

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

ESCUELA DE POSGRADO

**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
MECÁNICA Y DE ENERGÍA**



**“GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA
DISPONIBILIDAD DE LA CHANCADORA TRAYLOR 60"X113" EN UNA
MINERA DEL SUR DEL PAÍS”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN
GERENCIA DEL MANTENIMIENTO**

AUTORES

WILSON JUAN DE DIOS, QUISPE YUPANQUI

JARVIK, LAPIZ CHUQUIMBALQUI

ASESOR: Dr. ABEL TAPIA DÍAZ

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: GESTION DEL MANTENIMIENTO

Callao, 2023

PERÚ

Document Information

Analyzed document	8. INFORME DE TESIS FINAL DE INVESTIGACION WILSON -JARVIK REV FINAL.pdf (D174124401)
Submitted	9/18/2023 9:38:00 PM
Submitted by	UNIDAD DE POSGRADO FIME 2023
Submitter email	fime.posgrado@unac.edu.pe
Similarity	4%
Analysis address	fime.posgrado.unac@analysis.arkund.com

Sources included in the report

SA	TESIS SAYRI-SANTOS corregido.pdf Document TESIS SAYRI-SANTOS corregido.pdf (D57725953)	 1
SA	Universidad Nacional del Callao / 8. TESIS. PALPA MAYORCA - NUÑEZ RIVERA.pdf Document 8. TESIS. PALPA MAYORCA - NUÑEZ RIVERA.pdf (D142844907) Submitted by: investigacion.fime@unac.pe Receiver: investigacion.fime.unac@analysis.arkund.com	 5
W	URL: http://hdl.handle.net/20.500.12952/4374 Fetched: 9/18/2023 9:39:00 PM	 6
W	URL: https://www.ride.org.mx/index.php/RIDE/article/view/1218 Fetched: 9/18/2023 9:39:00 PM	 3
SA	TESIS_CÉSAR CUEVA KARINA VILLENA Final.docx Document TESIS_CÉSAR CUEVA KARINA VILLENA Final.docx (D140687599)	 2
W	URL: https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/b3eee5cb-c520-4f7a-bc7d-db70a98f6ee... Fetched: 9/18/2023 9:39:00 PM	 4
W	URL: https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/33276/9789588477923.pdf?sequence=4&isAllowed=y Fetched: 9/18/2023 9:39:00 PM	 3
SA	RCM.pdf Document RCM.pdf (D55752717)	 1
SA	20180724 GVP Tesis Final RevB.docx Document 20180724 GVP Tesis Final RevB.docx (D54559042)	 1
W	URL: https://www.cursosaula21.com/que-es-el-mantenimiento-centrado-en-la-confiabilidad-rcm/ Fetched: 9/18/2023 9:39:00 PM	 1
W	URL: https://dokumen.pub/maintenance-replacement-and-reliability-theory-and-applications-second-edi... Fetched: 9/18/2023 9:39:00 PM	 1
W	URL: https://predictiva21.com/mantenibilidad-ingenieria-confiabilidad-mantenimiento/Es Fetched: 9/18/2023 9:39:00 PM	 1



INFORMACION BASICA

FACULTAD:

Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía, Unidad de Posgrado de Ingeniería Mecánica y de Energía.

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN:

Unidad de investigación de la Escuela de Posgrado de Ingeniería Mecánica y de Energía.

TÍTULO:

“Gestión del mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de la chancadora Traylor 60"x113" en una minera del sur del país”

AUTORES:

- QUISPE YUPANQUI, WILSON / 0000-0002-3562-7407 / 43239951
- LAPIZ CHUQUIMBALQUI, JARVIK / 0000-0003-0805-6546 / 42173966

ASESOR:

- Dr. ABEL TAPIA DIAZ / 0000-0003-3367-3490 / 43129152

LUGAR DE EJECUCIÓN: UNA MINERA DEL SUR DEL PAÍS

UNIDAD DE ANÁLISIS: CHANCADORA TRAYLOR 60"x113"

TIPO: APLICADO

ENFOQUE: CUANTITATIVO

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: PRE EXPERIMENTAL

TEMA OCDE: INGENIERÍA MECÁNICA

HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN

JURADO EXAMINADOR Y ASESOR DE TESIS

Presidente: Dr. Pablo Godofredo Arellano Ubilluz

Secretario: Mg. Juan Adolfo Bravo Félix

Miembro: Mg. Juan Guillermo Mancco Pérez

Miembro: Mg. Yolanda Rosa Ávalos Sigüenza

N° DE LIBRO: 01 FOLIO: 78-79

N° DE ACTA DE SUSTENTACIÓN: 007-2023-ICTT/UPG

FECHA DE APROBACIÓN DE TESIS: 22/10/2023

DEDICATORIA 01

Agradezco a Dios, porque es mi guía y fuente de toda sabiduría. A mis padres, hermanos, por su apoyo en todas las circunstancias, para lograr mis objetivos, los cuales son la fuente y mi mayor motivación, lo cual hizo posible llegar a la meta académica y mi realización profesional.

DEDICATORIA 02

Agradezco a Dios, así también a mis padres y hermanos, por su apoyo a pesar de las circunstancias, lo que permitió lograr mis objetivos a través de la presente investigación.

AGRADECIMIENTO 01

A Dios el padre celestial, quien nos brinda la inteligencia, sabiduría y la fuerza para lograr los objetivos.

A nuestros docentes de la Universidad Nacional del Callao, por la dedicación, paciencia y apoyo incondicional para llegar a la meta y realización profesional.

Agradecimiento especial a mis padres por inculcarme valores los cuales me ayudan a orientar mis pasos y mi futuro profesional.

AGRADECIMIENTOS 02

A nuestros docentes, y en especial al asesor, Dr. Abel Tapia Díaz, por el apoyo en el desarrollo de la presente investigación profesional. También agradecer a aquellos colegas con los cuales se compartió conocimientos y experiencias profesional.

INDICE

INDICE	1
ÍNDICE DE TABLAS	3
ÍNDICE DE FIGURAS	4
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
INTRODUCCIÓN	8
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.1. Descripción de la realidad problemática	11
1.1.1. Realidad problemática mundial.	11
1.1.2. Realidad problemática en Latinoamérica	12
1.1.3. Realidad problemática nacional.....	12
1.1.4. Realidad problemática local.....	13
1.2. Formulación del problema	15
1.2.1. Problema general.....	15
1.2.2. Problemas específicos.....	15
1.3. Objetivos.	16
1.3.1. Objetivo general.....	16
1.3.2. Objetivos específicos	16
1.4. Justificación	16
1.5. Delimitantes de la investigación.	18
1.5.1. Delimitación teórica	18
1.5.2. Delimitación temporal	18
1.5.3. Delimitación espacial.....	19
II. MARCO TEÓRICO	20
2.1. Antecedentes	20
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	20
2.1.2. Antecedentes nacionales.	23
2.2. Bases teóricas	26
2.2.1. Ingeniería de confiabilidad	26
2.2.2. Enfoque R-MES (Reliability & Maintenance Engineering System)	27
2.3. Marco conceptual:	43
2.3.1. Gestión del mantenimiento preventivo	43
2.3.2. Mantenimiento centrado en confiabilidad	44

2.3.3.	Contexto de operación de la chancadora primaria Traylor 60" x 113"	45
2.3.4.	Partes principales de la Chancadora.....	46
2.3.5.	Principio de funcionamiento u operación de la chancadora	54
2.3.6.	Disponibilidad	55
2.3.7.	Mantenibilidad	56
2.3.8.	Confiabilidad.....	56
2.4.	Definición de términos básicos:.....	57
III.	HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	60
3.1.	Hipótesis general.....	60
3.2.	Hipótesis específicas	60
3.3.	Operacionalización de variable independiente	61
3.4.	Operacionalización de variable dependiente.....	62
IV.	METODOLOGÍA DEL PROYECTO.....	63
4.1.	Diseño metodológico	63
4.2.	Método de investigación.	64
4.3.	Población y muestra.....	64
4.4.	Lugar de estudio y periodo desarrollado.	65
4.5.	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.....	65
4.6.	Análisis y procesamiento de datos.....	65
4.7.	Aspectos Éticos en Investigación.....	66
V.	RESULTADOS	67
5.1.	Resultados descriptivos	111
5.2.	Resultados inferenciales	111
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	118
6.1.	Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados.....	118
6.2.	Contrastación de los resultados con otros estudios similares.	119
6.3.	Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes	121
VII.	CONCLUSIONES.....	122
VIII.	RECOMENDACIONES.....	124
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	125
X.	ANEXOS:	128

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Operacionalización de la variable independiente	61
Tabla 3.2: Operacionalización de la variable dependiente	62
Tabla 5.1: Datos históricos de detenciones en la primera observación.	70
Tabla 5.2: Datos ordenados para el test de Laplace.....	71
Tabla 5.3: Valores de <i>d_{critico}</i> en función del tamaño de la muestra y del nivel de riesgo.	77
Tabla 5.4: Linealización de la distribución de desconfiabilidad de Weibull.	78
Tabla 5.5: Prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov.....	80
Tabla 5.6: Indicadores de desempeño asociados a los tiempos entre fallas.....	81
Tabla 5.7: Indicadores de desempeño inicial.	85
Tabla 5.8: Análisis de criticidad de equipos del circuito de chancado primario.	87
Tabla 5.9: Matriz de riesgo.....	87
Tabla 5.10: Criterios de consecuencias.	88
Tabla 5.11: Análisis de criticidad de partes de la chancadora.	90
Tabla 5.12: Identificación de fallas con oportunidad de mejora.....	92
Tabla 5.13: Planes de acción para la falla de bajo flujo de aceite de lubricación en bujes.....	93
Tabla 5.14: Planes de acción para la falla de alta presión de aceite de lubricación.....	95
Tabla 5.15: Planes de acción para la falla en sistema de engrase de spider.....	96
Tabla 5.16: Planes de acción para la falla de acumulador de nitrógeno.....	97
Tabla 5.17: Planes de acción para la falla de válvula relief regulable.	99
Tabla 5.18: Planes de acción para la falla por desgaste del revestimiento del brazo del contraeje.....	100
Tabla 5.19: Planes de acción para la falla por rotura de la manguera de aceite de lubricación de contraeje.....	101
Tabla 5.20: Datos históricos de detenciones en la según observación.....	103
Tabla 5.21: Determinación de los parámetros de Weibull.	105
Tabla 5.22: Prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov.....	107
Tabla 5.23: Indicadores de desempeño después de la gestión.....	109
Tabla 5.24: Comparativa de los indicadores de desempeño.	109
Tabla 5.25: Resultados de la investigación.	111
Tabla 5.26: Estadísticos de los principales indicadores obtenidos	111
Tabla 5.27: Muestra de los indicadores de desempeño	112
Tabla 5.28: Prueba de normalidad de los datos	112
Tabla 5.29: Disponibilidades de cada mes.	113
Tabla 5.30: Prueba T Student a datos de disponibilidad	114
Tabla 5.31: MTTR de cada mes.....	114
Tabla 5.32: Prueba T Student a datos de MTTR	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Valores de disponibilidad de la chancadora primaria	15
Figura 2.1: Proceso del enfoque R-MES.	27
Figura 2.2: Etapas del enfoque R-MES.....	28
Figura 2.3: Primera etapa del enfoque R-MES	29
Figura 2.4: Configuración en bloque lógico	29
Figura 2.5: Configuración en serie.....	30
Figura 2.6: Configuración del sistema en paralelo.	31
Figura 2.7: Etapa de adquisición de datos en el enfoque R-MES.....	32
Figura 2.8: Ajuste de curvas en el enfoque R-MES.....	33
Figura 2.9: Diagrama para la parametrización de datos históricos	34
Figura 2.10: Grafico de tiempos acumulados de falla vs tiempo.	34
Figura 2.11: Determinación de la etapa del ciclo de vida.	36
Figura 2.12: Curva de la bañera.....	36
Figura 2.13: Indicadores de desempeño.....	37
Figura 2.14: Indicadores principales en la gestión de mantenimiento.	38
Figura 2.15: Análisis de la criticidad.	39
Figura 2.16: Oportunidades de mejora.....	40
Figura 2.17: Mejora en la gestión.....	41
Figura 2.18: Proceso para validar la política de mantenimiento.	41
Figura 2.19: Proyectos de mejora.....	42
Figura 2.20: Plan maestro de gestión de activos.....	43
Figura 2.21: Contexto de la chancadora Traylor 60" x 113".....	46
Figura 2.22: Cuerpo de la chancadora primaria Traylor 60" x 113".....	47
Figura 2.23: Eje principal o main shaft.	48
Figura 2.24: Vista de la araña o spider en corte.	49
Figura 2.25: Excéntrica de la chancadora giratoria.	49
Figura 2.26: Sistema de accionamiento mecánico.....	50
Figura 2.27: Sistema de lubricación.	51
Figura 2.28: Cavidades de trituración.....	52
Figura 2.29: Mecanismo de absorción de impacto.....	53
Figura 2.30: Sistema de engrase de la araña o spider.	53
Figura 2.31: Recorrido del aire que genera el sello de polvo.....	54
Figura 2.32: Principio de funcionamiento de la chancadora.	55
Figura 5.1: Diagrama de proceso de chancado primario.....	67
Figura 5.2: Representación lógico funcional del proceso.	68
Figura 5.3: Manejo y almacenamiento de datos del software PI System.....	68
Figura 5.4: Entorno grafico del proceso de chancado primario.	69
Figura 5.5: Diagrama de tendencia de Nelson Aalen.....	72
Figura 5.6: Grafica de tendencia de numero de fallas Vs tiempos entre fallas.	72
Figura 5.7: Curva de la bañera.....	74
Figura 5.8: Gráfico para cálculo de beta para el MTBF según SPSS v27	79
Figura 5.9: R(t) Vs F(t).....	82
Figura 5.10: Tasa de fallas $\lambda(t)$	82
Figura 5.11: Densidad de fallas f(t).....	83
Figura 5.12: MTBF	83

Figura 5.13: Gráfico para cálculo de beta para el MTTR según SPSS v27	84
Figura 5.14: Análisis de la falla de bajo flujo de aceite de lubricación en bujes.	93
Figura 5.15: Análisis de la falla de alta presión de aceite de lubricación.	94
Figura 5.16: Análisis de la falla en sistema de engrase de spider.	96
Figura 5.17: Análisis de la falla de acumulador de nitrógeno.....	97
Figura 5.18: Análisis de la falla de válvula relief regulable.....	98
Figura 5.19: Análisis de la falla por desgaste del revestimiento del brazo del contraeje.	100
Figura 5.20: Análisis de la falla por rotura de la manguera de aceite de lubricación de contraeje.....	101
Figura 5.21: Diagrama de Nelson Aalen de los tiempos entre fallas de la segunda observación.....	104
Figura 5.22: Gráfico de Weibull para el MTBF en SPSS v27.	106
Figura 5.23: Grafico de Weibull para el MTTR en SPSS v27.	108
Figura V.24: Comparativa entre los valores del MTBF inicial y final.	109
Figura 5.25: Comparativa entre los valores del MTTR inicial y final.	110
Figura 5.26: Comparativa de la confiabilidad inicial y final.	110

RESUMEN

Desde los primeros pobladores, el Perú es un país minero por excelencia ubicándose entre los primeros productores de metales, principalmente el cobre y molibdeno. Esto implica que solamente no seamos buenos productores sino también que podamos ser excelentes gestores del mantenimiento de los equipos inmersos en el proceso de producción.

Tener la capacidad de procesar un promedio de 160 000 toneladas por día en el circuito de chancado primario de una planta concentradora, de mineral proveniente de mina, implica una gran demanda de personal especializado que atienda los procesos de mantenimiento, de manera que estos equipos tengan disponibilidades de clase mundial. Estas demandas exigen a los profesionales, a realizar gestión del mantenimiento para mejorar la disponibilidad con el fin de reducir los tiempos de parada de los equipos y realizar trabajos con calidad.

Ofrecer la disponibilidad de un 100% es una tarea imposible pues para que el activo continúe con sus funciones operacionales es necesario brindarle un mantenimiento como son principalmente, el cambio de piezas de desgaste, lubricación, limpieza, etc. conduciéndonos a realizar trabajos evitando reprocesos apuntando a una mejora continua.

El presente estudio de investigación es pre experimental, el cual seguirá un orden o metodología descrita en el enfoque R-MES que materializa a la ingeniería de confiabilidad donde los datos históricos de tiempos entre fallas serán analizados mediante modelos matemáticos de distribución probabilística de Weibull, donde se demuestra que la disponibilidad mejoro de 90% a 95%, el tiempo medio para reparación (MTTR) mejoro en 1.727 horas, así como el tiempo medio entre fallas (MTBF) mejoro en 111.76 horas con la manipulación de la variable independiente que es la gestión de mantenimiento.

Palabras Claves: Gestión del mantenimiento, mantenimiento preventivo, Disponibilidad, confiabilidad, mantenibilidad.

ABSTRACT

Since the first settlers, Peru has been a mining country par excellence, ranking among the first producers of metals, mainly copper and molybdenum. This implies that we are not only good producers but also that we can be excellent managers of the maintenance of the equipment involved in the production process.

Having the capacity to process an average of 160,000 tons per day in the primary crushing circuit of a concentrator plant, of ore from the mine, implies a great demand for specialized personnel who attend to the maintenance processes, so that this equipment has world class availabilities. These demands require professionals to carry out maintenance management to improve availability in order to reduce equipment downtime and carry out quality work.

Offering 100% availability is an impossible task because for the asset to continue with its operational functions it is necessary to provide it with maintenance, such as changing wear parts, lubrication, cleaning, etc. leading us to carry out work avoiding reprocessing aiming at continuous improvement.

The present research study is pre-experimental, which will follow an order or methodology described in the R-MES approach that materializes reliability engineering where the historical data of times between failures will be analyzed through mathematical models of Weibull probabilistic distribution, where It is shown that the availability improved from 90% to 95%, the mean time to repair (MTTR) improved by 1,727 hours, as well as the mean time between failures (MTBF) improved by 111.76 hours with the manipulation of the independent variable that is the maintenance management.

Keywords: Maintenance management, preventive maintenance, Availability, reliability, maintainability.

RESUMO

Desde os primeiros colonizadores, o Peru é um país mineiro por excelência, figurando entre os primeiros produtores de metais, principalmente cobre e molibdênio. Isto implica que não somos apenas bons produtores mas também que podemos ser excelentes gestores de manutenção dos equipamentos imersos no processo produtivo.

Ter capacidade para processar em média 160 mil toneladas por dia no circuito de britagem primária de uma planta concentradora, de mineral de uma mina, implica uma grande demanda de pessoal especializado para atender aos processos de manutenção, para que esses equipamentos tenham disponibilidades de classe mundial . Essas demandas exigem que os profissionais realizem o gerenciamento da manutenção para melhorar a disponibilidade, a fim de reduzir o tempo de inatividade dos equipamentos e realizar um trabalho de qualidade.

Oferecer 100% de disponibilidade é uma tarefa impossível, pois para que o ativo continue com suas funções operacionais é necessário realizar manutenções, como troca de peças de desgaste, lubrificação, limpeza, etc. levando-nos a realizar trabalhos evitando o reprocessamento, visando a melhoria contínua.

presente pesquisa é pré-experimental, que seguirá uma ordem ou metodologia descrita na abordagem R-MES que materializa a engenharia de confiabilidade onde os dados históricos de tempos entre falhas serão analisados utilizando modelos matemáticos de distribuição probabilística Weibull, onde é mostrado que a disponibilidade melhorou de 90% para 95%, o tempo médio para reparo (MTTR) melhorou em 1.727 horas, bem como o tempo médio entre falhas (MTBF) melhorou em 111,76 horas com a manipulação da variável independente, que é a manutenção gerenciamento.

Palavras-chave: Gestão de manutenção, manutenção preventiva, Disponibilidade, confiabilidade, manutenibilidade.

INTRODUCCIÓN

El trabajo de investigación denominado, Gestión del mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de la chancadora Traylor 60"x113" en una minera del sur del país, tiene como objetivo mejorar la disponibilidad de una chancadora Traylor 60"x113", aplicando la metodología del enfoque R-MES (Reability & maintenance engineering System), considerando el análisis de los tiempos entre fallas para determinar el tiempo medio entre fallas (MTBF), el tiempo promedio para reparación (MTTR) y la disponibilidad mecánica, bajo el modelo de la distribución Weibull para encontrar oportunidades de mejora en plan de mantenimiento preventivo que se consideró durante la puesta en marcha de la chancadora Traylor 60"x113" con lo cual se desarrollara un nuevo plan de mantenimiento preventivo denominado plan maestro de mantenimiento el cual está sujeto a posibles mejoras.

Durante el desarrollo de la investigación se estableció como problema general ¿De qué manera la gestión del mantenimiento preventivo mejora la disponibilidad de la chancadora Traylor 60"x113" en una minera del sur del país?, y la hipótesis general La gestión del mantenimiento preventivo mejora la disponibilidad de la chancadora Traylor 60"x113" en una minera del sur del país, que en interacción con las bases teóricas logran alcanzar los objetivos propuestos.

En el capítulo I, se presenta el planteamiento del problema, en el cual se realizó la descripción de la realidad problemática así también se formularon el problema general y los específicos, se plantearon los objetivos, la justificación y las delimitantes.

En el capítulo II, se presenta el marco teórico donde se consideró cinco antecedentes nacionales y cinco antecedentes internacionales, así como las bases teóricas y el marco conceptual.

En el capítulo III, se presenta las hipótesis y variables, así como su operacionalización.

En el capítulo IV, se presenta la metodología que se siguió en el estudio de investigación.

En el capítulo V, se discutieron los resultados descriptivos e inferenciales.

En el capítulo VI, se realizó la discusión de los resultados, contrastándolos con otros estudios similares.

En el capítulo VII se presentan las conclusiones.

En el capítulo VIII, se presentan las recomendaciones dirigidas al departamento de mantenimiento.

En el capítulo IX, se citan las referencias bibliográficas que sirvieron para el estudio de investigación.

Finalmente, en el capítulo X, se muestran los anexos.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

1.1.1. Realidad problemática mundial.

A nivel mundial, el inicio del mantenimiento es tan antiguo como lo son las primeras máquinas que inventó y utilizó el hombre, este concepto es sustentado por Cárcel (2016), además el mantenimiento, así como se comprende, apareció como una actividad organizada sistemáticamente a inicios del siglo XX. Estas actividades tuvieron lugar principalmente en el sector militar como submarinos, aviones y en algunas fundiciones de Estados Unidos en la Primera Guerra Mundial. En el año 1920 ya era una práctica de actividades de mantenimiento mecánico entre otros. Desde 1928 hasta 1930 hacen su aparición las primeras empresas de consultoría en mantenimiento.

Esta etapa inicial experimenta su desarrollo notablemente durante la Segunda Guerra Mundial específicamente en aplicaciones militares trabajando en el desarrollo de programas para mantenimiento preventivo aplicados a aviones donde las inspecciones se realizan antes de cada vuelo, ello para comprobar y reemplazar ciertos componentes después de un determinado número de horas de funcionamiento.

En 1945 se considera la redundancia como requisito en el diseño de máquinas para con ello reducir la criticidad de falla. También se inician trabajos formales sobre técnicas de ensayos, así como la realización de mediciones físicas con la finalidad de estimar la probabilidad de falla de los componentes que forman parte de una máquina.

A fines de los años 60, se dan inicios a la aplicación de técnicas de confiabilidad, permitiendo así predecir los costos asociados a las fallas, así como los cálculos de la rentabilidad de actividades de mantenimiento. Sin embargo, algunos componentes no eran fáciles de predecir, escapando a los modelos que aquel entonces se usaba. También se realiza el análisis y estudio de causas y efectos de las fallas destacando la utilidad de la aplicación de estadísticas históricas de fallas para su análisis y planificación.

