubos
activo detenido			31-05-2023	Proveedor comienza con reparación, se realiza retiro de tapa delantera y tapa trasera
24		TUBOS	01-06-2023	Se repara calentador, se tapa un tubo horizontal.
activo detenido		TUBOS	02-06-2023	rotura de tubos
888		TUBOS	09-07-2023	
4		SISTEMA SEGURIDAD TEMPERATURA	06-07-2023	Se ejecuta reparación sensor de parada 80° y partida 73° del calentador N°1 y se instala baliza sistema de seguridad de temperatura cuando llegue a 80% se activa alarma
4		SELENOIDE DE ENCENDIDO	18-07-2023	Se recibe turno con calentador con problemas encendido. Problema de servo motor de encendido. Era sensor de velocidad de ventilador
activo detenido		SELENOIDE DE ENCENDIDO	19-07-2023	Se recibe el turno con calentador fuera de servicio por problemas eléctricos/ se entrega turno fuera de servicio
4		VALVULA REGULADORA DE COMBUSTIBLE	20-07-2023	falla en sensor de velocidad del motor ventilador. Se ejecuta reparación en válvula reguladora de combustible
3		SELENOIDE DE ENCENDIDO	10-07-2023	Se detiene calentador se realiza cambio solenoide que da paso a gas. Se realiza limpieza de chispero/ 14:30 a 17:30
		TUBOS	01-07-2023	cambio de tubos desde el mes de junio
		TUBOS	02-07-2023	cambio de tubos desde el mes de junio
		TUBOS	03-07-2023	cambio de tubos desde el mes de junio
		TUBOS	04-07-2023	cambio de tubos desde el mes de junio
		TUBOS	05-07-2023	cambio de tubos desde el mes de junio
		TUBOS	06-07-2023	cambio de tubos desde el mes de junio
		TUBOS	07-07-2023	cambio de tubos desde el mes de junio
		TUBOS	08-07-2023	cambio de tubos desde el mes de junio
		TUBOS	09-07-2023	cambio de tubos desde el mes de junio
21		FUGA DE GASES	28-07-2023	Reparación fuga de gases caliente parte trasera, se adicionan aditivos quimicos/ cemento refractario opero 3 horas
			29-07-2023	opero 12 hrs por falla arrastre día anterior

ANEXO 11: CALDERA PLANTA

MINISTERIO DE SALUD
Servicio de Salud
Depto. de Programa sobre el Ambiente

**CERTIFICADOS DE REVISIONES Y PRUEBAS DE CALDERAS
GENERADORES DE VAPOR Y AUTOCLAVE**
Art. 41° del D.S. N°48 de 1984
DEL MINISTERIO DE SALUD

1. INDIVIDUALIZACIÓN DEL PROPIETARIO Y DEL EQUIPO

Propietario o representante legal: **CIA. MINERA QUEBRADA BLANCA S.A** Fono: **421838**
Ubicación del equipo: **Quebrada Blanca 5/N°** Comuna: **PICA**
Equipo Tipo: **CALDERAS INGENOTUBULAR MODELO** N° Registro: **SSIQ - 133**
Fabricante: **BABCOCK CHILE S.A** N° Fábrica: **282** Año: **1998**
Sup. Calefacción: **383,3m²** Presión Máxima: **122 Psi.** Prod. Vapor: **6000 TON/H** Agua Caliente
Plancha Envolvente: **Diámetro 3393mm** Espesor: **16 mm** Largo: **4850 mms.**
Hogón: **Diámetro 1200 mm** Espesor: **16 mm** Largo: **4850 mm**
Frontales y Tabulares: **Espesor 22 mm** Calidad de Planchas: **A 515 GR 70**
Tubos Tipo: **SIN COSTURA** Diámetro: **63,5 mm** Largo: **4621 mm** N° Tubos: **380**
Válvulas de Seguridad: **Tipo Resorte** Diámetro Salida: **50mm** Cap. Evaluación: **50.000 K/hr.**
Graduación de válvula:..... Otros accesorios de seguridad: **ALARMA CONTROL NIVEL TIPO McDONAL**
Manómetro: Graduación (rango) **0-250 P.S.I.** Instalación: **Reglamentaria**
Indicadores de nivel: **NO REQUERIDA** Llaves de prueba: **NO**
Combustible usado: **DIESEL 2D** Consumo por hora: **1000 LTRS**
Tratamiento de agua: **Tipo AGUA TRATADA** Capacidad: **SOLO RELLENO**