Ya en los años 70, 80 y 90 se intensifica el uso de estrategias de mantenimiento, esto más notablemente en empresas grandes, tales como el mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), el Mantenimiento Productivo Total (TPM),

mantenimiento centrado en riesgo, así como otros modelos.

Actualmente, la tendencia en la gestión de mantenimiento es la necesidad de más información y conocimiento para ser más eficiente y económica. Es por ello la importancia de sistemas que gestionan el mantenimiento por ordenador, el mantenimiento basado en condición, así como la aplicación de dispositivos controlados remotamente que han hecho posible que el mantenimiento se optimice a medida que pasen los años.

1.1.2. Realidad problemática en Latinoamérica

En Latinoamérica según Tejada (2021), las primeras empresas industriales de gran envergadura y quienes instalaron maquinaria de gran tamaño, han sido empresas azucareras quienes procesan la caña de azúcar. Además, otras fábricas del rubro de licores y metales. Estas fábricas e inclusive los gobiernos de turno, no se preocuparon ni mostraron interés en el sector del mantenimiento. En su mayoría los gobiernos en Latinoamérica fueron dictatoriales, ello no les permitió ver al mantenimiento como una herramienta estratégica o de confiabilidad no solo en las máquinas sino también en carretas, puentes entre otros. Algunas instalaciones construidas en dichos gobiernos caen en destrucción y olvido. En otras industrias por desconocimiento de la gestión o por contar con personal calificado para realizar tareas de seguimiento, análisis de causas de fallas afectaron la integridad de las máquinas prefiriendo en su mayoría el mantenimiento correctivo. Al pasar de los años y gracias a la evolución, así como la adaptabilidad de las compañías, han hecho que el mantenimiento sea tomado en cuenta definiéndolo como una herramienta de solución a necesidades en diversos sectores de producción donde interactúan máquinas y personas.

1.1.3. Realidad problemática nacional

En el Perú, la gestión de mantenimiento en las compañías industriales es prácticamente el reflejo de lo que acontece al respecto en Latinoamérica, este concepto es sustentado por Huamán (2018), también sostiene que las compañías que tienen un mejor manejo de dicha gestión son en su mayoría filiales de compañías extranjeras mientras que en compañías netamente

nacionales existe un escaso manejo de las herramientas de la gestión de mantenimiento por parte del personal a cargo para ello, el equipo humano dedicado a mantenimiento no tiene claro los objetivos de la compañía haciendo que no se genere expectativa en ellos con lo requerido por la organización. El diario Gestión (2019) expone un estudio donde afirma que más del 86 % de compañías peruanas han optado por tercerizar el servicio de mantenimiento en sus industrias con un enfoque principal de aliviar responsabilidades en periodos de incertidumbre, buscar una mejora en la economía de la compañía reduciendo costos operacionales, contar con rapidez y alternativas ante situaciones complicadas garantizando la atención a un volumen de trabajo grande. Con respecto a minera en específico la Revista Energiminas (2019) en una entrevista a un ejecutivo de una empresa transnacional con operaciones en Perú menciona que una de las dificultades que afrontan para garantizar el servicio de mantenimiento a las unidades mineras ubicadas en el interior del país es la lejanía, puesto que es un gran desafío trasladar en promedio 3 000 personas hasta las unidades mineras para cumplir con los servicios de mantenimiento principalmente en paradas de planta, menciona también que en promedio el 15 % del personal involucrado en los servicios son profesionales nuevos o con poca experiencia lo que conlleva a realizar planificaciones hasta con un año de anticipación. Con respecto a un estudio de costos en la mina Las Bambas en Apurímac, el diario Gestión (2023) realizó una publicación en la cual afirma que por cada día que no se produce conlleva a una pérdida de S/ 5.2 millones, esto significa que si no hay una buena gestión del mantenimiento y el equipo no tiene disponibilidad y la planta llegará a detenerse los costos serán altos y no solo afecta a la unidad minera sino también a la región donde se encuentra.

1.1.4. Realidad problemática local

El escenario actual se desarrolla en la planta concentradora de una empresa perteneciente a la gran minería, ubicada en el sur del Perú el cual tiene como principal actividad la extracción de concentrado de cobre. El mineral producto de la voladura realizada en la mina es acarreado por camiones de 400 toneladas de capacidad y lo descargan en las tolvas de alimentación de la chancadora primaria, el cual se encarga de triturar el mineral entregando un producto de 6.5

pulgadas de diámetro para después, este mineral ser transportado mediante fajas transportadoras al siguiente proceso de molienda, flotación, espesamiento y filtros. La primera etapa de procesamiento del mineral se realiza teniendo como principal equipo a la chancadora primaria. Esta chancadora tiene detenciones producto de fallas de algunos de sus componentes afectando su disponibilidad haciendo que el mantenimiento correctivo se intensifique más allá de lo estimado para este tipo de máquina lo que representa términos de disponibilidad 85 %, pérdidas aproximadas de 96 000 toneladas de material chancado al mes, costos asociados a repuestos y mano de obra en promedio de 60 000 dólares al mes. Entre las principales fallas involucra componentes de la transmisión mecánica después de motor eléctrico, hasta el componente responsable del giro denominado excéntrica, los sellos mecánicos de las bombas de lubricación que tienen un tiempo de vida muy corto, la cámara de sellado de polvo en el interior de la chancadora entre otros componentes que al fallar aportan a que esta máquina registre bajos valores de disponibilidad en comparación a otras unidades mineras del Perú y del extranjero principalmente Chile.

Al inicio de operaciones de la unidad minera a fines del año 2015, la Gestión de Mantenimiento consistió en la implementación de planes de mantenimiento basados en recomendaciones de los fabricantes de las máquinas, así como experiencias que el personal de mantenimiento había acumulado en años de trabajo en otras unidades mineras similares. En el año 2016 cuando la unidad minera alcanzó la producción nominal y con ello el trabajo a la capacidad de diseño de las máquinas, se presentaron fallas que se corrigieron reemplazando el componente comprometido para luego poner a operar nuevamente la máquina. No se realizaron análisis de las fallas que se presentaron en el tiempo ni se revisó el plan de mantenimiento. Esta forma de trabajar se reflejó en las disponibilidades mostradas en la figura 1.1.

Figura 1.1 Valores de disponibilidad de la chancadora primaria



Fuente: Propia

Es necesario elevar el valor de la disponibilidad pues ello representa más tiempo de producción y por ende mayor tonelaje de mineral triturado. Mediante la teoría de la confiabilidad, se determina el valor actual de disponibilidad en un periodo de 6 meses listando las fallas relevantes o que afectaron negativamente. Mediante la herramienta de Análisis Causa Raíz, se revisa cada una de las fallas relevantes de la chancadora primaria en dicho periodo de tiempo, para con ello determinar acciones y tareas que van a ser incorporadas al plan de mantenimiento preventivo actual y que tendrán como objetivo la no recurrencia de las fallas analizadas. Alguna de las tareas tendrá la finalidad de aumentar la mantenibilidad de la chancadora primaria, y otras harán que la confiabilidad de la chancadora primaria mejore. Después de que el nuevo plan de mantenimiento se ejecute por 6 meses, se determinan nuevamente los valores de disponibilidad de la chancadora primaria.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera la gestión del mantenimiento preventivo mejora la disponibilidad de la chancadora Traylor 60"x113" en una minera del sur del país?

1.2.2. Problemas específicos

- a. ¿De qué manera la gestión del mantenimiento preventivo mejora la mantenibilidad de la chancadora Traylor 60"x113" en una minera del sur del país?

- b. ¿De qué manera la gestión del mantenimiento preventivo mejora la confiabilidad de la chancadora Traylor 60"x113" en una minera del sur del país?

1.3. Objetivos.

1.3.1. Objetivo general

Determinar como la gestión del mantenimiento preventivo mejora la disponibilidad de la chancadora Traylor 60"x113" en una minera del sur del país.

1.3.2. Objetivos específicos

- a. Determinar como la gestión del mantenimiento preventivo mejora la mantenibilidad de la chancadora Traylor 60"x113" en una minera del sur del país.
- b. Determinar como la gestión del mantenimiento preventivo mejora la confiabilidad de la chancadora Traylor 60"x113" en una minera del sur del país.

1.4. Justificación

La investigación va a aportar en el conocimiento sobre el comportamiento de la maquinaria empleada en una planta concentradora y en específico de una chancadora primaria de gran minería. Exponer la gestión de mantenimiento como oportunidad de optimizar el desempeño de una máquina para mejorar su disponibilidad, así como mostrar la aplicación de la herramienta de Análisis Causa Raíz.

a. Justificación normativa

Actualmente aún existe una brecha entre el entendimiento de la norma y su aplicación propiamente. La investigación expone la norma SAE JA1011:2009 y a la vez realiza la aplicación de este usando datos reales de una problemática en un centro minero.

b. Justificación técnica

Dentro de los modelos que conforman la teoría de la confiabilidad está considerado el Análisis Causa Raíz de una falla, estimación de la disponibilidad

mediante el modelo de Weibull. Estas herramientas servirán para representar numéricamente el estado inicial de la gestión de mantenimiento a través de la disponibilidad, analizar las fallas buscando oportunidades de mejora para aplicarlas y finalmente realizar el análisis inicial nuevamente para evidenciar las posibles mejoras en la gestión.

c. Justificación económica

Las fallas de una máquina crítica que pertenece a un proceso de producción afectan no solo a la producción propiamente causando un lucro cesante, sino que al requerir componentes o repuestos nuevos para poner a la máquina en condición de operación nuevamente, afecta económicamente pues obliga a destinar un presupuesto para cubrir los componentes mencionados. Además, se hace necesario el uso de horas hombre para ello. La investigación va a enfocarse a las fallas que provocan lo mencionado líneas arriba e implemente acciones y tareas que evitan su recurrencia.

d. Justificación social

La investigación va a trabajar y analizar las fallas para evitar su recurrencia no solo enfocado en lo económico, sino que en las personas involucradas en mantenimiento pues evitar una falla también se evita exponer a trabajos complicados en horarios no adecuados.

e. Justificación metodológica

El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) ilustrado por John Moubray en su libro de texto RCM2: Reliability Centered Maintenance, muestra la aplicación de la herramienta en la industria. Esta herramienta nació enfocada para la aeronáutica.

Los modelos de la confiabilidad tales como el Análisis Causa Raíz y la distribución de Weibull, así como el mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) en específico consideran pasos claros que se aplican a una problemática con el fin de minimizarlos o desaparecer. Estas herramientas fueron creadas y aplicadas inicialmente en la aeronáutica para salvaguardar la vida de los pasajeros, así como en el área militar resaltando notablemente la mejora frente a una gestión inicial.

f. Justificación practica

La investigación va a analizar el plan de mantenimiento inicial, analizar las fallas para establecer acciones y tareas que serán adicionadas y/o modificadas en el plan de mantenimiento inicial. Con ello se tendrá un nuevo plan de mantenimiento óptimo en comparación a la inicial.

g. Justificación ambiental

Al optimizar el plan de mantenimiento con la investigación, se optimizó el uso de repuestos y materiales usados para hacer frente a una falla, con lo cual se reduce la cantidad de los residuos sólidos por lo cual se reduce el impacto al medio ambiente.

h. Justificación legal

Al contar con un plan de mantenimiento óptimo se evitan fallas principalmente en horarios donde el personal de mantenimiento está pernoctando. Con ello se pretende alinearnos a la ley 29783 (Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo) y en específico el Decreto Supremo N° 024-2016-EM – Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería.

i. Justificación espacial

La investigación se desarrolla en un centro minero ubicado en el sur del Perú y en específico en la planta concentradora de la misma por que la máquina analizada es fija en su instalación y dentro del proceso también.

1.5. Delimitantes de la investigación.

1.5.1. Delimitación teórica

La información teórica de confiabilidad está disponible tanto en la red como en numerosos libros de texto, pero su aplicación en plantas concentradoras y en chancadoras en específico, es limitada.

1.5.2. Delimitación temporal

La investigación utiliza la información generada entre el año 2022 y parte del 2023 puesto que no hay registros de información confiable en los años anteriores.

1.5.3. Delimitación espacial

La investigación se realiza en la chancadora enfocándose a los componentes mecánicos, es por ello los resultados que se obtengan al finalizar el estudio fue aplicado solamente a estos. Los componentes eléctricos e instrumentos no fueron considerados. Así mismo el estudio se limita a la chancadora primaria de un centro minero ubicado en el sur del país y que no necesariamente se pueda extender a otros centros mineros ya que cada operación difiere principalmente por el tipo de mineral que procesa.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

En el tiempo, la gestión de mantenimiento fue y es objeto de estudio, investigación y aplicación logrando una evolución muy notable no solo a nivel internacional sino nacional.

En el desarrollo de esta investigación se hizo imperativo la revisión de diversos documentos, tanto artículos científicos como tesis de grado de maestría y doctorado. Estos soportaron tanto la técnica como la teoría que se aplicó, así como la metodología que se siguió. A continuación, se exponen dichos documentos a modo de antecedente para el estudio.

2.1.1. Antecedentes internacionales.

Para Pillado, Castillo, De la Riva (2022) en su investigación titulada "Metodología de administración para el mantenimiento preventivo como base de la confiabilidad de las máquinas", se planteó como objetivo el desarrollo de una metodología para administrar el mantenimiento preventivo el cual descentraliza el análisis de fallas realizando un enfoque objetivo en la forma que se implementa el programa de mantenimiento preventivo creando una estructura amigable. Además, el tipo de investigación que utilizó fue el método cuantitativo. El autor llegó a la siguiente conclusión mostrando que la representación de la metodología para el proceso de implementación del mantenimiento preventivo se muestra mediante un flujograma tomando como referencia el inventario físico de máquinas. Según la investigación, la oportunidad de mejora dentro de los programas de mantenimiento preventivo se logra mediante una correcta administración de las actividades que se realizan para poner en marcha la implementación de dicho programa. Teniendo en cuenta que el análisis de fallas es un punto muy importante para asegurar el correcto funcionamiento de las máquinas.

La presente investigación tiene relevancia porque utiliza la variable confiabilidad de las máquinas, y muestra una secuencia de cómo trabajar un plan de mantenimiento preventivo, variables que se trabajaron en la presente investigación.

Gasca, Camargo, Medina (2020) en su investigación titulada "Gestión del mantenimiento para la confiabilidad operacional" realizó la propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento con el cual pretende la mejora de la confiabilidad operacional en pequeñas y medianas empresas manufactureras. Además, el tipo de investigación utilizado para elaborar el modelo realiza el estudio de la población objetivo a partir de medir y describir las variables de investigación "Gestión del mantenimiento" y "Confiabilidad operacional", posterior a la caracterización se plantea la directriz para gestionar gráficamente el modelo de gestión propuesto. El autor llegó a la siguiente conclusión mostrando que, es posible el desarrollo e implementación en las PYMES del sector industrial manufacturero, el modelo de gestión de mantenimiento lógico y flexible, que combina prácticas y herramientas de RCM y TPM; para mejorar la confiabilidad operacional.

La presente investigación tiene relevancia porque utiliza la variable mejoramiento de la confiabilidad operacional, y muestra una secuencia de cómo trabajar el plan de mantenimiento preventivo, variables que se trabajaron en la presente investigación.

Para Gordillo, Sierra (2022) en su investigación titulada "Propuesta de mejora al plan de mantenimiento para los equipos de mayor criticidad en la empresa OSG aplicando la metodología RCM". Asimismo, el trabajo está basado en la metodología del RCM en los equipos identificados con mayor criticidad de acuerdo a la aplicación del ciclo Deming PHVA. Además, el tipo de investigación utilizado toma una muestra y se escoge uno de los equipos más críticos identificados mediante la aplicación del ciclo Deming PHVA, realizándose el análisis de modos y efectos de fallas, aplicando la metodología FMECA con el fin de priorizar e identificar las fallas más potenciales, que puedan afectar los procesos de la línea de producción. El autor llegó a la siguiente conclusión mostrando que el resultado del análisis efectuado a los diferentes equipos piloto permitió identificar los modos, causas y efectos de falla y así ajustar el plan de mantenimiento para ser gestionado a través del CMMS, para mejorar las condiciones de operación y disponibilidad.

La presente investigación tiene relevancia porque utiliza la variable mejora al

plan de mantenimiento para el equipo de mayor criticidad, y muestra una secuencia de como trabajar un plan de mantenimiento preventivo, variables que se trabajaron en la presente investigación.

Campos, Tolentino, Toledo (2018) en su investigación titulada "Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos", tuvo por objetivo proponer la metodología RCM ampliada que incluye los lineamientos de la norma SAE JA1011 [26] e incluye pautas como: recopilar información relevante para el proceso, utilizando la norma ISO 14224. Además, el tipo de investigación utilizado Antes de aplicar la metodología de RCM es indispensable recopilar la información necesaria del activo que servirá como insumo.

El autor llegó a la siguiente conclusión mostrando que se desarrolló una metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad ampliada tomando como referencia la norma SAE JA1011 y considerando la definición de la taxonomía de equipo con la norma ISO 14224, el análisis de modos y causas de falla de acuerdo con la ISO 14224.

La presente investigación tiene relevancia porque utiliza la variable mantenimiento centrado en confiabilidad, la cual muestra la secuencia de como trabajar el plan de mantenimiento preventivo, variables que se trabajaron en la presente investigación.

Sajaradj, Nurul Huda, Sinulingga (2019) en su investigación titulada "La aplicación de métodos de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para diseñar el sistema de mantenimiento en la fabricación (revisión del diario)" tuvo por objetivo es determinar el programa de mantenimiento óptimo con menor riesgo e impacto por falla de esfuerzos de mantenimiento óptimos mediante el enfoque en la función crítica del equipo en el sistema y evitar que los esfuerzos de mantenimiento sean innecesarios o ya no sean efectivos. Aumentar la tarea de mantenimiento que se refiere a fallas o historial de reparación. Además, el tipo de investigación utilizado es la selección del sistema y la recolección de información. En una de estas fases se haría la elección hacia el sistema que se examina no sea demasiado amplio. El análisis FMEA. Las primeras etapas de la

preparación del análisis FMEA solo complementan la matriz de equipos y fallas de la función. El autor llegó a la siguiente conclusión mostrando que el RCM es un enfoque más efectivo para el mantenimiento. Basado en el mantenimiento de ingeniería de Dhillon, RCM presenta variedad de alternativas positivas, incluyendo una mejora del sistema en seguridad, medio ambiente, calidad del producto desarrollado, prolonga la vida útil en financiación, un mejor trabajo en equipo, ahorro en costos, se obtiene una mejor disponibilidad y confiabilidad en planta.

La presente investigación tiene relevancia porque utiliza la variable mantenimiento centrado en confiabilidad, y muestra una secuencia de cómo trabajar el plan de mantenimiento preventivo, variables que se trabajaron en la presente investigación.

2.1.2. Antecedentes nacionales.

Huamán (2018) [10] en su tesis titulada “Plan de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad para mejorar la disponibilidad de los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza”, tuvo como objetivo el diseño de un plan de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad el cual mejore la disponibilidad de maquinaria pesada de carguío y acarreo. Además, la investigación fue, tipo tecnológica con enfoque cuantitativo cuya población fue censal teniendo 3 equipos. El autor llegó a la siguiente conclusión mostrando que la gestión tiene una influencia positiva quedándose demostrado que la implementación mejora en 7.19 % la disponibilidad de un tractor de cadenas y 8.06 % la disponibilidad del cargador frontal, finalmente en 7.12 % la disponibilidad del cargador frontal N° 02.

La presente investigación tiene relevancia porque utiliza la variable disponibilidad de equipos, y muestra una secuencia de cómo trabajar el plan de mantenimiento preventivo, variables que se trabajaron en la presente investigación.

Aldana (2019) en su tesis titulada “Gestión del Mantenimiento Preventivo para mejorar la disponibilidad en los equipos mineros de transporte en la unidad

Inmaculada-Ayacucho de la empresa Unión de Concreteras S.A”, tuvo como objetivo general determinar como la gestión de mantenimiento preventivo llega a mejorar la disponibilidad de los equipos mineros. utilizado el tipo de investigación, método cuantitativo. El autor llegó a la siguiente conclusión mostrando que cuando se implementa la gestión del mantenimiento preventivo incrementa la disponibilidad de equipos mineros, como se puede observar la disponibilidad de los equipos pasa de 87.51 % a 91.57 % el cual representa un incremento de 4.06 %, también se puede indicar que antes se tenía 23.88 fallas el cual se reduce a 19.25 fallas que representa una mejora en un 19.63 %.

La presente investigación tiene relevancia porque utiliza la variable disponibilidad de equipos, y muestra una secuencia de cómo trabajar el plan de mantenimiento preventivo, variables que se trabajaron en la presente investigación.

Rosado (2017) en su tesis titulada "Evaluación de métodos para determinar la confiabilidad mediante la distribución Weibull: caso Planta San Antonio", tuvo como objetivo principal el desarrollo la evaluación de métodos para obtener la confiabilidad utilizando la distribución Weibull, con la finalidad de obtener un método más preciso, fácil, replicable y económico el cual será aplicado al caso de la faja transportadora 64. Además, el tipo de investigación fue exploratoria, descriptiva y causal explicativa, debido a que establece una relación causa efecto de la variable método de cálculo de confiabilidad utilizado distribución Weibull. El autor llegó a la siguiente conclusión con respecto al método para obtener la confiabilidad utilizando distribución de Weibull, aplicando el software Matlab, obteniendo resultados fiables respecto a los otros métodos, debido a que se obtiene el coeficiente de correlación de 0.99, con respecto a la determinación un coeficiente de 0.98.

La presente investigación tiene relevancia porque utiliza la variable distribución de Weibull, y muestra una secuencia de cómo trabajar para el cálculo de la confiabilidad, variables que se trabajaron en la presente investigación.

Rashuamán (2019) en su investigación titulada “Modelo de gestión de mantenimiento para el incremento de disponibilidad de las máquinas en una planta de fabricación de bombas centrífugas”. Asimismo, esta investigación tuvo

como objetivo general, Proponer el modelo de gestión del mantenimiento el cual permite incrementar la disponibilidad de máquinas en la planta que producen bombas centrífugas. Además, el tipo de investigación aplicada y diseño no experimental, longitudinal de tendencia, el cual se plantea como; planeamiento y definición del tema, organización en la empresa, recolección de datos mensuales, análisis y evaluación de datos e información de los resultados, teniendo un alcance de investigación descriptivo. El autor llegó a la siguiente conclusión mostrando que la gestión tiene una influencia positiva quedando demostrado que para la implementación de las herramientas del RCM es necesario comenzar realizando una categorización en donde se identifique a los equipos más críticos de la planta.

La presente investigación tiene relevancia porque utiliza la variable disponibilidad de equipos, y muestra una secuencia de cómo trabajar el mantenimiento preventivo, variables utilizadas en la presente investigación.

Gutiérrez (2019) en su investigación titulada "Plan de gestión de mantenimiento basado en la metodología RCM para mejorar la disponibilidad de bombas concreteras Putzmeister. caso: Concretos Supermix S.A.", tuvo como objetivo general proponer el plan de gestión de mantenimiento fundamentado en la metodología del RCM, con el cual se pretende la mejora de la disponibilidad en una flota de bombas concreteras Putzmeister. Además, la investigación se caracterizó por ser de tipo exploratoria debido a que recopila conocimientos relacionado al plan de gestión del mantenimiento utilizando la metodología del RCM, se indica como descriptiva, porque analiza y mide la variable disponibilidad y las características del mantenimiento preventivo, es causal explicativa, porque establece relación causa-efecto entre las variables plan de gestión del mantenimiento de acuerdo a la metodología del RCM. El autor llegó a la siguiente conclusión mostrando que, Un equipo es confiable debido a un correcto mantenimiento proporcionando mayor disponibilidad.

La presente investigación tiene relevancia porque utiliza la variable disponibilidad de equipos, y muestra una secuencia de cómo trabajar el plan de mantenimiento basado en RCM, información que es relevante en la presente investigación.

Santana (2022) en su investigación titulada "Plan de mantenimiento basado en RCM para mejorar la confiabilidad de la red de transmisión eléctrica de alta tensión, caso: Southern Perú Copper Corporation-SPCC", tuvo como objetivo general Proponer el plan del mantenimiento basado en RCM con el cual pretende una mejora de la confiabilidad en la red de transmisión eléctrica de alta tensión para la minera SPCC. Además, la investigación es del tipo no experimental debido a que no se manipulan variables, cabe indicar que es de carácter transaccional, ya que los hechos se observarán y analizarán en un tiempo determinado. Llegó a la siguiente conclusión mostrando que, la metodología RCM es una herramienta de solución muy poderosa frente a los diferentes problemas que presentan los equipos industriales en general, además de ser un sistema con muchos casos de éxito en diferentes campos de la industria.

La presente investigación tiene relevancia porque utiliza la metodología del RCM, y muestra una secuencia de cómo trabajar el plan de mantenimiento, información importante en la presente investigación.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Ingeniería de confiabilidad

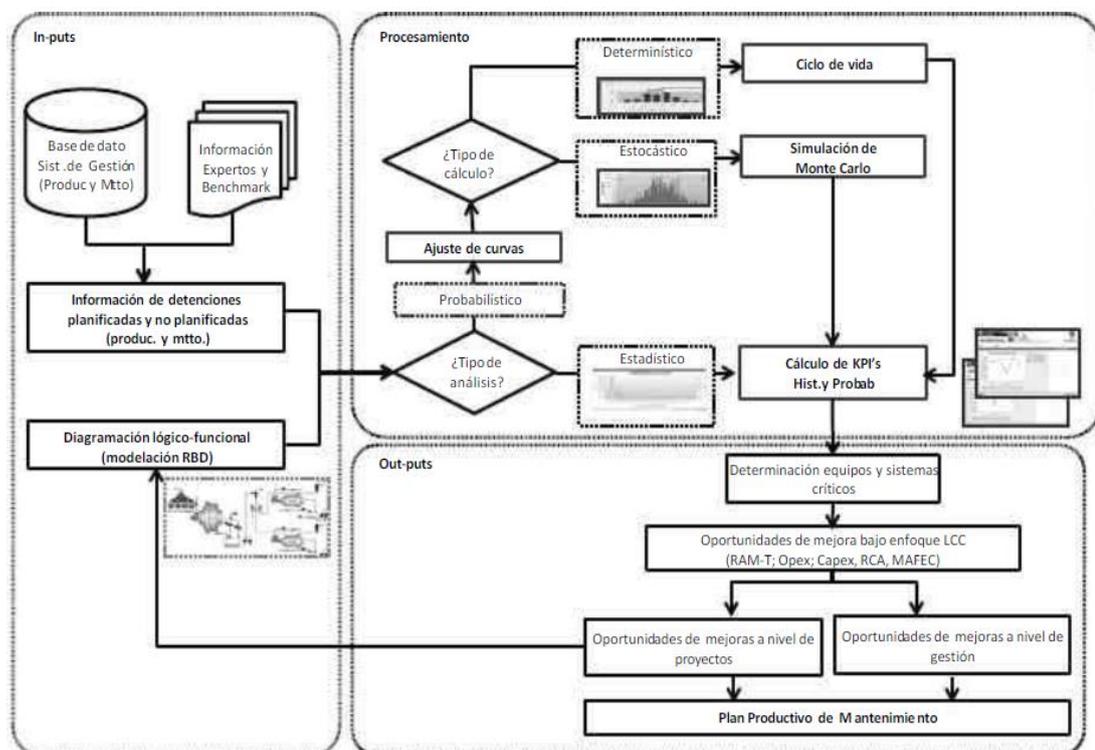
Según Arata (2013), la Ingeniería de Confiabilidad permite un cálculo robusto e intrínseco de la probabilidad de no funcionamiento de un sistema productivo, por acciones operacionales o mantenimiento, para identificar oportunidades, sobre una base cuantitativa y cualitativa, con el fin de tener una mejor gestión de activos durante la operación de una instalación. Este análisis conduce a optimizar los procesos actuales de producción y mantenimiento evaluando su confiabilidad para con ello determinar realmente el beneficio económico de un cambio en la manera de gestionar. A nivel industrial existen muchos casos donde no se ejecutan cambios en sus sistemas o formas de gestionar debido a la incapacidad para cuantificar los beneficios que dichos cambios acarrearían para el negocio después de su implementación. Se puede decir que esta cultura o forma de gestionar esta casi generalizada mundialmente en las industrias debido a la insensibilidad de los gerentes, así como de los operadores que no ven en la gestión de activos, una oportunidad de negocio. Gestión de activos es la manera

evolucionada que busca la ejecución eficiente del proceso contribuyendo a que el objetivo del negocio se logre, superando con ello las acciones limitadas a niveles operativos con miras a corto plazo asumiendo ahora un rol estratégico y táctico con una visión a mediano y largo plazo.

2.2.2. Enfoque R-MES (Reliability & Maintenance Engineering System)

Este enfoque denominado R-MES por sus siglas en inglés, muestra una forma para poder implantar la Ingeniería de Confiabilidad a todas las etapas del proceso de producción, mediante la aplicación de diversas técnicas, así como el análisis estadístico y probabilístico. Es caracterizado por la rigurosidad con que analiza la información y por el uso intenso de modelos, con la finalidad de hacer fácil la mejora continua del proceso para que el negocio se beneficie. En la figura 2.1 se muestra proceso del enfoque R-MES.

Figura 2.1: Proceso del enfoque R-MES.

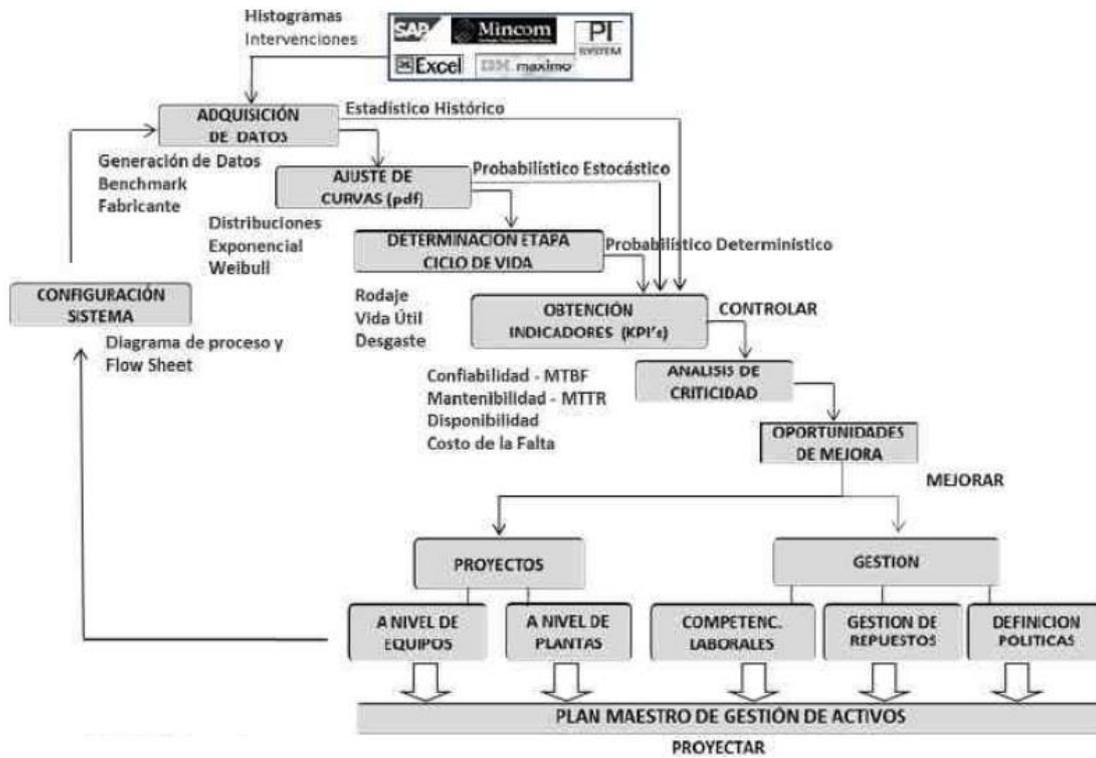


Fuente: Arata (2013).

Este enfoque se manifiesta como modelo global de la Ingeniería de Confiabilidad que se puede aplicar a todas las fases de un proyecto industrial mediante la incorporación de diversas técnicas y análisis que se basan en la confiabilidad de

las maquinas a lo largo de su ciclo de vida. Este enfoque es caracterizado por el análisis estricto de la información y el uso intenso de herramientas con la finalidad de mejorar continuamente del proceso. En la figura 2.2, se muestra esquemáticamente las diversas etapas del enfoque R-MES.

Figura 2.2: Etapas del enfoque R-MES.

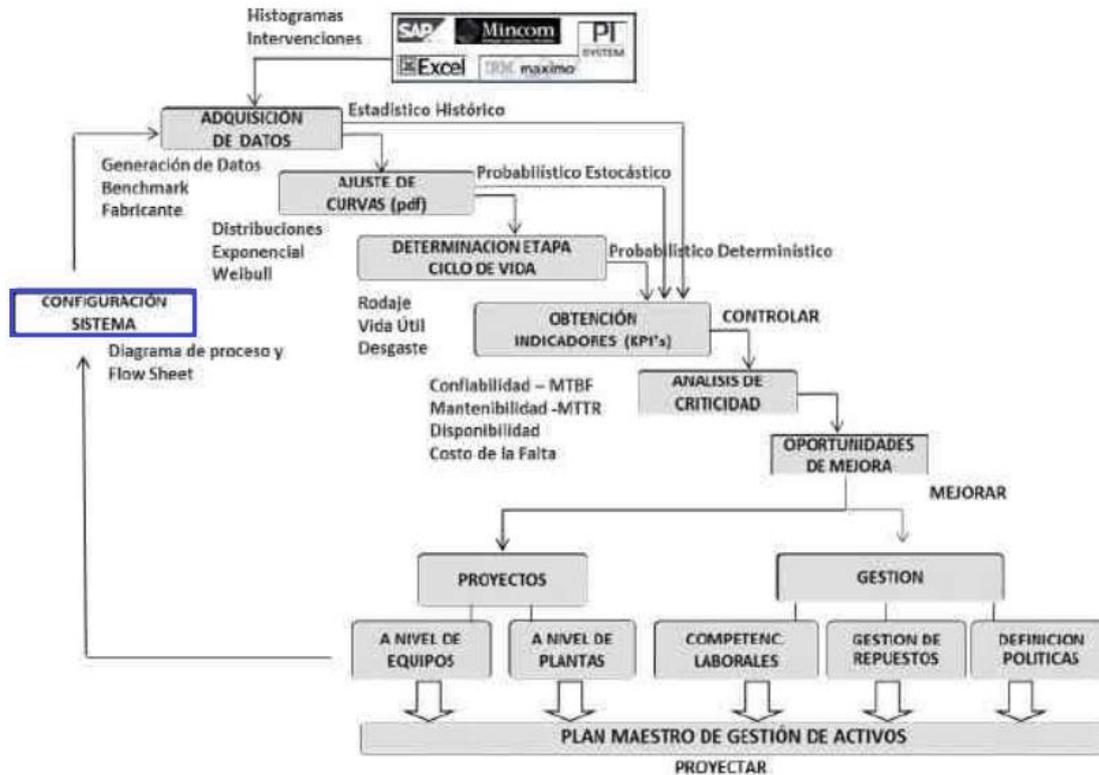


Fuente: Arata (2013).

Primera etapa: Configuración lógica funcional del sistema

En esta primera etapa se considera desde el diagrama de proceso de la planta hacia un diagrama lógico funcional que hace posible la evaluación de cada componente del proceso por el impacto que ocasiona sobre este, independientemente de la función y el orden del proceso.

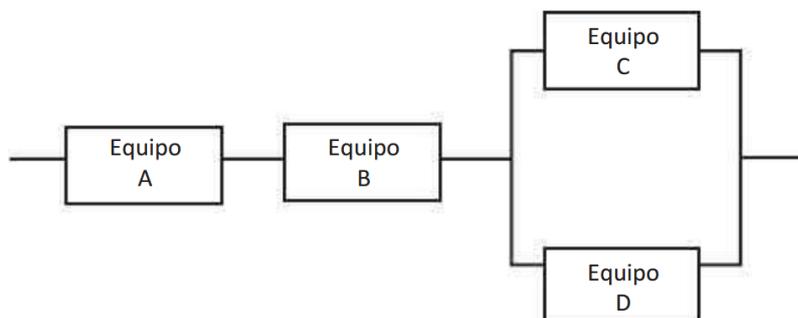
Figura 2.3: Primera etapa del enfoque R-MES



Fuente: Arata (2013).

La manera de realizar la caracterización de cada componente es usando el modelo RBD (Reliability Block Diagram) por sus siglas en ingles que representa un análisis en bloque lógico del proceso como sistema. Las conexiones que contempla este modelo principalmente son la configuración serie y paralelo que son representadas lógicamente por “y” y “o” respectivamente. La figura 2.4 representa como el estado de cada componente ya sea funcionando o en falla, aseguran la funcionalidad del sistema.

Figura 2.4: Configuración en bloque lógico



Fuente: Arata (2013).

El modelo para estimar la confiabilidad de todo el sistema se representa en función de la confiabilidad individual de cada equipo que conforma el sistema del proceso tal como muestra la siguiente ecuación.

$$R_S(t) = f(R_1(t), \dots, R_i(t), \dots, R_n(t)) \forall t \in [0, \infty]$$

Donde:

$R_S(t)$: Confiabilidad total del sistema

$R_i(t)$: Confiabilidad individual de cada componente i del conjunto de n componentes

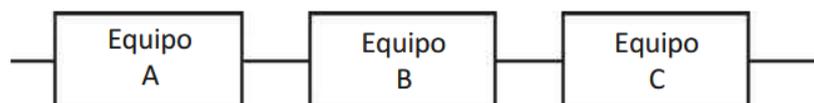
Además, se tienen las siguientes consideraciones:

- La falla individual de un componente que forma parte de todo el sistema es casual e independiente de que se produzca una falla en otro componente diferente del mismo sistema.
- Para poder definir si un componente del sistema está funcionando o en falla, va a depender del modo de funcionamiento de los otros componentes del sistema.

a. Configuración en serie

En esta configuración la falla de un componente individual se considera un hecho independiente, pero si determina que el todo el sistema falle. La configuración en serie se muestra en la figura 2.5

Figura 2.5: Configuración en serie



Fuente: Arata (2013).

Esta configuración denominada en serie, la confiabilidad de todo el sistema se representa como la probabilidad de que ninguno de sus componentes falle en un determinado tiempo. Es decir, la confiabilidad del todo el sistema se determina por el producto de las confiabilidades de cada componente que conforma dicho

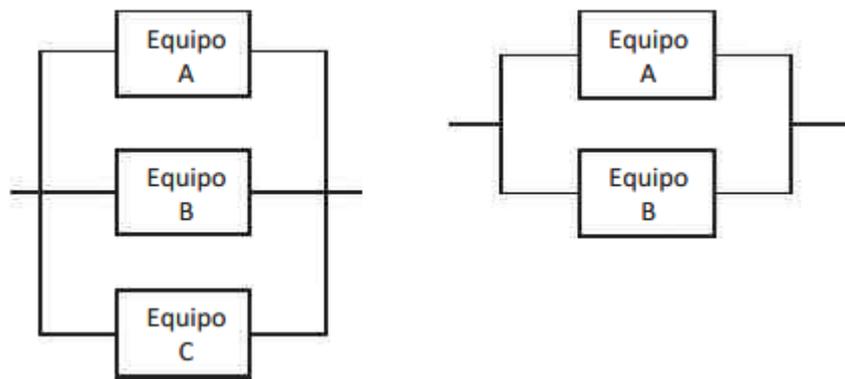
sistema, esto se representa en la siguiente ecuación considerando un sistema conformado por n componentes.

$$R_S(t) = R_1(t) \times R_2(t) \times \dots \times R_n(t) = \prod_{i=0}^{i=n} R_i(t) \quad \forall t \in [0, \infty]$$

b. Configuración en paralelo

Este tipo de configuración es llamado también sistema redundante pues lo que busca es ofrecer una mayor confiabilidad como sistema. La figura 2.6 muestra la configuración del sistema en paralelo.

Figura 2.6: Configuración del sistema en paralelo.



Fuente: Arata (2013).

En un sistema en paralelo considerando la independencia entre componentes del sistema, la probabilidad de que falle dicho sistema es calculado considerando que todo el sistema falla cuando todos los componentes fallan a la vez. Por ello la probabilidad acumulada de que el sistema falle se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$F_S(t) = F_1(t) \times F_2(t) \times \dots \times F_n(t) = \prod_{i=0}^{i=n} F_i(t) \quad \forall t \in [0, \infty]$$

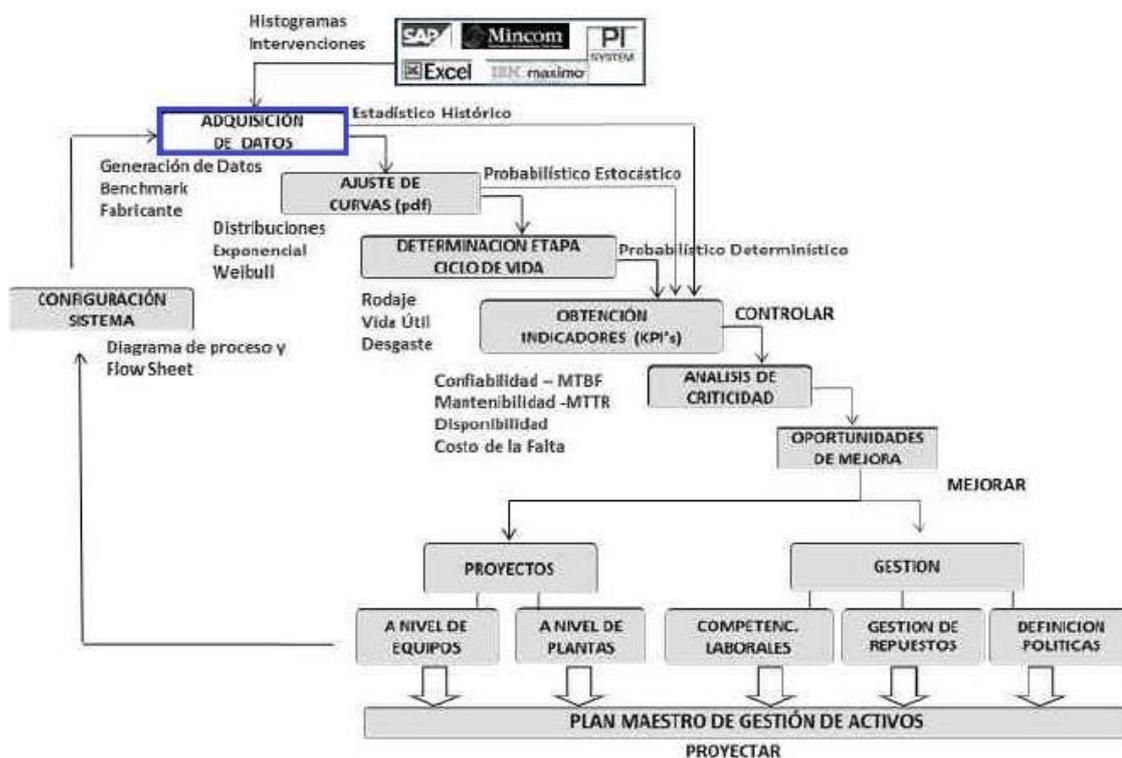
Por lo que el cálculo de la confiabilidad en paralelo es:

$$R_S(t) = 1 - F_S(t) = 1 - \prod_{i=0}^{i=n} F_i(t) \quad \forall t \in [0, \infty]$$

Segunda etapa: Adquisición de datos históricos Después de haber modelado el sistema del proceso usando bloques lógicos bajo el enfoque RBD, en esta

etapa será necesario el conocimiento de las fallas que produjeron detención de las maquinas que conforman el sistema. Es decir, se requiere datos históricos del funcionamiento que representan la manera más fiel de poder caracterizar a un equipo pues esto nos permitirá conocer el desempeño y su rendimiento en un entorno real de operación. Se puede dar el caso de que no sea posible poder conocer el historial de fallas por no haberse llevado un registro o quizá porque la maquina es nueva. La alternativa para contar con información será a través de las referencias o en industrias similares, información de los fabricantes. En la figura 2.7 se muestra la etapa de adquisición de datos bajo el enfoque R-MES.

Figura 2.7: Etapa de adquisición de datos en el enfoque R-MES



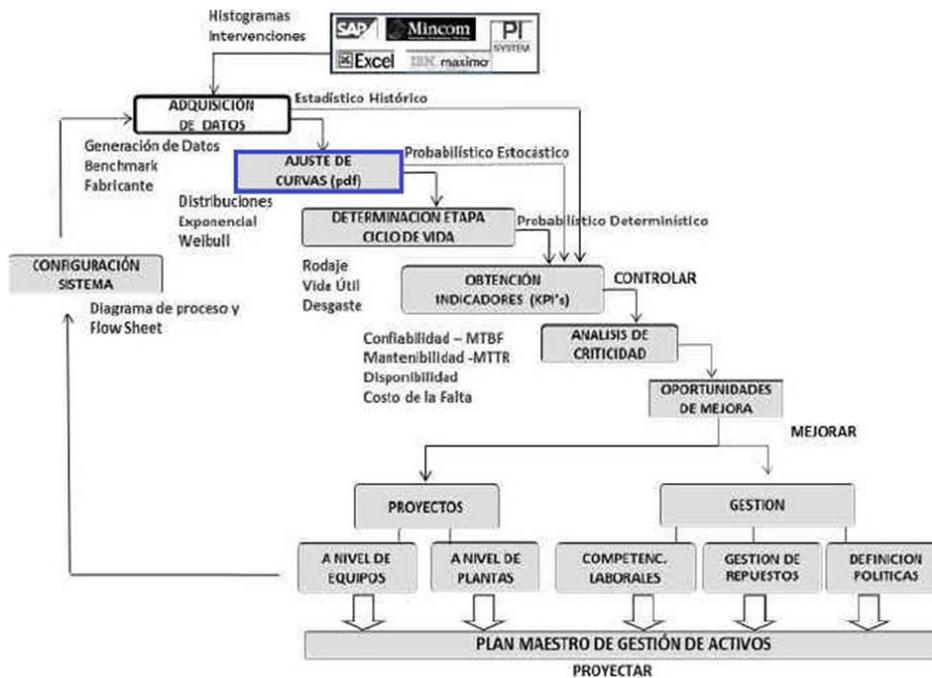
Fuente: Arata (2013).

Para gestionar los activos de forma correcta es imperativo contar con un proceso de obtención, administración, así como el monitoreo permanente de datos generados por los equipos durante su vida útil. Esta información tiene que ser recolectada bajo un enfoque fuerte del concepto de calidad. Existen tecnologías avanzadas para la recolección de datos que son capaces de gestionar actividades de mantenimiento con sus costos asociados.

Tercera etapa: Parametrización de data histórica. Ajuste de curvas

En esta etapa los modelos de distribución probabilística son bastante usados para la resolución y modelamiento de problemas de ingeniería gracias a la ventaja que tienen para la explicación y parametrización de distintas serias de datos en modelos que ya son conocidos. La información histórica de las fallas de un equipo se relaciona directamente con las distribuciones de Weibull y la Exponencial (caso particular de la distribución Weibull). El proceso de ajuste de curvas para poder describir un fenómeno nos permite comprender su comportamiento proyectándonos a estimar su comportamiento futuro. Esta etapa se remarca en la figura 2.8.