2. REVISIONES Y PRUEBAS EJECUTADAS Y RESULTADOS OBTENIDOS

Funcionarios de este Servicio han efectuado las revisiones y pruebas siguientes:

REVISIÓN O PRUEBA	FECHA	RESULTADO
Revisión interna	30/04/2013	Satisfactoria (Reparación Completa)
Pruebas hidráulicas	26/05/2013	Satisfactoria (150 Lbs/pul ²)
Pruebas de Vapor	01/06/2013	Satisfactoria (60 Lbs/pul ²)
Pruebas de acumulación	xxxxxxx	xxxxxxx
Pruebas especiales	01/06/2013	Satisfactoria (Pruebas de espesores, revisión me Cálculo, Análisis de tintas)

CONCLUSIONES:

Se autoriza a funcionar a 60 psi (Agua Caliente) autorización validar por dos años mientras el equipo no sea modificado

MANUEL ORELLANA MANQUEZ
ING R 3/83 S. SALUD

ANEXO 12: QUEBRADA BLANCA

Quebrada Blanca está ubicada en la Región de Tarapacá de la zona norte de Chile, a una altitud de 4.400 metros, a aproximadamente 240 kilómetros al sureste de la ciudad de Iquique y 1.500 kilómetros de Santiago.

Quebrada Blanca es una operación a rajo abierto, la cual lixivia el mineral para producir cátodos de cobre a través del procesamiento en una planta de SX-EW.

Teck es una de las principales empresas mineras de Canadá con operaciones y proyectos en Canadá, Estados Unidos, Chile y Perú.

Posee una participación indirecta del 60% en la mina Quebrada Blanca. Sumitomo Metal Mining Co., Ltd. y Sumitomo Corporation tienen una participación colectiva indirecta del 30% en la mina. ENAMI, una empresa estatal chilena, tiene un 10% de participación no financiera.

ACERCA DE QUEBRADA BLANCA (fuente: <https://www.teck.com/operations-es/chile-es/operaciones-es/quebrada-blanca-es/>)

Las operaciones mineras cesaron en el cuarto trimestre de 2018, y el equipo y el personal de minería han sido redistribuidos al proyecto Quebrada Blanca Fase 2 (QB2). La operación se centra ahora en la extracción secundaria de cobre de las pilas de lixiviación anteriores.

Quebrada Blanca produjo 11.500 toneladas de cátodos de cobre en 2021, en comparación con 13.400 toneladas en 2020.

ANEXO 13: BIBLIOGRAFÍA

1. Predictiva21. (s.f.). Confiabilidad. <https://predictiva21.com/confiabilidad>
2. Academia.edu. (s.f.). Confiabilidad: Historia, estado del arte y desafíos futuros. https://www.academia.edu/65656665/Confiabilidad_Historia_estado_del_arte_y_de_safiosfuturos
3. Redalyc. (s.f.). Artículo sobre confiabilidad. <https://www.redalyc.org/pdf/496/49614003.pdf>
4. HBK World. (s.f.). Weibull++ Life Data Analysis Software. <https://www.hbkworld.com/en/products/software/reliability/weibull-life-data-analysis-software/key-features>
5. RMES Suite. (s.f.). Experiencia en confiabilidad. <https://rmessuite.com/es/experiencia.php>
6. Ausencorylsones. (2016). Jackknife vs Pareto: ¿Cuál es mejor y por qué? <https://ausencorylsones.wordpress.com/2016/11/16/jackknife-vs-pareto-cual-es-mejor-y-por-que>
7. Mora Gutiérrez, L. A. (2009). Mantenimiento. Planeación, ejecución y control.
8. Stegmaier, R., & Kristjanpoller, F. (s.f.). Apuntes Ajuste de Curva MGA-18.
9. Arata, A., Stegmaier, R., & Kristjanpoller, F. (s.f.). Estrategias de mantenimiento. Apuntes complementarios MGA-18
10. Teck Resources Limited. (s.f.). Quebrada Blanca. <https://www.teck.com/operations-es/chile-es/operaciones-es/quebrada-blanca-es/>