Figura 2.8: Ajuste de curvas en el enfoque R-MES

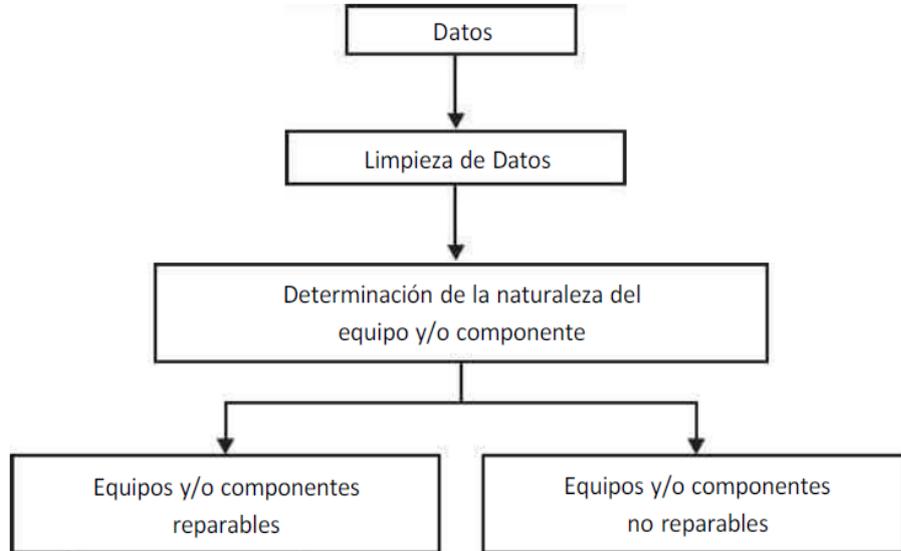


Fuente: Arata (2013).

Esta etapa tiene por objetivo proporcionar la revisión de técnicas útiles para seleccionar un modelo adecuado dependiendo si los equipos analizados son reparables y no reparables después de realizar la limpieza de datos que es paso independiente a la clasificación. Entendiendo que las maquinas reparables son aquellas donde es posible retornar a sus plenas capacidades de funcionamiento por algún método y que las maquinas no reparables son aquellas que después

de la ocurrencia de una falla tiene que ser sustituido por uno nuevo. Este proceso es mostrado en la figura 2.8

Figura 2.9: Diagrama para la parametrización de datos históricos



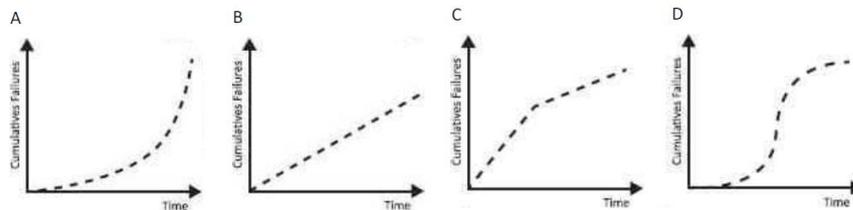
Fuente: Arata (2013).

A. MÉTODOS GRÁFICOS PARA DETERMINAR TENDENCIA

DIAGRAMA DE NELSON-AALEN.

Es un método sencillo para pruebas de tendencia, el cual es un gráfico de fallas acumuladas vs. el tiempo para el sistema observado.

Figura 2.10: Grafico de tiempos acumulados de falla vs tiempo.



Fuente: Arata (2013).

La grafica A muestra claramente que existe una tendencia marcada en los datos de falla, en la gráfica B se aprecia que los datos no representan una tendencia, en la gráfica C se muestra una tendencia doble posiblemente debido a cambios ya sea por algún cambio representativo en políticas de mantenimiento u operativos; y en la gráfica D se muestra una tendencia del tipo no monótona.

B. MÉTODOS ANALÍTICOS PARA DETERMINAR TENDENCIA

Test de Laplace

Test que pertenece al método analítico, más usado para la determinación de la tendencia. Teniendo una muestra de n tiempos que representan la ocurrencia de las fallas: t_1, t_2, \dots, t_n ; se utiliza la siguiente medida estadística de prueba:

$$U_L = \frac{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k t_i - \frac{1}{2} T}{T \sqrt{\frac{1}{12k}}}$$

$k =$ es igual a $(n - 1)$

T : es igual a t_n

Si $U_L = 0$, el proceso es estacionario

Si $U_L < 0$, existe tendencia creciente

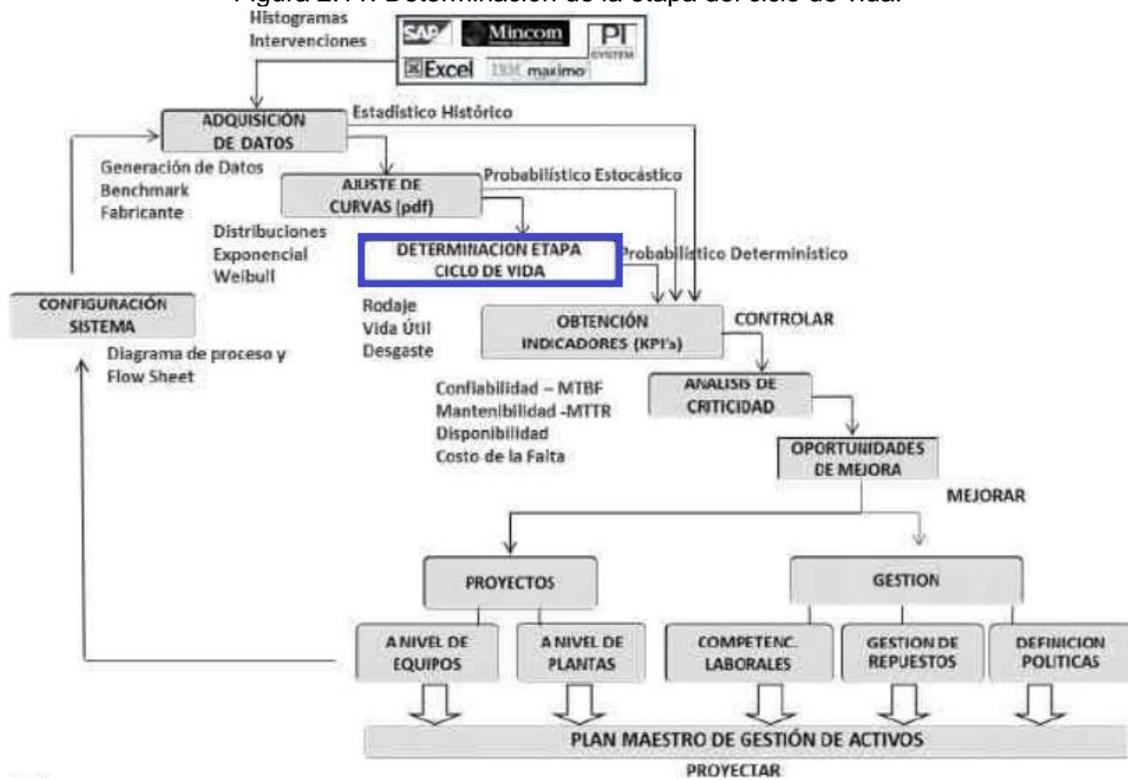
Si $U_L > 0$, existe tendencia decreciente

Para modelar o parametrizar estadísticamente la confiabilidad, las distribuciones Normal, Exponencial y Weibull tienen gran relevancia pues nos permite caracterizar los periodos en la vida de un componente, maquina o sistema.

Cuarta etapa: Determinando la etapa en el ciclo de vida

De acuerdo con la distribución que está ligada al comportamiento de falla de la máquina, es posible establecer la etapa de ciclo de vida del componente, lo cual condiciona de una manera directa las políticas del mantenimiento y la evaluación de la confiabilidad. Se utiliza en el modelamiento el diagrama llamado “curva de la bañera”, el cual establece la tendencia de la tasa de falla correspondiente a cada una de las tres fases: la mortandad infantil o tasa de fallas decreciente, la vida útil que se caracteriza por la tasa de fallas constante y el desgaste en el cual la tasa de las fallas es creciente. En la etapa 2.10 se puede ubicar la cuarta etapa.

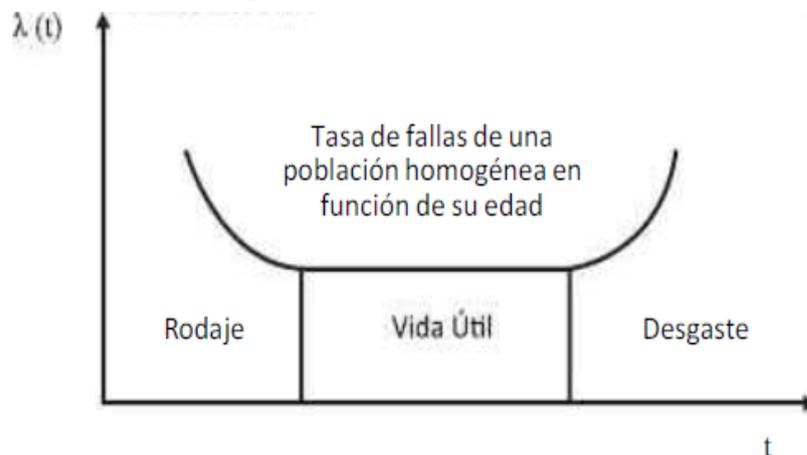
Figura 2.11: Determinación de la etapa del ciclo de vida.



Fuente: Arata (2013).

Es posible caracterizar la confiabilidad de un componente del sistema mediante varios modelos de probabilidades. Estos modelos se caracterizarán dependiendo de la etapa de vida del equipo. En la figura 2.11 se muestra las tres etapas en el ciclo de vida de un equipo.

Figura 2.12: Curva de la bañera.



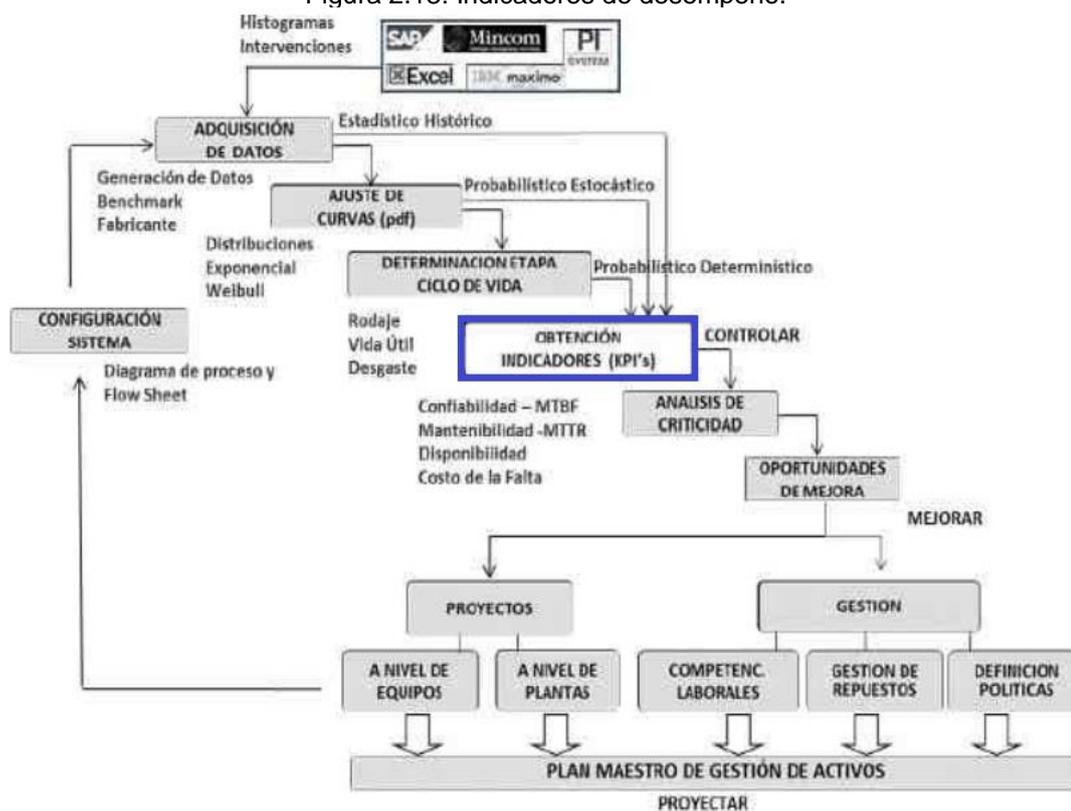
Fuente: Arata (2013).

Donde el eje vertical está representado por la tasa de fallas y el eje horizontal en tiempo.

Quinta etapa: Indicadores de desempeño (KPI's)

En esta etapa se busca obtener el valor de ciertos indicadores históricos y probabilísticos que modelan el comportamiento de los equipos, así como de los sistemas. Esta etapa lo podemos ubicar en la figura 2.12 dentro del enfoque R-MES.

Figura 2.13: Indicadores de desempeño.



Fuente: Arata (2013).

En la actualidad las industrias operadas por organizaciones con un enfoque moderno han incorporado a sus procesos de producción, elementos de gestión que han permitido medir y evaluar los cumplimientos de objetivos y metas, así como identificar brechas que requieran la atención.

La correcta definición de lo que representa un indicador KPI (Key Performance Indicator) por sus siglas en ingles nos permitirá mejorar la gestión de mantenimiento, comparar la gestión con otras empresas, así como realizar el

seguimiento en el tiempo a dicha gestión. En la figura 2.13 muestra los principales indicadores en la gestión del mantenimiento.

Figura 2.14: Indicadores principales en la gestión de mantenimiento.



Fuente: Arata (2013).

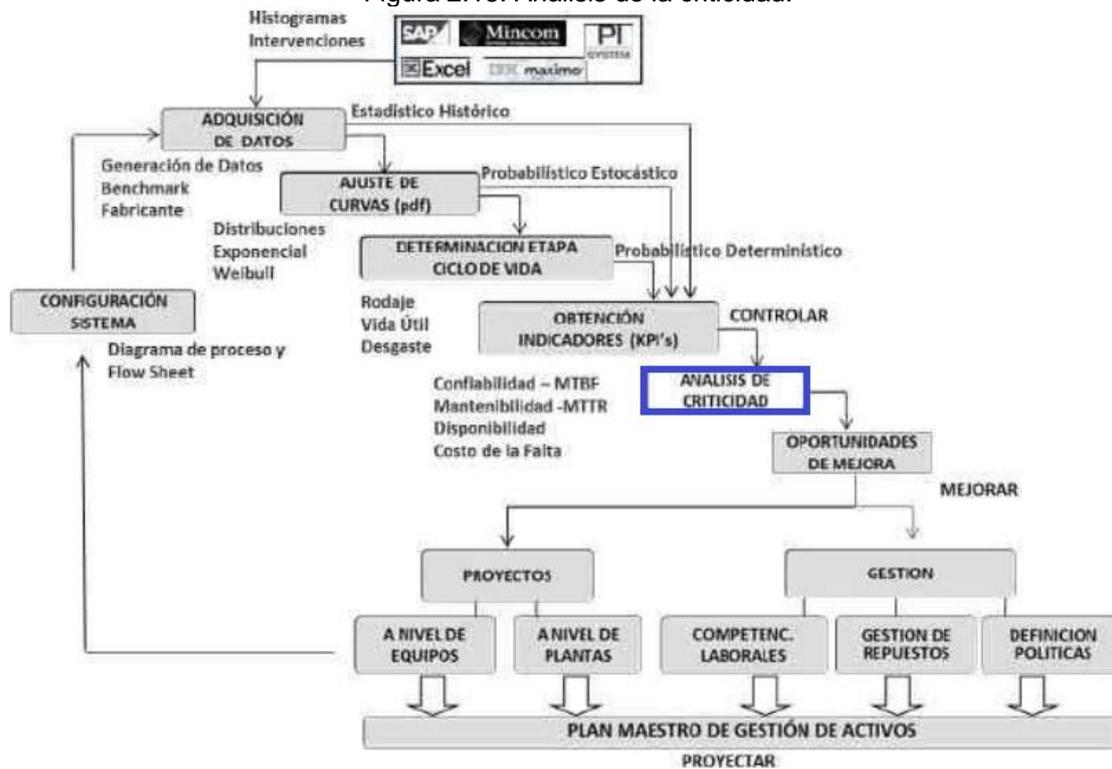
A continuación, se listan algunos ejemplos de KPIs técnicos:

- Confiabilidad
- Tasa de fallas
- MTBF
- MTTR
- Disponibilidad

Sexta etapa: Análisis de la criticidad

Permite focalizar esfuerzos y recursos en aquellos componentes más críticos, por su impacto sobre el sistema, por lo que es una forma de identificar las oportunidades mejora en el negocio. En la figura 2.14 se muestra esta etapa en el enfoque R-MES.

Figura 2.15: Análisis de la criticidad.



Fuente: Arata (2013).

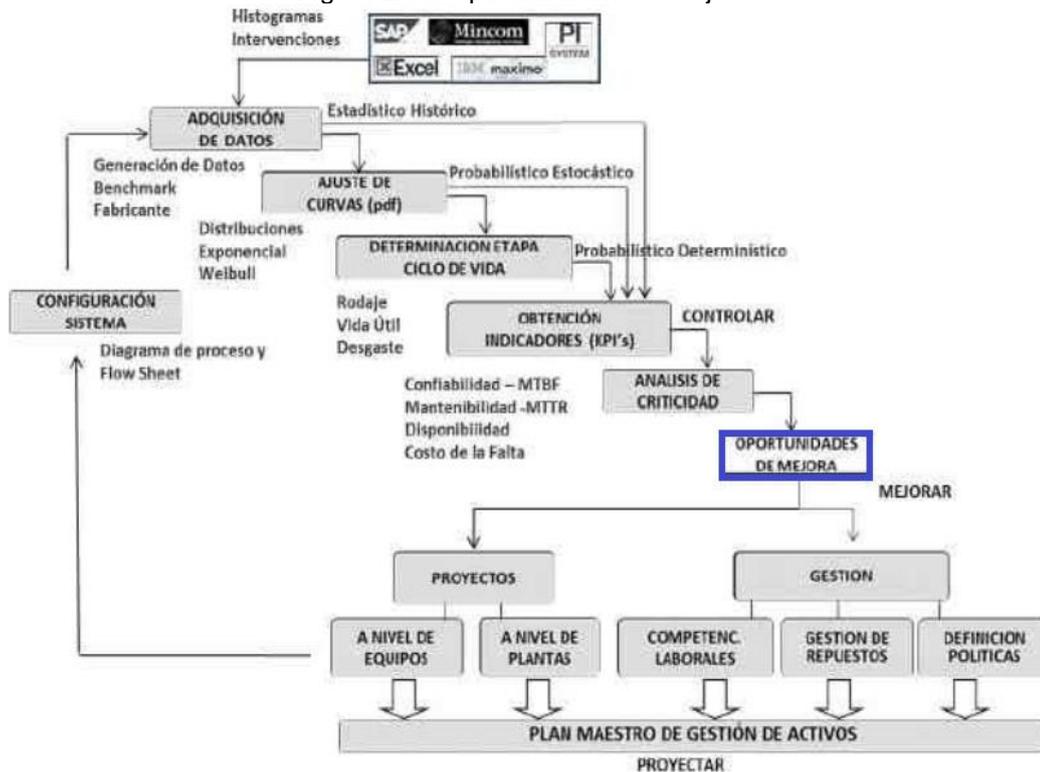
Para poder analizar la criticidad se tienen disponibles un conjunto de metodologías que sirven para definir jerarquías o prioridades en el proceso o sistema, ello según un parámetro denominado como criticidad que tiene una relación proporcional al riesgo. Entre estas técnicas tenemos a las siguientes.

- Gráficos de dispersión
- Diagramas de Pareto
- Diagrama Jack Knife
- Gráfica de Nelson-Aalen
- Matriz de indisponibilidad y consecuencia

Séptima etapa: Oportunidad de mejora

Después de identificar los equipos o componentes críticos, se ejecuta el análisis cualitativo para buscar oportunidades de mejora. Las principales metodologías usadas son: MAFEC, RCM, FMECA, Análisis Causa Raíz, Árboles de Falla, entre otras. Esta etapa dentro del enfoque R-MES se muestra en la figura 2.15.

Figura 2.16: Oportunidades de mejora.



Fuente: Arata (2013).

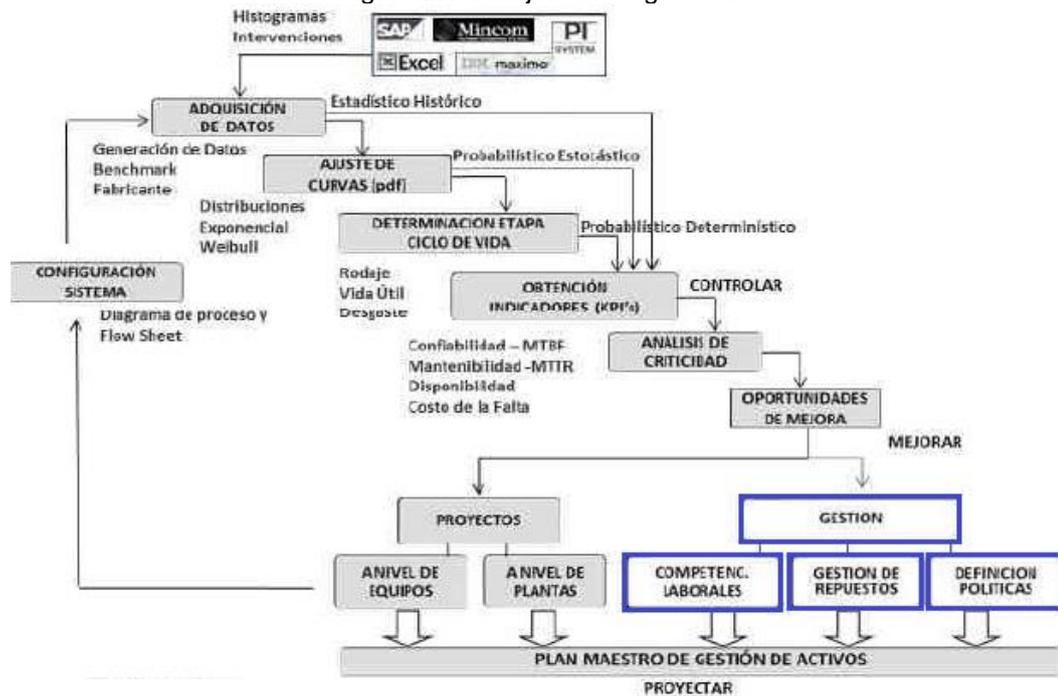
El objetivo en esta etapa es identificar modos de fallas tanto internos como externos u ocultos, para ser estudiados, analizados y trabajar en su mejoramiento.

Las mejoras pueden ser por un cambio en el ámbito de la gestión o por modificaciones del diseño a nivel de equipo o de sistema.

Octava etapa: Mejoras en la gestión

Una mejora en gestión va orientado a establecer políticas nuevas y procedimientos, lo cual permita hacer la eficiencia y eficacia en la forma de operar y realizar mantenimiento a los equipos e instalaciones, lo cual se traduzca en reducción de costos, por lo que los cambios realizados en la gestión se manifestaran en la modificación del plan de mantenimiento. La figura 2.16 muestra esta etapa dentro del enfoque R-MES.

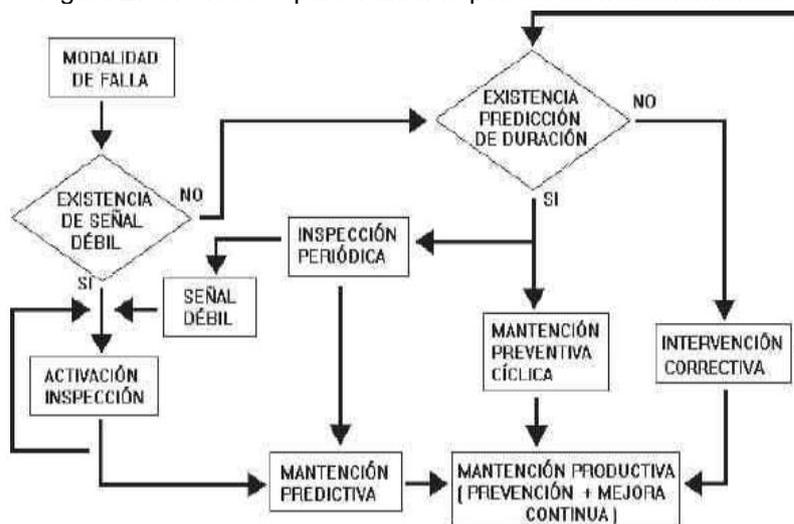
Figura 2.17: Mejora en la gestión.



Fuente: Arata (2013).

Basados en el análisis de las causas raíces que fueron determinadas después de haber estudiado los modos de fallas más relevantes o críticos en el o los equipos críticos del sistema de producción, es factible reevaluar políticas actuales de mantenimiento en dichos equipos para con ello lograr la optimización del desempeño operacional gracias a un eventual cambio. Esto se ve esquematizado en la figura 2.17.

Figura 2.18: Proceso para validar la política de mantenimiento.

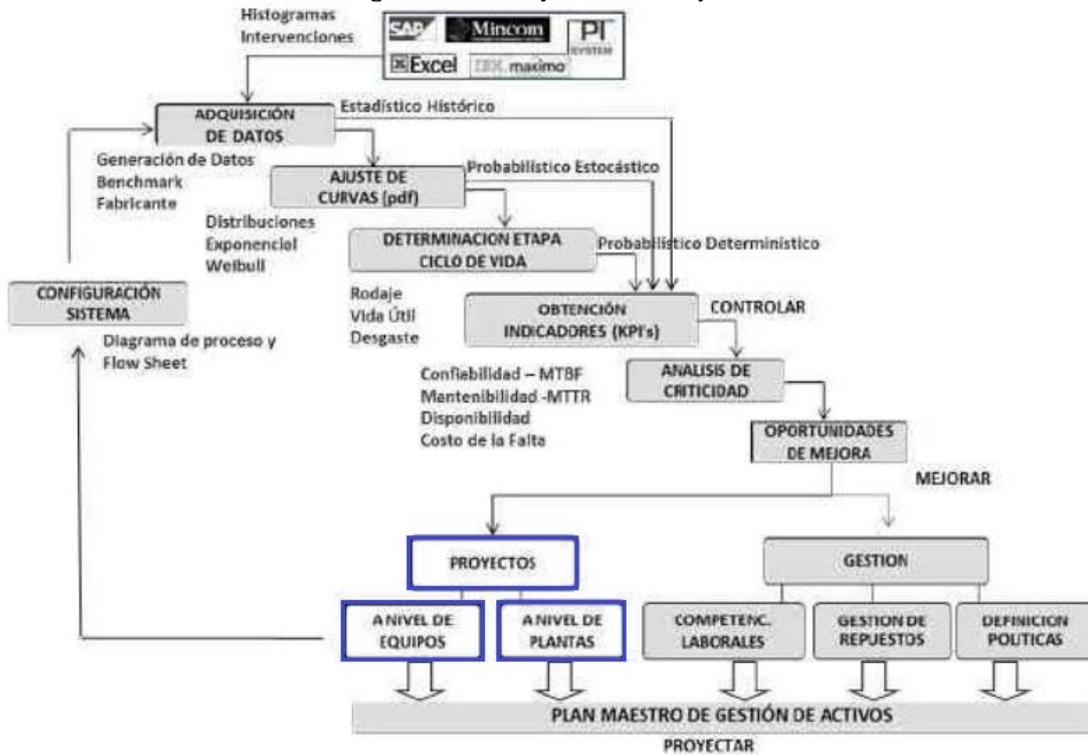


Fuente: Arata (2013).

Novena etapa: Mejoras de proyectos

En las fases de un proyecto o en la operación de una planta, es posible el estudio de cambios para optimizar o mejorar el comportamiento a nivel operacional. Esto mediante cambios o modificaciones vinculados a confiabilidad y mantenibilidad principalmente, pudiendo darse por cambios particulares y por el incremento del nivel de redundancia. En la figura 2.18 se muestra esta etapa dentro del proceso R-MES.

Figura 2.19: Proyectos de mejora.



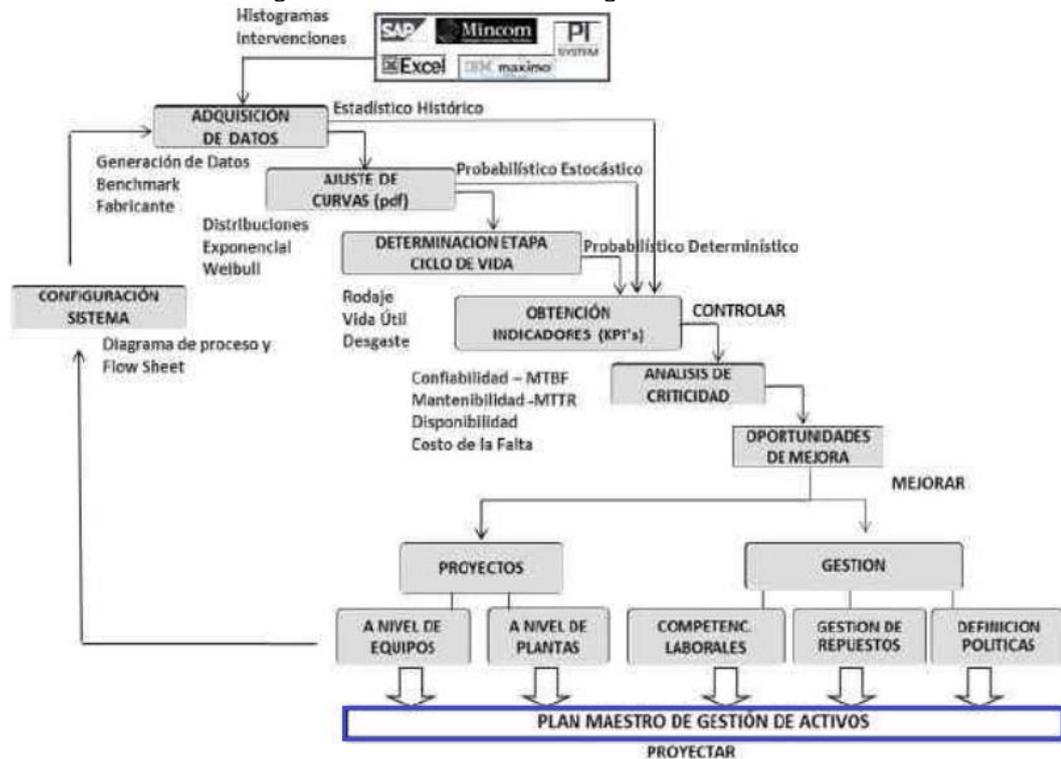
Fuente: Arata (2013).

Como un ejemplo de lo que persigue esta etapa, las alternativas que podrían considerarse pueden ser: reemplazar equipos teniendo en cuenta la tecnología, agregar o incluir la redundancia de equipos a manera de respaldo. Estos cambios podrían obligarnos a reestructurar el diagrama lógico funcional RBD que se discutió en la primera etapa del enfoque R-MES dándose con ello el inicio del ciclo de mejora continua.

Décima etapa: Plan maestro para gestionar activos.

Después del análisis y bajo el sustento económico de todas las oportunidades de mejora que fueron identificadas, se tiene que decidir sobre los beneficios de la implementación de dichas oportunidades. Todo lo que fue implementado se tiene que reflejar el plan productivo de mantenimiento. Esto permite una mejora continua en la gestión de activos e instalaciones representadas con la reducción de costos. Esta etapa se muestra en la figura 2.19.

Figura 2.20: Plan maestro de gestión de activos.



Fuente: Arata (2013).

Si alguna oportunidad de mejora que fue evaluada determinándose que será beneficiosa pero que al final no es implementada por ende no reflejada en el plan de mantenimiento, significara limitar a la ingeniería de confiabilidad.

2.3. Marco conceptual:

2.3.1. Gestión del mantenimiento preventivo

Según la norma SAE JA1011-1999 la gestión del mantenimiento preventivo es un proceso específico utilizado para identificar políticas que van a ser implementadas para manejar modos de fallo lo cual causaría la falla funcional de

cualquier recurso físico en un contexto de operación dado, logrando una estrategia de mantenimiento adecuado u optimizando el actual. Así también, Flores, Gastelu y Ríos (2019) definen a la gestión del mantenimiento como la efectiva y eficiente utilización de los recursos materiales, económicos, humanos y de tiempo para alcanzar los objetivos del mantenimiento, una verdadera gestión es aquella que mediante la planeación de los cuatro procesos administrativos (organizar, controlar, planificar y evaluar) se puede reducir la frecuencia y gravedad de las averías en los equipos, elevando la vida útil, disminuyendo los costos totales de mantenimiento. De igual forma, Rashuman (2019) refiere que la gestión de mantenimiento aplica un conjunto de conocimientos, habilidades, y herramientas sostenidas en la planificación, organización, ejecución y control de las actividades de mantenimiento, con el objetivo de lograr la mayor disponibilidad y confiabilidad de las máquinas, equipos e instalaciones de la empresa, asegurando su vida útil al mínimo costo, máxima calidad y seguridad. También Flores (2016) afirma que el mantenimiento preventivo se refiere a que no se debe esperar a que las máquinas fallen para hacerles una reparación, sino que se programen los recambios con el tiempo necesario antes de que se presente la falla; esto se puede lograr conociendo las especificaciones técnicas de los equipos a través de los manuales. Finalmente, Arata (2023) sostiene que el mantenimiento preventivo es aquél que consiste en realizar ciertas reparaciones o cambios de piezas, al vencer un período de tiempo prefijado, con la finalidad de disminuir la probabilidad de daños y pérdidas de producción.

2.3.2. Mantenimiento centrado en confiabilidad

Según la norma SAE JA 1011-1999, el mantenimiento centrado en confiabilidad es una técnica con el cual es posible identificar las políticas que serán implementadas para poder gestionar los modos de falla que causarían una falla funcional de una máquina o activo físico dentro del entorno de operación dado. La norma también establece criterios mínimos que deberán cumplirse para que el proceso o metodología asociado al mantenimiento, sea considerado o definido como RCM. Este proceso o metodología deberá seguir de forma satisfactoria el siguiente proceso.

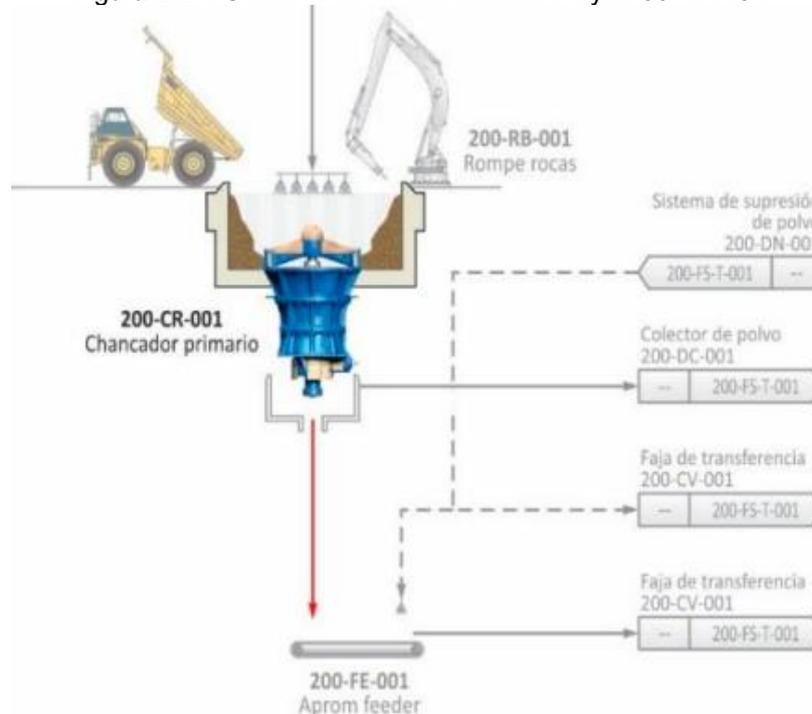
- a) Funciones: Según la norma SAE JA 1011-1999, es el análisis de cuáles son las funciones y cuál sería el rendimiento óptimo, es decir, la disponibilidad óptima de un equipo. Todas las funciones del equipo serán identificadas.
- b) Fallas funcionales: Según la norma SAE JA 1011-1999, se define cómo puede fallar un equipo que está siendo analizado. Es la identificación de todos los estados de falla asociados a cada función.
- c) Modos de falla: Según la norma SAE JA 1011-1999, es la definición de los modos de falla del equipo, es decir los diferentes tipos de avería, sus consecuencias y el riesgo de seguridad de cada uno.
- d) Efectos de la falla: Según la norma SAE JA 1011-1999, es la identificación del efecto que produce la falla por parada parcial o total del equipo. Discrimina y define la importancia de cada falla para darle la solución.
- e) Consecuencia de la falla: Según la norma SAE JA 1011-1999, es la determinación de cuáles son las consecuencias de la materialización de la falla para el proceso y para las personas involucradas. Estas consecuencias están categorizadas.
- f) Tareas proactivas e intervalos de tareas: Según la norma SAE JA 1011-1999, es la selección de las tareas proactivas de mantenimiento. Definición de las tácticas de mantenimiento para predecir y prevenir las fallas. Cuanto mayor sea el riesgo asociado a la falla, más se debe invertir en la prevención.
- g) Acciones implícitas: Según la norma SAE JA 1011-1999, es la definición de que hacer caso de existencia de una falla. Lo más importante es revisar las tácticas. Si las tareas de mantenimiento no están teniendo el efecto esperado, se cambia el plan de mantenimiento. Para ello se define acciones implícitas.

2.3.3. Contexto de operación de la chancadora primaria Traylor 60" x 113"

La chancadora primaria Traylor 60" x 113" es del tipo giratoria con el eje flotante. Este equipo es considerado electromecánico e hidráulico además de ser estacionario o fijo dentro de la instalación donde opera. Este equipo tiene como función la disminución del tamaño del mineral que procesa (proveniente de la mina después de la voladura), en promedio recepciona un tamaño de mineral de 60" y después del proceso de chancado o trituración, este material tiene un tamaño promedio de 6.5". El flujo de diseño o tonelaje de procesamiento es de

7200 toneladas por hora. El tamaño de la chancadora esta denominada por 60" x 113" donde 60" representa la dimensión de la abertura superior por donde se recepciona el mineral ante de ser triturado y 113" representa la dimensión del diámetro mayor del cono o eje principal. Este equipo además cuenta con un sistema de lubricación que no solo sirve para lubricar propiamente, sino que sirve también para la refrigeración de componentes internos y también para realizar la limpieza interna. También se cuenta con una unidad hidráulica para elevar y descender el cono o eje vertical. La chancadora cuenta también con un sistema denominado sello polvo el cual tiene la finalidad de impedir que partículas de polvo producto de la trituración, entren al interior de la chancadora; también se cuenta con un sistema de engrase que minimiza la fricción en la sujeción superior del cono o eje principal. Este equipo se muestra en la figura 2.21

Figura 2.21: Contexto de la chancadora Traylor 60" x 113".



Fuente: Unidad minera.

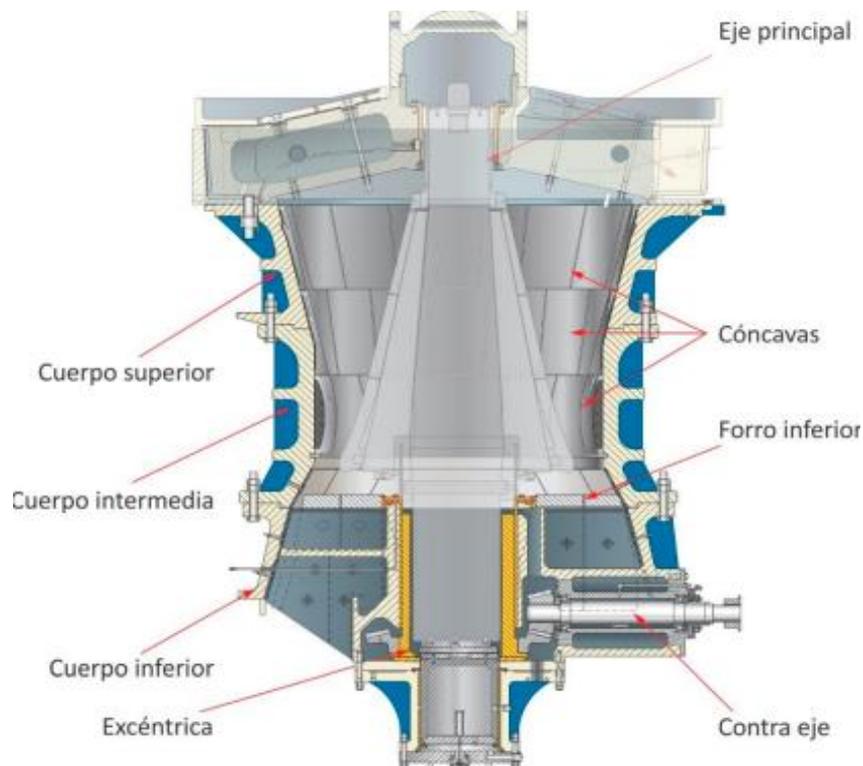
2.3.4. Partes principales de la Chancadora.

A. Cuerpo.

También es denominado Shell o carcaza y está conformado por tres componentes estructurales. El componente inferior aloja al mecanismo de

accionamiento mecánico denominado excéntrica, mientras que los componentes intermedio y superior alojan a los revestimientos que protegen a dichos componentes contra el desgaste, estos revestimientos son denominados cóncavos por su forma geométrica. En la figura 2.22 se señalan los tres componentes que conforman el cuerpo de la chancadora.

Figura 2.22: Cuerpo de la chancadora primaria Traylor 60" x 113"



Fuente: Manual FLSMIDTH (2012).

B. Cono o eje principal:

También denominado main shaft y es un componente en el cual la parte inferior de este se aloja dentro de la excéntrica y la parte superior está acoplado al componente denominado spider o araña. El eje principal está conformado por un eje propiamente, por un núcleo cónico quien es el responsable de darle la forma de cono y por tres revestimientos circulares. El eje principal realiza un giro excéntrico gracias al componente denominado como excéntrica. En la figura 2.23 se muestra los componentes descritos.

Figura 2.23: Eje principal o main shaft.

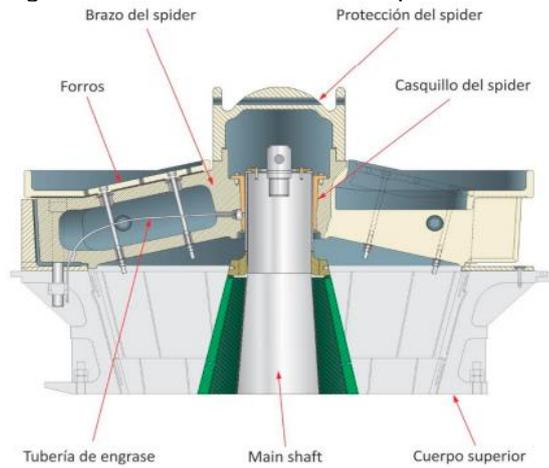


Fuente: Manual FLSMIDTH (2012).

C. Araña o spider

Es un componente estructural que cumple la función de acoplar y sostener al eje principal, por ello tiene una geometría en forma de dos brazos. Cumple con la función de acoplar, soportar al eje principal absorbiendo así las fuerzas radiales que se generan cuando el equipo está triturando al material, además en su interior contempla la instalación de un conducto para el transporte de grasa hacia el acople de sujeción del eje principal. En la figura 2.24 se muestra en corte la araña o spider.

Figura 2.24: Vista de la araña o spider en corte.

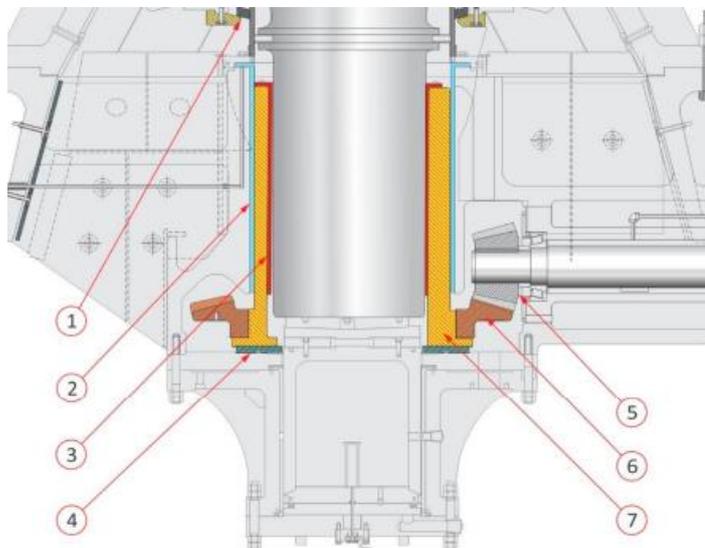


Fuente: Manual FLSMIDTH (2012).

D. Excéntrica

Es un componente mecánico conformado por un cuerpo cilíndrico excéntrico revestido interiormente con un buje de bronce, también está compuesto por una corona dentada dispuesta en toda la periferia del cuerpo cilíndrico. Este componente transmite el movimiento excéntrico al eje principal. La figura 2.25 muestra al componente excéntrico.

Figura 2.25: Excéntrica de la chancadora giratoria.



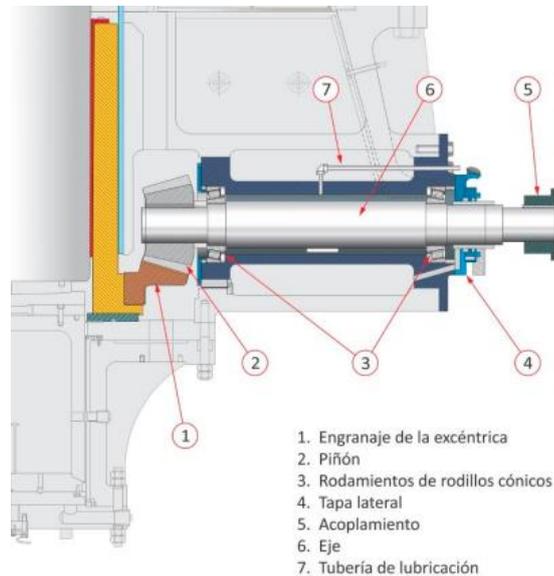
- | | |
|--|-------------------------|
| 1. Anillo de sello de polvo | 5. Piñón del contra-eje |
| 2. Casquillo exterior de la excéntrica | 6. Corona |
| 3. Casquillo interior de la excéntrica | 7. Excéntrica |
| 4. Rodamiento | |

Fuente: Manual FLSMIDTH (2012).

E. Sistema de accionamiento mecánico

Este sistema está conformado por el componente denominado contraeje y el motor eléctrico que se encargan de transmitir la potencia que hace posible que se mueva la excéntrica. En la figura 2.26 se muestra el sistema de accionamiento mecánico.

Figura 2.26: Sistema de accionamiento mecánico.

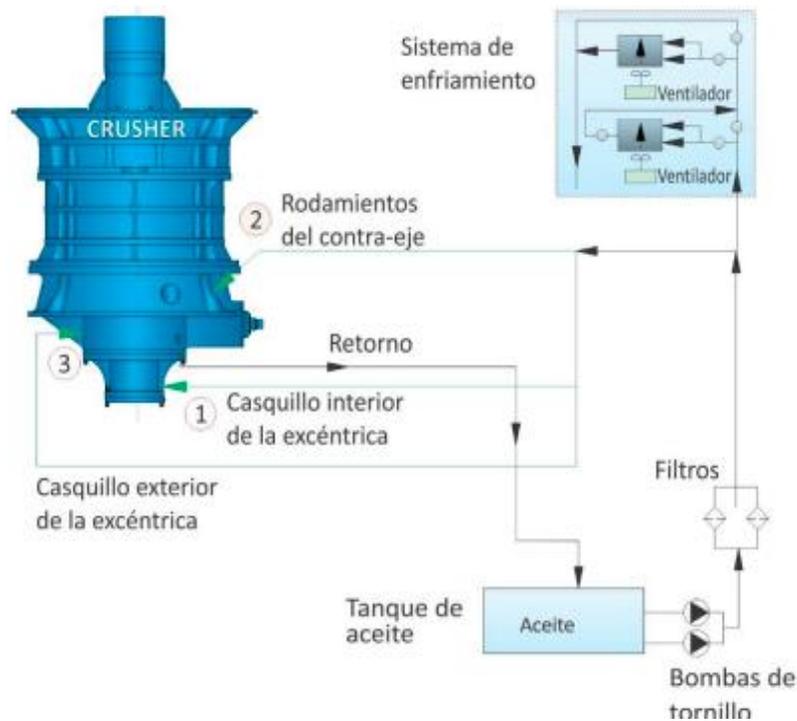


Fuente: Manual FLSMIDTH (2012).

F. Unidad de potencia hidráulica y de lubricación

Está conformada por un tanque rectangular con una división interna en dos compartimientos los cuales almacenan aproximadamente 1000 galones de aceite de especificación ISO 320, este aceite es bombeado hacia la chancadora para lubricar mediante dos bombas de tornillo de 30 HP de potencia (uno en stand by), el aceite también es bombeado hacia el circuito hidráulico mediante una bomba de engranes de 7.5 Hp de potencia. Este tanque de almacenamiento cuenta con tres resistencias eléctricas para el calentamiento del aceite previo al funcionamiento de la chancadora. También se cuenta con dos bancos de filtrado (uno en stand by) que filtran el aceite de lubricación que es bombeado por las bombas de tornillo. El aceite de lubricación después de pasar por los filtros y antes de llegar a la chancadora pasan por unos enfriadores que dan condiciones idóneas de temperatura. En la figura 2.27 se muestra el sistema de lubricación.

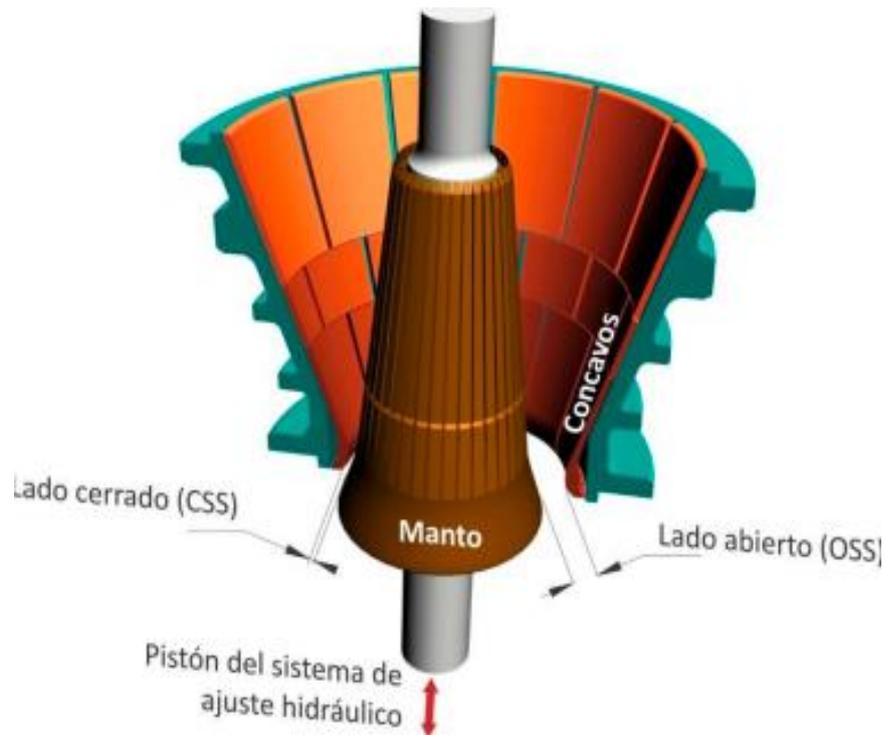
Figura 2.27: Sistema de lubricación.



Fuente: Manual FLSMIDTH (2012).

El sistema para el ajuste hidráulico que sirve para poder calibrar el tamaño del producto después de la trituración de la chancadora está conformado por la bomba hidráulica de engranes que se encarga de enviar aceite al pistón hidráulico situado en la parte inferior del conjunto de la chancadora. Con ello se logra que el eje principal suba o baje ya que el pistón del sistema hidráulico acciona al eje principal. Dentro del sistema de ajuste hidráulico también se cuenta con un acumulador de nitrógeno que es el responsable de absorber sobre presiones generadas por el ingreso de mineral muy duro o elementos extraños que por lo general son metales. Al realizar la subida o bajada del eje principal, se está variando la apertura de la cavidad de trituración, geométricamente esta cavidad de trituración está relacionado a una cavidad abierta denominada OSS (Open Site Setting) por sus siglas en inglés y otra cavidad cerrada opuesta a 180° denominada CSS (Close Site Setting) por sus siglas en inglés, la diferencia matemática de las longitudes de estas dos dimensiones es la excentricidad que caracteriza al componente denominado excéntrica. La figura 2.28 muestra estas dos cavidades.

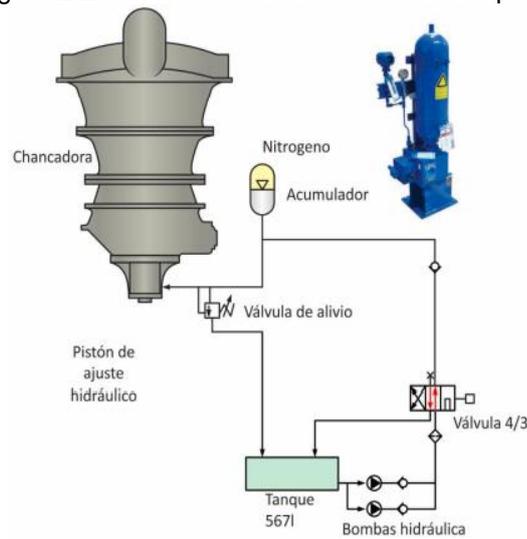
Figura 2.28: Cavidades de trituración.



Fuente: Manual FLSMIDTH (2012).

El sistema hidráulico también considera un mecanismo de absorción de impacto y está conformado por un acumulador de nitrógeno el cual durante el funcionamiento de la chancadora absorbe fuerzas axiales que son provocados por el mineral pudiendo ser esta de elevada dureza, así como también pudiendo ser provocados por elementos extraños que generalmente son metales. En el momento que un mineral duro ingresa a la cavidad de trituración se generan un incremento de presión hidráulica y esto hace que la vejiga que está dentro del acumulador de contraiga para que con ello sea posible que el acumulador almacene más aceite de tal manera que el eje principal descienda y por ende la cavidad de trituración se agrande y así dar pase a que el mineral pueda pasar sin problemas. En la figura 2.29 se muestra el esquema del mecanismo de absorción de impacto del sistema hidráulico.

Figura 2.29: Mecanismo de absorción de impacto.

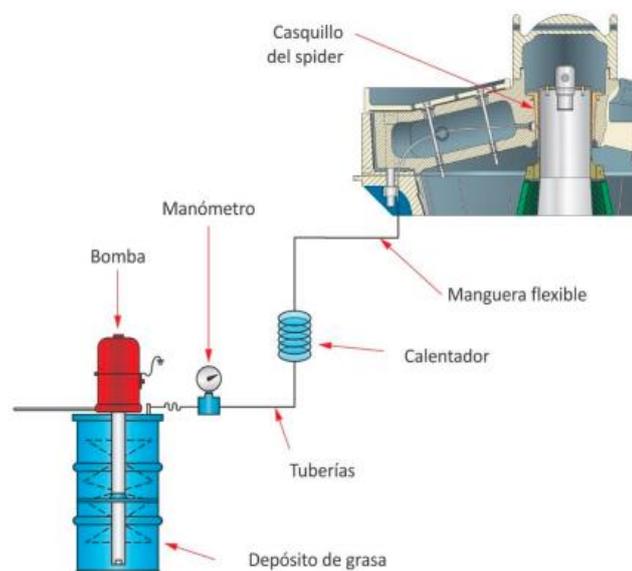


Fuente: Manual FLSMIDTH (2012).

G. Sistema de lubricación de la araña o spider

Este sistema está compuesto por un depósito de grasa de consistencia EP 1 y una bomba eléctrica que tiene la finalidad de enviar grasa hacia el acoplamiento de la araña con el eje principal, considerando en el intermedio un bloque distribuido que se encarga de asegurar que la grasa se alimente a una tasa ya calculada y fija. En la figura 2.30 se muestra el sistema de engrase.

Figura 2.30: Sistema de engrase de la araña o spider.

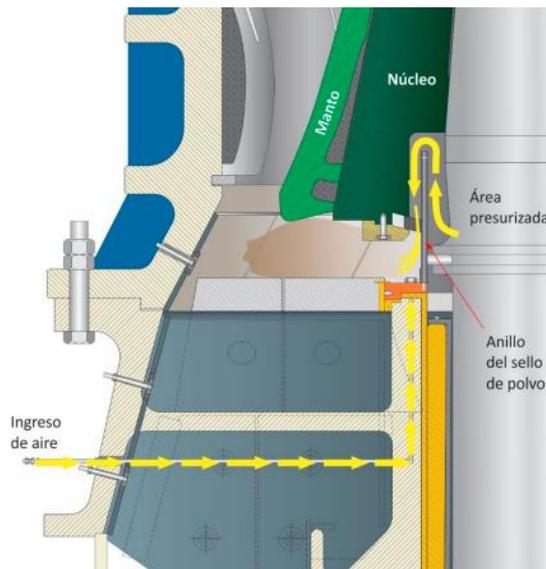


Fuente: Manual FLSMIDTH (2012).

H. Sistema de sellado de polvo

Este sistema está conformado por un soplador o blower que insufla aire a una presión por debajo de 1 PSI hacia el interior de la chancadora con la finalidad de presurizar el compartimiento interno de sellado evitando así que ingrese polvo o material fino que es producto del proceso de trituración del mineral. Al evitar el ingreso del polvo se asegura que dicho polvo no contamine el aceite ni dañe la superficie de la excéntrica ni del eje principal. La figura 2.31 muestra el recorrido del aire que genera el sello de polvo.

Figura 2.31: Recorrido del aire que genera el sello de polvo.

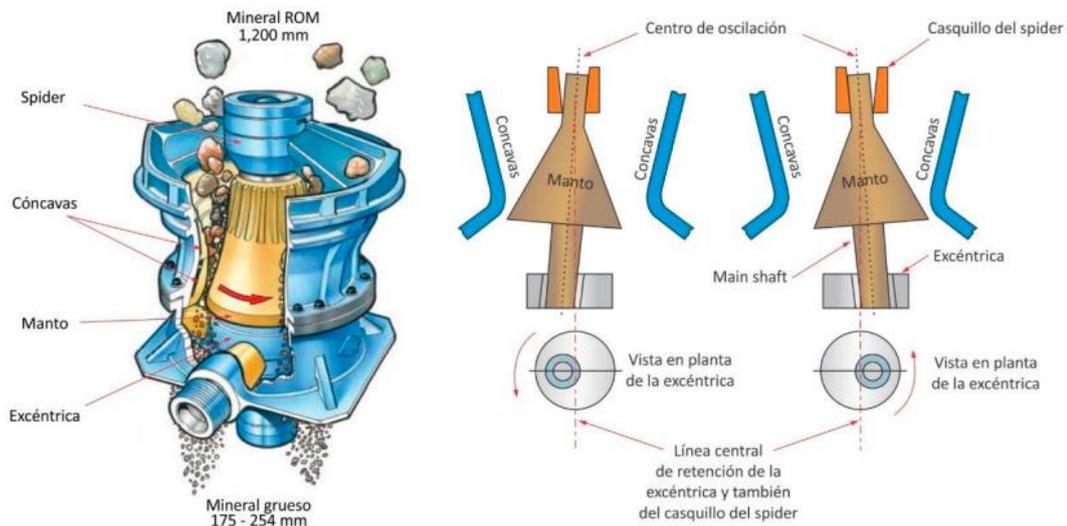


Fuente: Manual FLSMIDTH (2012).

2.3.5. Principio de funcionamiento u operación de la chancadora

El principio de operación se basa en la fuerza de compresión generado por el movimiento excéntrico y oscilatorio de eje principal causado por la excéntrica. La potencia entregada por el motor eléctrico y que es transmitida por el contraeje hacia la excéntrica hace que el eje principal gire excéntricamente a aproximadamente 12 RPM. Esta transmisión del movimiento se refleja en la trituración del mineral tal como se muestra en la figura 2.32.

Figura 2.32: Principio de funcionamiento de la chancadora.



Fuente: Manual FLSMIDTH (2012).

2.3.6. Disponibilidad

Para Pérez (2021) la disponibilidad es la capacidad de una máquina, equipo o sistema para cumplir funciones específicas o requeridas, bajo condiciones de operación dadas, en un tiempo o período determinado. También Andrew (2013) sostiene que la disponibilidad, objetivo principal del mantenimiento, puede ser definida como la confianza de que un componente o sistema que sufrió mantenimiento ejerza su función satisfactoriamente para un tiempo dado. En la práctica, la disponibilidad se expresa como el porcentaje de tiempo en que el sistema está listo para operar o producir, esto en sistemas que operan continuamente. Asimismo, Perez (2021) define a la disponibilidad como la proporción de tiempo que un equipo está en condiciones de operar y realizar la función para la que ha sido diseñado respecto al tiempo total de horas para el periodo considerado. Así también, Viveros (2017) sostiene que la disponibilidad es el porcentaje de tiempo en total en el que una maquina puede realizar la función o funciones para la que fue concebida. Menciona también que la disponibilidad no quiere decir que la maquina esté en funcionamiento, sino el tiempo en el que se encuentra dispuesto para realizar sus funciones de diseño. Finalmente, Arata (2013) sostiene que la disponibilidad es la correspondencia a la aptitud de una máquina de estar en un estado para el cumplimiento de una función que se requiere, en las condiciones dadas, en el momento que requiere y por tiempo requerido, asumiendo que se está asegurada el suministro de los medios asociados.

2.3.7. Mantenibilidad

Según Pérez (2021) la mantenibilidad es la facilidad para la ejecución de los trabajos de mantenimiento asociado a una maquina con la finalidad de retornar a las condiciones originales de operación considerando el empleo del menor tiempo cumpliendo los procedimientos que ya están definidos. La mantenibilidad también se refiere a las medidas tomadas durante el desarrollo, diseño e instalación de un producto manufacturado que reducen el mantenimiento requerido, las horas de trabajo, las herramientas, el costo logístico, los niveles de habilidad y las instalaciones, y aseguran que el producto cumpla con los requisitos para su uso previsto.

Dentro de la mantenibilidad se definen el tiempo medio para reparar (TMPR) y el número de reparaciones #R como indicadores de desempeño.

Tiempo medio para la reparación (TMPR): según Arata (2009), es el tiempo que toma la reparación de un equipo o sistema, tiempo que considera la reparación propiamente, así como las pruebas necesarias que confirmen que el equipo tenga la condición de cumplir con sus funciones. Su cálculo es como sigue.

$$TMPR = \frac{TTM}{\#R}$$

Donde:

TTM: Tiempo total de mantenimiento

#R: Número de reparaciones

Persona especializada: Es una persona de formación profesional y que es especialista en técnicas para la conservación y el monitoreo de máquinas dentro de un proceso productivo. Es capaz de evaluar riesgos e identificar problemas para luego actuar ejecutando medidas preventivas.

2.3.8. Confiabilidad

Según Pérez (2021) es la probabilidad de que un activo cumpla con su función, en un tiempo determinado y bajo un entorno operacional específico hasta que se presente una falla o parada.

Dentro de la confiabilidad se definen el tiempo medio entre fallas (TMEF) y el número de fallas o paradas #F como indicadores de desempeño.

Tiempo medio entre fallas (TMEF): según Arata (2013), es la representación del tiempo promedio que transcurre entre dos fallas en un mismo equipo o máquina. Si su valor es elevado representa que la máquina es más confiable en su funcionamiento y viceversa. Su cálculo es como sigue.

$$TMEF = \frac{(TTD - TDI)}{\#P}$$

TTD: Tiempo total disponible

TDI: Tiempo de inactividad

#P: Número de paradas

Número de fallas o paradas (#P): Según Arata (2013), es la cantidad de veces en que una máquina pierde su condición de funcionamiento debido a alguna avería que le impide cumplir con su función.

2.4. Definición de términos básicos:

- **MTBF (Mean Time Between Failures):** El MTBF por sus siglas en inglés o también denominado TMEF (Tiempo Medio Entre Fallas) por sus siglas en español, hace referencia al tiempo promedio entre cada ocurrencia de falla de una máquina. Es un indicador clave dentro de la gestión de mantenimiento y sirve para el control de dicha gestión por parte de las compañías.
- **MTTR (Mean Time To Repair):** El MTTR por sus siglas en inglés o también denominado TMPR (Tiempo Medio Para Reparar) por sus siglas en español, hace referencia al tiempo promedio que toma la reparación de la falla y reestablecer la máquina operativa. Es un indicador clave dentro de la gestión de mantenimiento y sirve para el control de dicha gestión por parte de las compañías.
- **Falla:** Es un evento no deseado que detiene a un equipo o sistema haciendo que deje de cumplir con sus funciones ya sea en forma total o parcial. Es decir, se altera la capacidad de trabajo de dicha máquina.

- Mantenimiento preventivo: Se denomina así al conjunto de tareas de mantenimiento que se realizan con la finalidad de evitar fallas en los equipos los cuales se desarrolla con una frecuencia establecida.
- OSS: Open Side Setting por sus siglas en ingles. Es la cavidad más abierta de la geometría de trituración de la chancadora.
- CSS: Close Side Setting por sus siglas en ingles. Es la cavidad más cerrada de la geometría de trituración de la chancadora.
- Traylor 60"x113": Es la marca del fabricante de la chancadora giratoria. 60" es la dimensión de la abertura de alimentación y 113" es la dimensión del diámetro del cono de trituración.
- Confiabilidad: Es la certeza que tiene una máquina de cumplir con las funciones para la cual fue diseñada.
- ROM: Run Of Mine por sus siglas en inglés y hace referencia al mineral que proviene de la mina antes de que sea alimentado al circuito de chancado primario.
- SAE: Son las siglas de la Sociedad de Ingenieros Automotrices.
- TPM: Es las siglas del Mantenimiento Productivo Total. Filosofía que implica que la misma persona que opera una maquina es quien también realiza su mantenimiento.
- Parada de Planta: Es la detención total del circuito de producción por un tiempo determinado en el cual se realizará las reparaciones y mantenimientos preventivos para garantizar el funcionamiento.
- Centro de oscilación: Es el eje imaginario estático con respecto al giro del cono de trituración de la chancadora.
- Excéntrica: Es un componente mecánico perteneciente a la chancadora giratoria que tiene la forma externa cilíndrica y cuenta con una perforación cilíndrica, pero con el punto medio desfasado del centro del diámetro mayor.
- Cóncavas: Elementos metálicos rectangulares con la forma placa cóncava que sirve como revestimiento o elemento de desgaste del cuerpo principal de la chancadora.
- Manto: Es el componente cónico que cuenta con un revestimiento metálico que se encarga de la trituración del mineral junto al conjunto de las cóncavas.

- RPM: Son las siglas de Revoluciones por Minuto. Es decir, la cantidad de vueltas que da una maquina en un minuto.

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis general

La gestión del mantenimiento preventivo mejora la disponibilidad de la chancadora Traylor 60"x113" en una minera del sur del país.

3.2. Hipótesis específicas

- a. La gestión del mantenimiento preventivo mejora la mantenibilidad de la chancadora Traylor 60"x113" en una minera del sur del país.
- b. La gestión del mantenimiento preventivo mejora la confiabilidad de la chancadora Traylor 60"x113" en una minera del sur del país.

3.3. Operacionalización de variable independiente

Tabla 3.1: Operacionalización de la variable independiente

Variable 1						
VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍNDICE	MÉTODO Y TÉCNICA
INDEPENDIENTE: GESTION DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO	La norma SAE JA1011 de 1999 refiere que a gestión del mantenimiento preventivo es un proceso específico utilizado para identificar políticas que van a ser implementadas para manejar modos de fallo lo cual causarían la falla funcional.	La gestión del mantenimiento preventivo se evaluará tomando en cuenta las funciones, fallos funcionales, modos de fallas, efectos de falla, consecuencia de la falla, tareas proactivas e intervalos de tarea, y acciones implícitas en consideración a sus elementos observables.	Funciones	Funciones identificadas	Cantidad de funciones que realiza el equipo.	El proceso donde el equipo está involucrado.
			Fallas funcionales	Estados de falla	Tipo específico de falla de un equipo.	Cantidad de fallas funcionales potenciales.
			Modos de falla	Número de modos de falla	Cantidad de modos de fallas en un equipo	Cantidad de modos de falla.
			Efectos de la falla	Efecto producido por la falla	Es la pérdida de alguna función de un equipo.	Pérdida de calidad en la producción.
			Consecuencia de las fallas	Número de categoría de falla	Consecuencia que conlleva un tipo de falla	Cuantificación de pérdida por una falla.
			Tareas proactivas e intervalos de tareas	Número de tareas proactivas	Actividades que se realizan para evitar una falla	Número de tareas dentro del plan de mantenimiento de un equipo.
			Acciones implícitas	Número de acciones implícitas.	Acciones que se ejecutan si el plan implementado después del análisis falla.	Número de tareas implícitas.

3.4. Operacionalización de variable dependiente

Tabla 3.2: Operacionalización de la variable dependiente

Variable 2						
VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍNDICE	MÉTODO Y TÉCNICA
VARIABLE DEPENDIENTE: DISPONIBILIDAD	Perez (2021) afirma que la disponibilidad es la capacidad de una máquina, equipo o sistema para cumplir funciones específicas o requeridas, bajo condiciones de operación dadas, en un tiempo o período determinado	La disponibilidad de la chancadora Traylor 60"x113" en una minera del sur del país tomando en cuenta la mantenibilidad y disponibilidad en consideración a sus elementos observables a través del registro de tiempo de duración de las reparaciones después de una falla, entrevista y evaluación técnica, registro de tiempo de entre fallas en un mismo equipo y registro de fallas.	Mantenibilidad: Según B.S. Dhillon Ph.D. (1999) la mantenibilidad se refiere a las medidas tomadas durante el desarrollo, diseño e instalación de un producto manufacturado que reducen el mantenimiento requerido	Tiempo medio para la reparación (TMPR)	TMPR = TTM / #R TTM: Tiempo total de mantenimiento #R: Numero de reparaciones Persona especializada.	Registro de tiempo de duración de las reparaciones después de una falla. Entrevista y evaluación técnica.
			Confiabilidad: Es la probabilidad de que un activo cumpla con su función, en un tiempo determinado y bajo un entorno operacional específico hasta que se presente una falla.	Tiempo medio entre fallas (TMEF)	TMEF = (TTD - TDI) /#P TTD: Tiempo total disponible TDI: Tiempo de inactividad #P: Número de paradas Número de fallas.	Registro de tiempo de entre fallas en un mismo equipo. Registro de fallas.

IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

4.1. Diseño metodológico

La investigación aplicada se caracteriza por poseer una finalidad práctica e inmediata y bien definida, en otras palabras, la investigación sirve para actuar, variar, cambiar o crear variaciones en un sector de la realidad determinada, se menciona que la investigación experimental, se clasifica en tres clases: preexperimentales, experimentales puros y cuasiexperimentales. La investigación preexperimental tiene un grado mínimo de control, útil como un primer acercamiento al problema real de investigación, no cumple con los requisitos de experimento puro, hay manipulación de la variable independiente, se tiene la certeza para establecer causalidad o relación causa-efecto, es vulnerable a un posible control y validez interna según Hernández (2014).

El presente trabajo de investigación es de tipo preexperimental porque enfocó la atención en la gestión del mantenimiento preventivo que obedece a políticas de mantenimiento basadas en la experiencia pasadas de las personas que lo administran si como de las recomendaciones de los fabricantes de las máquinas. Esta gestión del mantenimiento será analizada para encontrar oportunidades de mejora que justificaran su manipulación de manera intencional con el objetivo de lograr una mejora en la disponibilidad como consecuencia de dicha manipulación. Además, que dentro del estudio de investigación solo podemos controlar el plan de mantenimiento preventivo mas no otras variables como lo son la calidad de la operación de la máquina, el tipo de mineral, etc.

Según Hernández (2014), el enfoque cuantitativo de la investigación representa un conjunto de procesos, es secuencial y es demostrativo. Pues cada etapa del proceso precede a la próxima no pudiendo eludir o saltar los pasos ya que el orden es estricto. Se parte de una idea que se acota y delimita para derivar en objetivos e interrogantes de investigación, se examina la literatura para construir un marco teórico. De las interrogantes se sientan las hipótesis y se determinan las variables, se plantea un plan para poder probarlas, las variables son evaluadas en un contexto determinado, mediante métodos estadísticos se

analizan las mediciones que se obtienen para finalmente extraer una sucesión de conclusiones.

El alcance o nivel de la investigación del presente trabajo es explicativa pues vamos a investigar para determinar ¿en qué medida la gestión del mantenimiento preventivo mejora la disponibilidad de la chancadora Traylor 60" x 113" en una minera del sur del país?

En el presente trabajo de investigación se seguirá un orden o metodología descrita en enfoque R-MES que materializa a la ingeniería de confiabilidad donde los datos históricos de tiempos entre fallas serán analizados mediante modelos matemáticos de distribución probabilística para tener claro el desempeño de las políticas de mantenimiento iniciales, encontrar oportunidades de mejora que se plasmen y modifiquen dicha política con el objetivo de lograr una mejora.

4.2. Método de investigación.

Hernández (2014), sostiene que la finalidad del método sistémico es el estudio del objeto iniciando con la determinación de los elementos que lo conforman, las relaciones y límites que estos presentan, para analizar su estructura y la dinámica propio de su funcionamiento.

En el presente trabajo de investigación se realizó el análisis de los componentes que conforman a la chancadora Traylor 60" x 113", si determino las relaciones que tienen cada una de ellas entre sí, así como los límites de la máquina. Ello con la finalidad de tener claridad de la dinámica de cada elemento cuando la chancadora Traylor 60" x 113" opera.

4.3. Población y muestra.

Hernández (2014), sostiene que la población es el conjunto total de elementos que conforman el espacio territorial donde se encuentra el problema de investigación y tienen características más concretas que el universo. La población por lo general contiene a la muestra. Muchas veces el estudio total de la población suele ser muy costoso. Menciona también que la muestra es una fracción representativa de la población, caracterizada por tener las mismas propiedades de ésta, es posible de estudiar y tiene un tamaño medido el cual

es proporcional al tamaño de la población. La muestra es seleccionada mediante técnicas adecuadas.

En el presente trabajo de investigación, la población y muestra son similares puesto que ambas están conformadas por una chancadora Traylor 60" x 113" de una minera del sur del país donde se centró el estudio.

4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado.

La investigación se realizó en la etapa de chancado primario de la planta concentradora de una minera del sur del país, ubicado en provincia de Cotabambas, y el distrito de Progreso, provincia de Grau, en la Región Apurímac, en el periodo que inicia en abril del 2022 y termina en abril del 2023.

4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.

Según Hernández (2014), las técnicas son una serie de medios que se utilizan para la recolección de la información, entre los más importantes tenemos a la observación, cuestionario, entrevistas y encuestas. Menciona también que los instrumentos son herramientas que usa el investigador para poder acercarse a los hechos y registrar la información.

Las técnicas que se usaron para el desarrollo de la investigación fueron la observación y análisis del comportamiento de la chancadora Traylor 60" x 113" por parte del personal de mantenimiento y revisión de la documentación asociada a la chancadora Traylor 60" x 113".

Por otro lado, los instrumentos que se usaron para el desarrollo de la investigación fueron Software PI System (descripción breve de que consiste) Historial de funcionamiento considerando los tiempos de funcionamiento normal y los tiempos de detención asociado a una falla. Esta información fue extraída del software PI System que es propiedad de la compañía minera. Luego que la información es brindada por el software se descarga en el software Microsoft Word y Excel.

4.6. Análisis y procesamiento de datos.

La data o la información que se analizó en el trabajo de investigación fueron extraídos del software PI System que es una licencia de propiedad de la

compañía minera y forma parte de la automatización empleada, recibiendo y almacenando información que es enviada por la sensoria instalada en las maquinas. Dicho software trabaja en línea con múltiples señales que son emitidas por los equipos cuando están funcionando o detenidos, el comportamiento de estos datos es mostrado en función al tiempo, por ejemplo, el software muestra si el equipo está detenido u operando utilizando para ello la señal del valor de la intensidad de la corriente eléctrica así también muestra el comportamiento de la vibración o temperatura de una máquina mientras opera. Estos datos son guardados en la base de datos de la compañía minera para su análisis, así como para la evaluación de los KPIs de la operación y mantenimiento.

Para el trabajo de investigación, la información historia de detenciones de la maquina es analizada discriminando detenciones que no están asociadas a fallas, pudiendo ser éstas producto de detenciones debido a contingencias sociales, falta de abastecimiento de insumos para la producción, etc. Es decir, la información historia de detenciones se “limpia” para iniciar su análisis asociando a cada detención el motivo que lo suscito, así como también el tiempo que demoro hasta que la maquina entro en operación nuevamente.

El procesamiento del historial de detenciones se realizó utilizando un modelo matemático probabilístico para el cálculo de los KPIs de desempeño.

4.7. Aspectos Éticos en Investigación.

Con respecto al aspecto ético de la investigación, se respeta la autoría de algunos conceptos tomados en la presente investigación citando conforme a lo recomendado en la ISO 690, así mismo se respeta la reserva del nombre de la organización debido a la no aceptación del consentimiento informado por parte de la compañía pues los datos son el reflejo de las políticas de mantenimiento, los datos obtenidos son confiables y fidedignos de la organización además el proyecto de investigación cumple con los índices de similitud aprobados por la escuela de posgrado de ingeniería mecánica y energía.

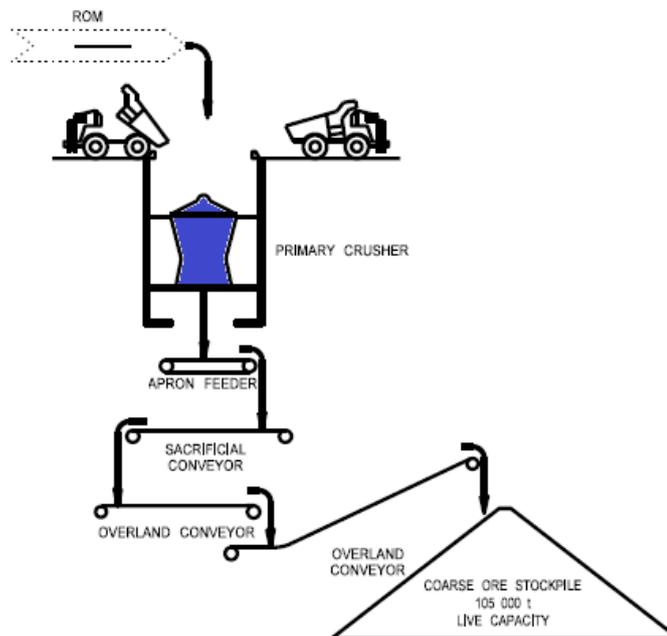
V. RESULTADOS

Desarrollo del enfoque R-MES

Primera etapa: Configuración lógico funcional del sistema

El proceso donde se encuentra inmerso la chancadora Traylor 60" x 113" se muestra en la figura 5.1 donde se representa el flujo del mineral. En dicho grafico se aprecia la representación de dos camiones volquetes de 340 toneladas descargando el mineral a la tolva de recepción que alimenta a la chancadora Traylor 60" x 113", el mineral triturado por acción de la gravedad cae en la tolva de compensación. El alimentador de placas que esta debajo de la tolva de compensación, retira el mineral dosificadamente variando el porcentaje de velocidad para mantener un flujo de tonelaje constante. El alimentador de placas alimenta el mineral dosificado a la faja de sacrificio y esta a su vez alimenta dicho mineral a la faja overland. La faja overland descarga el mineral en el Stock Pile donde es almacenado temporalmente, este stock alimenta al proceso agua abajo y permite continuar el proceso si ocurriera alguna detención del circuito de chancado.

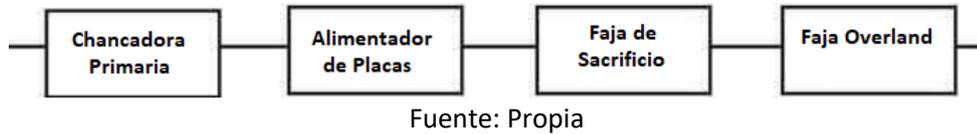
Figura 5.1: Diagrama de proceso de chancado primario.



Fuente: Unidad minera

Según lo que indica el RBD (Reliability Block Diagram), en la figura 5.2 el sistema de procesamiento en la etapa de chancado primario se representa como una red de elementos organizados e identificados que en este caso es representado por una configuración en serie.

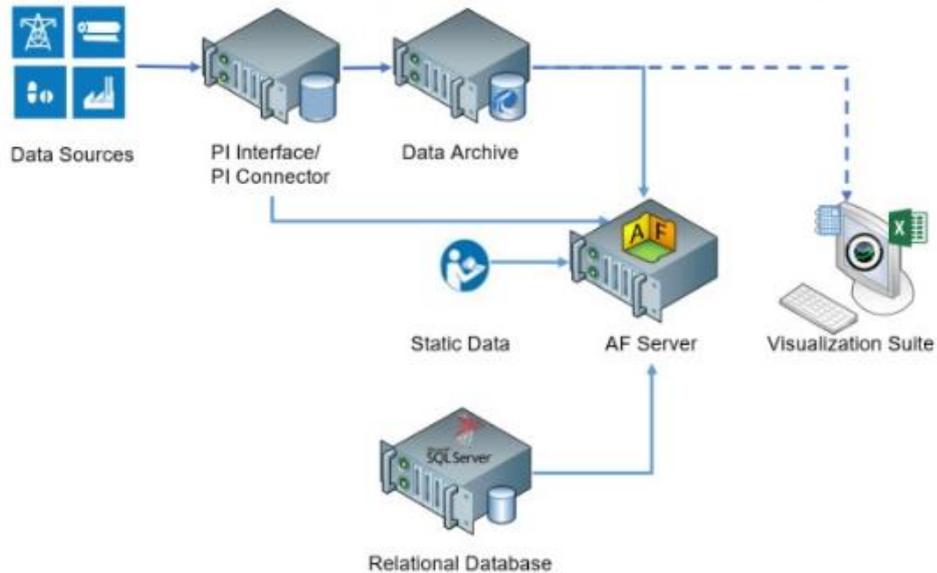
Figura 5.2: Representación lógico funcional del proceso.



Segunda etapa: Adquirir datos.

La obtención de los datos históricos se realiza desde el software PI System el cual almacena diversos datos que la sensorica instalada en todos los equipos dentro del proceso envía en tiempo real como producto de la automatización de la planta concentradora. En la figura 5.3 se representa el manejo y almacenamiento de datos.

Figura 5.3: Manejo y almacenamiento de datos del software PI System.

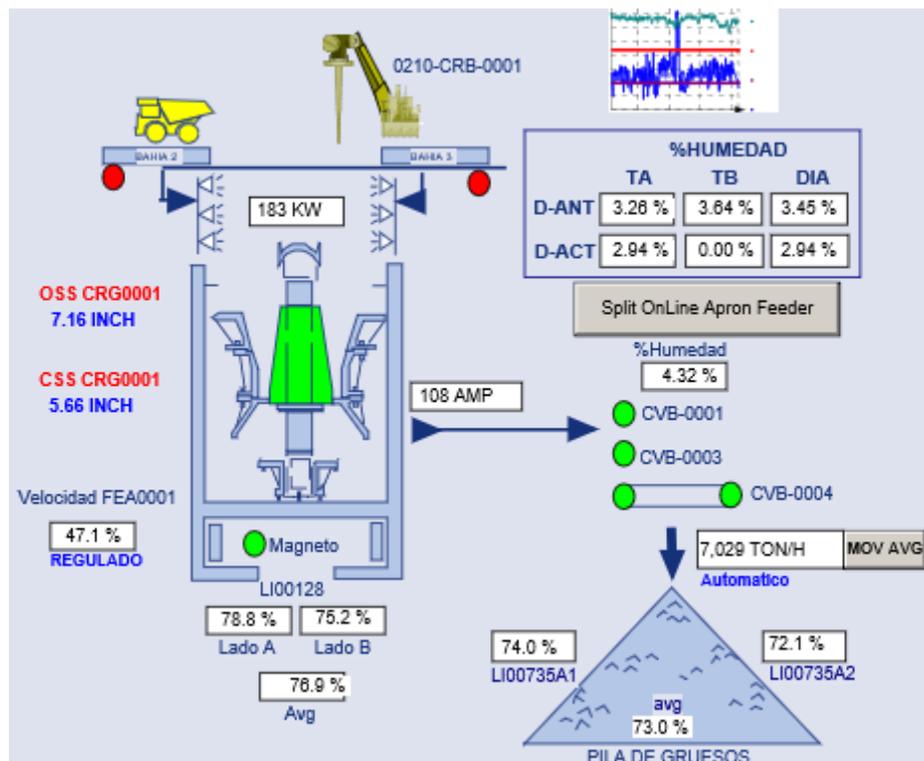


Fuente: Unidad minera

El entorno grafico con el cual interactúa el software PI System representa mediante iconos a todos los equipos inmersos en el proceso que en el caso de la presente investigación corresponde a las maquinas que se tienen instaladas

en el circuito de chancado primario. En la figura 5.4 se muestra como cada icono tiene asociado los parámetros de funcionamiento que son monitoreados en tiempo real. Por ejemplo, para la chancadora Traylor 60" x 113" se puede visualizar la potencia eléctrica que consume el motor eléctrico, los niveles de carga que se tienen en la tolva de compensación, la temperatura del aceite de lubricación, la presión del sistema hidráulico, la posición vertical del eje principal, etc. Este entorno no solo tiene la capacidad de mostrar los parámetros de operación sino que también pueden ser modificados a voluntad por el operador de la sala de control, por ejemplo si el operador decide subir el eje principal 2 milímetros con la finalidad de cerrar la abertura de trituración será suficiente con hacer un clic en esta opción ingresado el nuevo valor de la altura; cuando haga eso, automáticamente el sistema hidráulico se encenderá enviando aceite a alta presión hacia el hidrosset de la chancadora haciendo que este empuje al eje principal hacia arriba, con ello lograr los 2 milímetros de ascenso, al conseguirlo, el sistema hidráulico se detiene automáticamente.

Figura 5.4: Entorno grafico del proceso de chancado primario.



Fuente: Unidad minera

Los datos históricos de detenciones tiene que pasar por una “limpieza”, es decir se deben revisar todas las detenciones y retirar las que no se deban a una falla asociada a la maquina sino que se pueda deber a detenciones por alguna contingencia social, detenciones de seguridad (se da normalmente cuando ocurre un accidente en la unidad minera y se decide detener toda la operación para la retroalimentación de seguridad a todos los trabajadores) o falta de insumos para procesar (falta de combustible, falta de operadores, etc.).

En la tabla 5.1 se muestra los datos históricos después de haberse limpiado y asociado a la falla que ocasiono la detención de la máquina, también se muestra los tiempos que se emplearon para reparar la falla y que la maquina opere nuevamente.

Tabla 5.1: Datos históricos de detenciones en la primera observación.

N°	Motivo de la detención	TBF (h)	TTR (h)
1	Bajo flujo de aceite de lubricación en bujes	170.4	12
2	Alta presión de aceite de lubricación	183.6	6
3	Caída de CAP por agente externo	51.6	24
4	Alta temperatura en el aceite de lubricación en el retorno	21.6	18
5	Falla en sistema de engrase de Spider	242.4	3
6	Caída de CAP por agente externo	103.2	36
7	Caída de eje principal por material inchancable	290	6
8	Falla de acumulador de nitrógeno	260	18
9	Falla de acumulador de nitrógeno	120	24
10	Falla de válvula relief regulable	86.4	6
11	Falla de acumulador de nitrógeno	60	24
12	Desgaste en revestimiento del brazo del contraeje de la chancadora	240	42
13	Sobresaturación en filtro de aceite de lubricación	189.6	6
14	Falla en sistema de engrase de Spider	374.4	15
15	Rotura de manguera de aceite de lubricación de contraeje	244.8	6
16	Caída de CAP por agente externo	26.4	24
17	Alta presión de aceite de lubricación	402	12
18	Alta presión de aceite de lubricación	14.4	12
19	Quemadura de buje interno por material inchancable	450	138
20	Falla en sistema de engrase de Spider	49.2	6

Fuente: Propia

Donde:

TBF: Tiempo entre fallas.

TTR: Tiempo para reparar.

Tercera etapa: Ajuste de curvas.

La prueba de tendencia grafica se realizó con los datos históricos de horas entre las fallas que causaron la detención de la máquina, se empleó el diagrama de Nelson Aalen.

Ordenando la tabla 5.1 según lo solicita el test de Laplace, se tiene la tabla 5.2 donde los tiempos entre fallas están ordenados en forma ascendente.

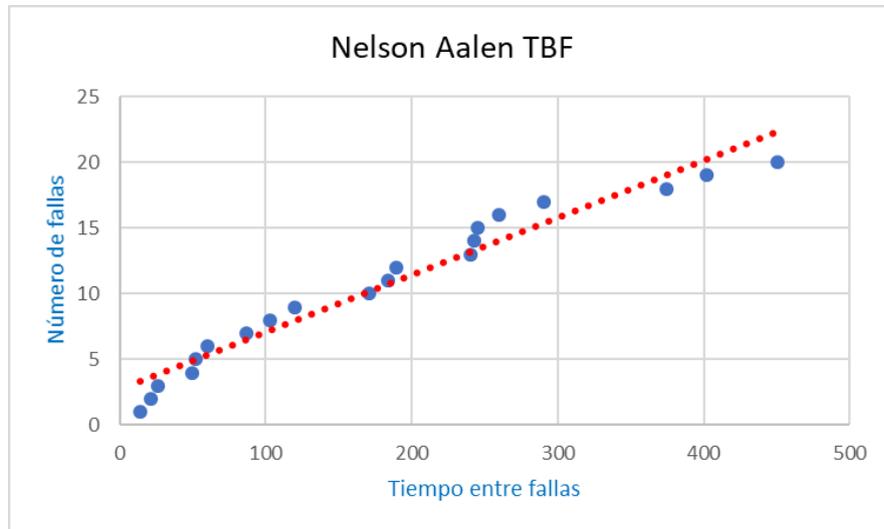
Tabla 5.2: Datos ordenados para el test de Laplace.

N°	Motivo de la detención	TBF (h)
1	Bajo flujo de aceite de lubricación en bujes	170.4
2	Alta presión de aceite de lubricación	183.6
3	Caída de CAP por agente externo	51.6
4	Alta temperatura en el aceite de lubricación en el retorno	21.6
5	Falla en sistema de engrase de Spider	242.4
6	Caída de CAP por agente externo	103.2
7	Caída de eje principal por material inchancable	290
8	Falla de acumulador de nitrógeno	260
9	Falla de acumulador de nitrógeno	120
10	Falla de válvula relief regulable	86.4
11	Falla de acumulador de nitrógeno	60
12	Desgaste en revestimiento del brazo del contraeje de la chancadora	240
13	Sobresaturación en filtro de aceite de lubricación	189.6
14	Falla en sistema de engrase de Spider	374.4
15	Rotura de manguera de aceite de lubricación de contraeje	244.8
16	Caída de CAP por agente externo	26.4
17	Alta presión de aceite de lubricación	402
18	Alta presión de aceite de lubricación	14.4
19	Quemadura de buje interno por material inchancable	450
20	Falla en sistema de engrase de Spider	49.2
	Suma:	3580

Fuente: Propia

En el gráfico de Nelson Aalen se considera el número de detención en el eje de las abscisas y los tiempos entre fallas en el eje de las ordenadas, después de haberlos ordenados como se presenta en la tabla 5.2.

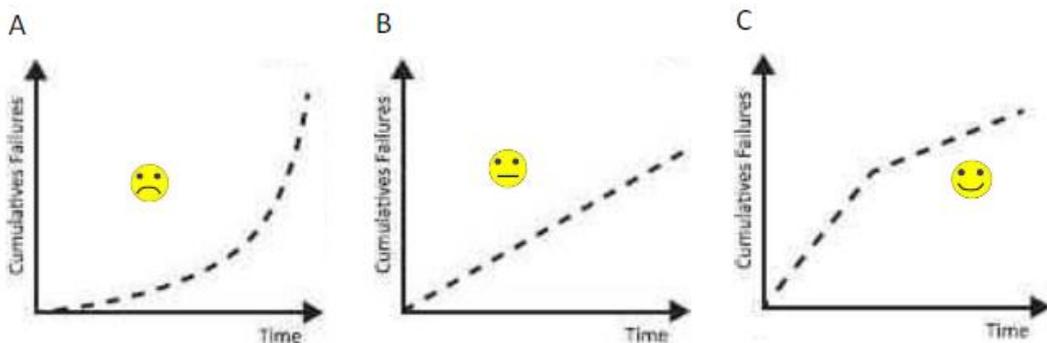
Figura 5.5: Diagrama de tendencia de Nelson Aalen.



Fuente: Propia

En la figura 5.5 se observa una tendencia neutra, es decir que la ocurrencia de una falla es independiente de otra falla. Esta tendencia también es conocida como un sistema neutro (grafico B de la figura 5.6). Existen dos tendencias más una de ellas es la que está representada por una tendencia de fallas creciente en el tiempo (sistema triste mostrado en el grafico A de la figura 5.6) y la otra es una que representa una tendencia de fallas decreciente en el tiempo (sistema feliz mostrado en el grafico C de la figura 5.6).

Figura 5.6: Grafica de tendencia de numero de fallas Vs tiempos entre fallas.



Fuente: Arata (2013)

El hecho que los datos históricos de tiempos entre fallas tienen una tendencia neutra hacen que dichos datos puedan ser analizadas mediante modelos probabilísticos como la distribución de Weibull, distribución exponencial o distribución normal.

Además de la prueba de tendencia grafica es posible realizar la prueba de tendencia analítica denominada test de Laplace, para ello se usó la siguiente ecuación donde se utilizaron los datos históricos de tiempos entre detenciones.

$$U = \frac{\sum_{i=1}^n t_i - \frac{t_0}{2}}{t_0 \cdot \sqrt{\frac{1}{12 \cdot n}}}$$

Donde:

t_0 : Tiempo de la última falla observada.

t_i : Tiempo entre fallas sucesivas.

n : Numero de eventos entre fallas. Para que el test de Laplace se valido $n > 3$

Además:

Para un nivel de significancia de $\alpha = 5\%$, tenemos que si $-1.96 < U < 1.96$, los datos no evidencian tendencia alguna.

Si $U > 1.96$, los datos evidencian una tendencia creciente.

Si $U < -1.96$, los datos evidencian una tendencia decreciente.

Calculando los términos de la ecuación del test de Laplace.

$t_0 = 450$, que es el tiempo de la última falla de la observación.

$n = 20$, es la cantidad de observaciones.

$\sum_{i=1}^{20} t_i = 3580$, es la suma de todos los tiempos entre fallas

Reemplazando estos valores en la ecuación del test de Laplace, se tiene:

$$U = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} - \frac{t_0}{2}}{t_0 \sqrt{\frac{1}{12n}}} = \frac{\frac{\sum_{i=1}^{20} t_i}{20} - \frac{450}{2}}{450 * \sqrt{\frac{1}{12 * 20}}} = \frac{\frac{3580}{20} - \frac{450}{2}}{450 * \sqrt{\frac{1}{12 * 20}}} = -1.584$$

Entonces se observa que: $-1.96 < U = -1.584 < 1.96$

Por lo tanto, el test de Laplace confirma lo que inicialmente fue observado en el gráfico de Nelson Aalen, es decir los datos históricos de tiempos entre fallas siguen una tendencia neutra y por lo tanto es posible utilizar algún modelo matemático probabilístico como la distribución Weibull para la determinación de la confiabilidad.

Cuarta etapa: Determina la etapa en el ciclo de vida.

Se va a modelar la etapa del ciclo de vida de la chancadora utilizando la distribución Weibull. El gráfico de la figura 5.7 muestra la curva de la bañera donde se definen las tres etapas principales en la vida de una máquina.

Figura 5.7: Curva de la bañera



Fuente: Arata 2013

El modelo matemático que se usó para trabajar los tiempos entre fallas es la distribución de Weibull que considera el uso de las siguientes ecuaciones:

La función de densidad de la distribución Weibull, así como los indicadores de mantenimiento están dado por:

$$f(T) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{T - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{T - \gamma}{\eta} \right)^\beta}$$

Donde:

β : Es el factor de forma

η : Es el factor de escala

γ : Es el factor de localización

La función confiabilidad está definida como:

$$R(t) = \int_s^{\infty} f(s)ds = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}}$$

La función desconfiabilidad está dado por:

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}}$$

La función tasa de fallas esta dado por:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}$$

El tiempo medio entre fallas MTBF está dado por la siguiente ecuación, cuando se trabaja con los tiempos entre fallas:

$$MTBF = \eta * \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

El tiempo medio para reparación MTTR está dado por la siguiente ecuación cuando se trabaja con los tiempos para reparación:

$$MTTR = \eta * \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

La disponibilidad en función del MTBF y MTTR se calcula por la siguiente ecuación:

$$Disponibilidad = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Como la función de desconfiabilidad es una ecuación compleja para el estudio directo, se realizó la linealización de dicha ecuación aplicando logaritmos neperianos.

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

Ordenando aritméticamente:

$$\frac{1}{1 - F(t)} = e^{\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

Aplicando logaritmo neperiano a ambos lados de la ecuación:

$$\text{Ln} \left[\frac{1}{1 - F(t)} \right] = \text{Ln} \left[e^{\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \right]$$

$$\text{Ln} \left[\frac{1}{1 - F(t)} \right] = \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta$$

Aplicando logaritmo neperiano nuevamente ambos lados de la ecuación:

$$\text{Ln} \left[\text{Ln} \left[\frac{1}{1 - F(t)} \right] \right] = \beta * \text{Ln} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)$$

$$\text{Ln} \left[\text{Ln} \left[\frac{1}{1 - F(t)} \right] \right] = \beta * \text{Ln}(t - \gamma) - \beta * \text{Ln}(\eta)$$

Lo último se asemeja a una ecuación lineal de la forma:

$$y = \beta * x - b$$

Donde:

$$y = \text{Ln} \left[\text{Ln} \left[\frac{1}{1 - F(t)} \right] \right]$$

$$x = \text{Ln}(t - \gamma)$$

$$b = \beta * \text{Ln}(\eta) \rightarrow \eta = e^{\frac{b}{\beta}}$$

El método de mínimos cuadrados sirve para realizar un análisis de datos con la finalidad de expresar el comportamiento de dichos datos de manera lineal. La expresión general está dada por la ecuación de la recta $y = mx - b$, donde la pendiente está representada por m y el intercepto está representado por b . Estos

valores son calculados de las siguientes ecuaciones considerando que se están analizado n datos:

$$m = \frac{n * \sum(x * y) - \sum x * \sum y}{n * \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$b = \frac{\sum y * \sum x^2 - \sum x * \sum(x * y)}{n * \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

La prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov se emplea para verificar que alguna distribución hipótesis sea confirmada, es decir la distribución asumida como análisis es la que representa de manera adecuada al conjunto de datos.

El parámetro d es calculado con la siguiente ecuación para luego ser comparada con el parámetro $d_{critico}$ proveniente de la tabla 5.3 que está en función del tamaño de la muestra n y del nivel de riesgo aceptable α :

$$d = \max([F(t) - \bar{F}(t)], [F(t) - \bar{F}(t - 1)])$$

Donde:

$F(t)$: Función de desconfiabilidad según los parámetros de la distribución hipótesis

$\bar{F}(t)$: Función de desconfiabilidad obtenida utilizando rangos medios o medianos

La distribución hipótesis será válida si: $d < d_{critico}$

Tabla 5.3: Valores de $d_{critico}$ en función del tamaño de la muestra y del nivel de riesgo.

Tamaño de la muestra - n	Nivel de significancia D = máximo absoluto (Fe-Fo)				
	0.2	0.15	0.1	0.05	0.01
1	0.900	0.925	0.950	0.975	0.995
2	0.684	0.726	0.776	0.842	0.929
3	0.565	0.597	0.642	0.708	0.828
4	0.494	0.525	0.564	0.624	0.733
5	0.446	0.474	0.510	0.565	0.669
6	0.410	0.436	0.470	0.521	0.618
7	0.381	0.405	0.438	0.486	0.577
8	0.358	0.381	0.411	0.457	0.543
9	0.339	0.360	0.388	0.432	0.514

10	0.322	0.342	0.368	0.410	0.490
11	0.307	0.326	0.352	0.391	0.468
12	0.295	0.313	0.338	0.375	0.450
13	0.284	0.302	0.325	0.361	0.433
14	0.274	0.292	0.314	0.349	0.418
15	0.266	0.283	0.304	0.338	0.404
16	0.258	0.274	0.295	0.328	0.392
17	0.250	0.266	0.286	0.318	0.381
18	0.244	0.259	0.278	0.309	0.371
19	0.237	0.252	0.272	0.301	0.363
20	0.231	0.246	0.264	0.294	0.356
25	0.210	0.220	0.240	0.270	0.320
30	0.190	0.200	0.220	0.240	0.290
35	0.180	0.190	0.210	0.230	0.270
>35	1.07 / √n	1.14 / √n	1.22 / √n	1.36 / √n	1.63 / √n

Fuente: Arata (2013)

Para el análisis de los tiempos entre fallas se usó como distribución hipótesis a la distribución de Weibull. Utilizando la tabla 5.2, las ecuaciones que resultaron de la linealización de la distribución de desconfiabilidad de Weibull y las ecuaciones de los mínimos cuadrados se tiene:

Tabla 5.4: Linealización de la distribución de desconfiabilidad de Weibull.

N(t)			X		Y	
	x	y = Fest	Ln (x)	Ln(Ln(1/R))	XY	X2
1	14.4	3.4%	2.667	-3.355	-8.948	7.114
2	21.6	8.3%	3.073	-2.442	-7.503	9.441
3	26.4	13.2%	3.273	-1.952	-6.390	10.715
4	49.2	18.1%	3.896	-1.609	-6.268	15.178
5	51.6	23.0%	3.944	-1.340	-5.284	15.551
6	60	27.9%	4.094	-1.116	-4.568	16.764
7	86.4	32.8%	4.459	-0.921	-4.107	19.883
8	103.2	37.7%	4.637	-0.747	-3.462	21.499
9	120	42.6%	4.787	-0.587	-2.811	22.920
10	170.4	47.5%	5.138	-0.438	-2.251	26.401
11	183.6	52.5%	5.213	-0.297	-1.546	27.173
12	189.6	57.4%	5.245	-0.160	-0.839	27.509
13	240	62.3%	5.481	-0.026	-0.143	30.037
14	242.4	67.2%	5.491	0.107	0.590	30.147
15	244.8	72.1%	5.500	0.243	1.337	30.255
16	260	77.0%	5.561	0.384	2.135	30.921
17	290	81.9%	5.670	0.535	3.033	32.148

18	374.4	86.8%	5.925	0.704	4.173	35.109
19	402	91.7%	5.996	0.910	5.458	35.957
20	450	96.6%	6.109	1.216	7.426	37.323
Suma	3580		96.159	-10.889	-29.967	482.045

Fuente: Propia

Cálculo del MTBF (lineal):

$$MTBF_{lineal} = \frac{\sum_{i=1}^{20} x_i}{20} = \frac{3580}{20} = 179 \text{ horas}$$

Cálculo de los coeficientes de la ecuación de la recta $y = mx - b$

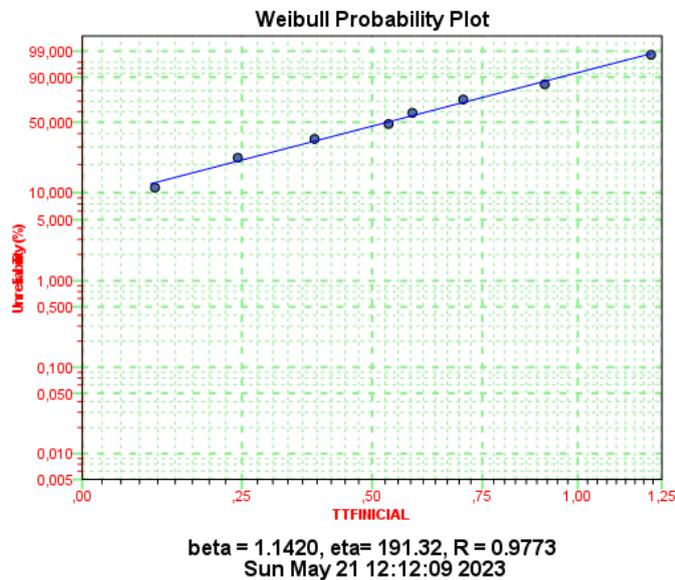
$$m = \frac{n * \sum(x * y) - \sum x * \sum y}{n * \sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{20 * (-29.967) - 96.159 * (-10.889)}{20 * 482.045 - 96.159^2} = 1.14$$

$$b = \frac{\sum y * \sum x^2 - \sum x * \sum(x * y)}{n * \sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{(-10.889) * 482.045 - 96.159 * (-29.967)}{20 * 482.045 - 96.159^2} = 6$$

Por lo tanto, el parámetro de forma de la distribución Weibull es: $\beta = 1.14$

Además, el parámetro de escala de la distribución Weibull es: $\eta = e^{\frac{b}{\beta}} = e^{\frac{6}{1.14}} = 197.83$

Figura 5.8: Gráfico para cálculo de beta para el MTBF según SPSS v27



Fuente: Propia

La prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov, utilizando la tabla 5.4 y las ecuaciones mencionadas líneas arriba:

Tabla 5.5: Prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov.

N(t)	x	y = Fest	X Y		XY	X2	R	F*	K-S (Weibull 2P)	
			Ln (x)	Ln(Ln(1/R))					ABS(F*- Fest)	F* - Fest(t-1)
1	14.4	3.4%	2.667	-3.355	-8.948	7.114	95%	5%	0.01543	
2	21.6	8.3%	3.073	-2.442	-7.503	9.441	92%	8%	0.00565	0.04336
3	26.4	13.2%	3.273	-1.952	-6.390	10.715	90%	10%	0.03578	0.01324
4	49.2	18.1%	3.896	-1.609	-6.268	15.178	81%	19%	0.00474	0.05376
5	51.6	23.0%	3.944	-1.340	-5.284	15.551	80%	20%	0.03502	0.01400
6	60	27.9%	4.094	-1.116	-4.568	16.764	77%	23%	0.05201	-0.00300
7	86.4	32.8%	4.459	-0.921	-4.107	19.883	68%	32%	0.00526	0.04376
8	103.2	37.7%	4.637	-0.747	-3.462	21.499	62%	38%	0.00228	0.05130
9	120	42.6%	4.787	-0.587	-2.811	22.920	57%	43%	0.00621	0.05523
10	170.4	47.5%	5.138	-0.438	-2.251	26.401	43%	57%	0.09456	0.14358
11	183.6	52.5%	5.213	-0.297	-1.546	27.173	40%	60%	0.07646	0.12548
12	189.6	57.4%	5.245	-0.160	-0.839	27.509	39%	61%	0.04085	0.08987
13	240	62.3%	5.481	-0.026	-0.143	30.037	29%	71%	0.08962	0.13864
14	242.4	67.2%	5.491	0.107	0.590	30.147	28%	72%	0.04464	0.09366
15	244.8	72.1%	5.500	0.243	1.337	30.255	28%	72%	0.00038	0.04863
16	260	77.0%	5.561	0.384	2.135	30.921	26%	74%	0.02528	0.02374
17	290	81.9%	5.670	0.535	3.033	32.148	21%	79%	0.03217	0.01685
18	374.4	86.8%	5.925	0.704	4.173	35.109	13%	87%	0.00535	0.05437
19	402	91.7%	5.996	0.910	5.458	35.957	11%	89%	0.02343	0.02559
20	450	96.6%	6.109	1.216	7.426	37.323	8%	92%	0.04433	0.00469
Suma	3580		96.159	-10.889	29.967	482.045			Max Valor d	0.14358

Fuente: Propia

De la tabla 5.3 considerando un nivel de riesgo de $\alpha = 5\%$ y $n = 20$ datos se tiene:

$d_{critico} = 0.294$, además de la tabla 5.4 se tiene:

$$d = \max([F(t) - \bar{F}(t)], [F(t) - \bar{F}(t - 1)]) = 0.144$$

Por lo tanto: $d_{critico} > d \rightarrow$ La distribución hipotesis es correcta.

De la figura 5.7 se concluye que la chancadora Traylor 60" x 113" está en una etapa de desgaste dentro del ciclo de vida ya que $\beta = 1.14 > 1$.

Se concluye también que los tiempos entre fallas se ajustan correctamente a una distribución Weibull ya que $d_{critico} > d$

Quinta etapa: Obtener indicadores de desempeño KPIs

En esta etapa se realizó el cálculo de los indicadores de desempeño o KPIs con los cuales se culminó la primera observación de seis meses de duración que equivalen a aproximadamente 4320 horas. Considerando los parámetros calculados de la distribución Weibull $\beta = 1.14$ y $\eta = 197.83$.

Usando la tabla 5.5 y las ecuaciones de densidad de fallas $f(t)$, confiabilidad $R(t)$, desconfiabilidad $F(t)$, tasa de fallas $\lambda(t)$ y MTBF, se obtiene la tabla 5.5 para diversos valores de tiempos expresados en horas.

Tabla 5.6: Indicadores de desempeño asociados a los tiempos entre fallas.

t	R(t)	F(t)	$\lambda(t)$	f(t)	MTBF (1/ $\lambda(t)$)
10	97%	3%	0.004	0.003702674	261.1189802
20	93%	7%	0.004	0.003906615	237.6952434
30	89%	11%	0.004	0.003952393	224.9797971
40	85%	15%	0.005	0.003927332	216.3727381
50	81%	19%	0.005	0.00386232	209.9240015
60	77%	23%	0.005	0.003772514	204.7979338
70	74%	26%	0.005	0.003666685	200.5616843
80	70%	30%	0.005	0.003550434	196.962973
90	66%	34%	0.005	0.003427578	193.8423208
100	63%	37%	0.005	0.003300834	191.0927217
110	60%	40%	0.005	0.003172192	188.6390211
120	57%	43%	0.005	0.003043145	186.4264891
130	54%	46%	0.005	0.002914821	184.4140805
140	51%	49%	0.005	0.002788083	182.5702533
150	48%	52%	0.006	0.002663593	180.8702654
160	46%	54%	0.006	0.002541854	179.2943652
170	43%	57%	0.006	0.002423245	177.8265435
180	41%	59%	0.006	0.002308049	176.4536518
190	38%	62%	0.006	0.00219647	175.1647639
200	36%	64%	0.006	0.002088648	173.9507061
210	34%	66%	0.006	0.001984671	172.8037043
220	32%	68%	0.006	0.001884584	171.7171153
230	31%	69%	0.006	0.001788402	170.6852196
240	29%	71%	0.006	0.001696106	169.703059

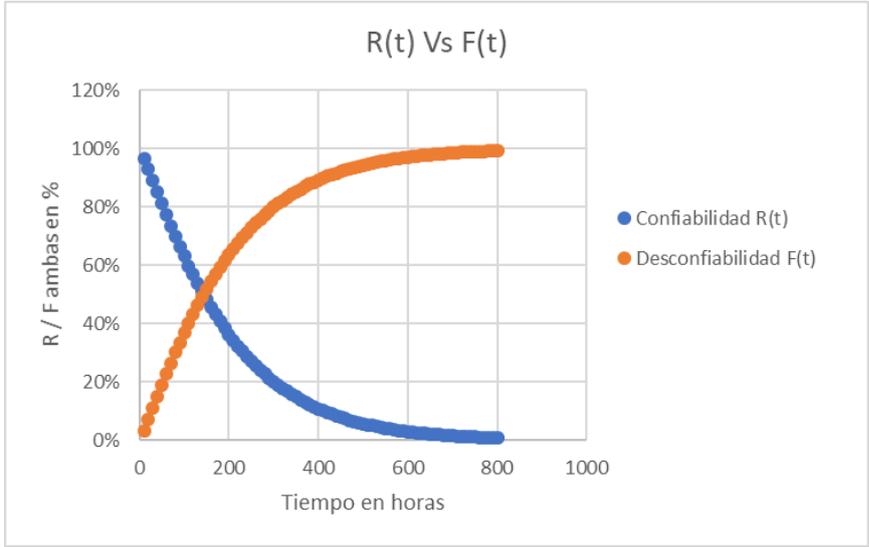
250	27%	73%	0.006	0.00160766	168.7663086
-----	-----	-----	-------	------------	-------------

Fuente: Propia

Las gráficas de cada indicador de desempeño a partir de la tabla 5.6 son:

La Confiabilidad $R(t)$ Vs Desconfiabilidad $F(t)$ se muestra en la figura 5.9.

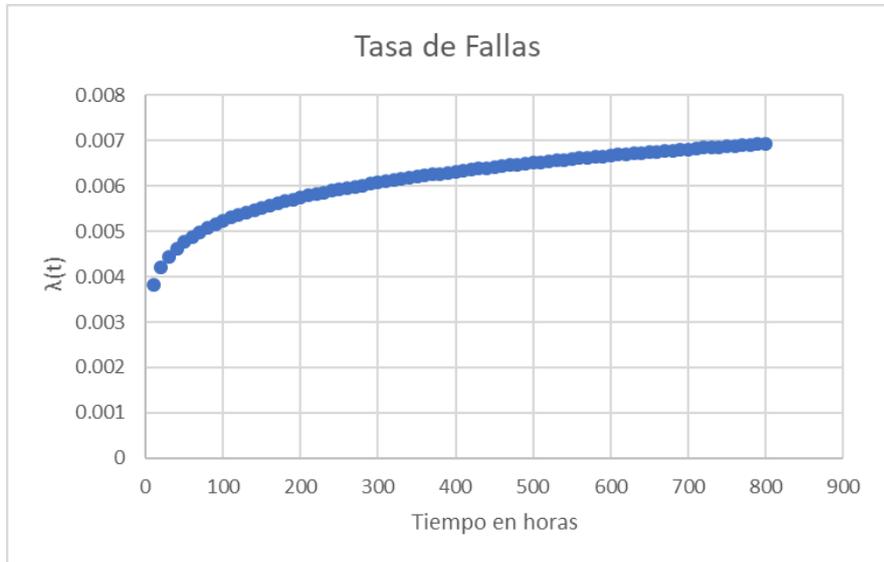
Figura 5.9: $R(t)$ Vs $F(t)$



Fuente: Propia

La tasa de fallas $\lambda(t)$ de muestra en la figura 43

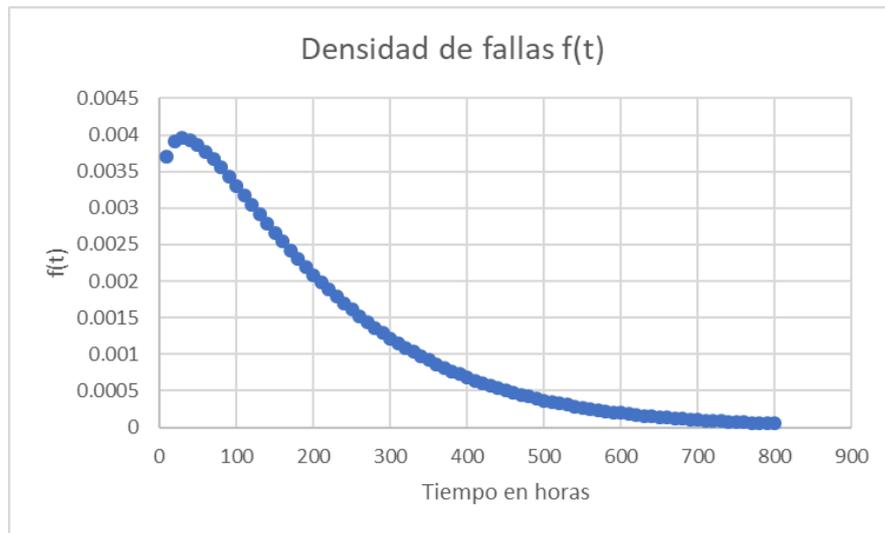
Figura 5.10: Tasa de fallas $\lambda(t)$.



Fuente: Propia

La distribución de densidad de fallas se muestra en la figura 44.

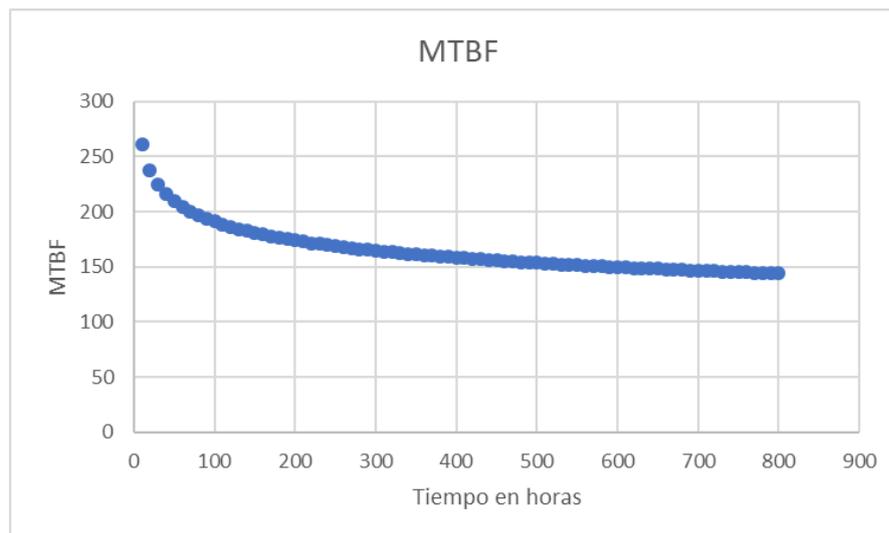
Figura 5.11: Densidad de fallas $f(t)$.



Fuente: Propia

El MTBF se muestra en la figura 45.

Figura 5.12: MTBF



Fuente: Propia

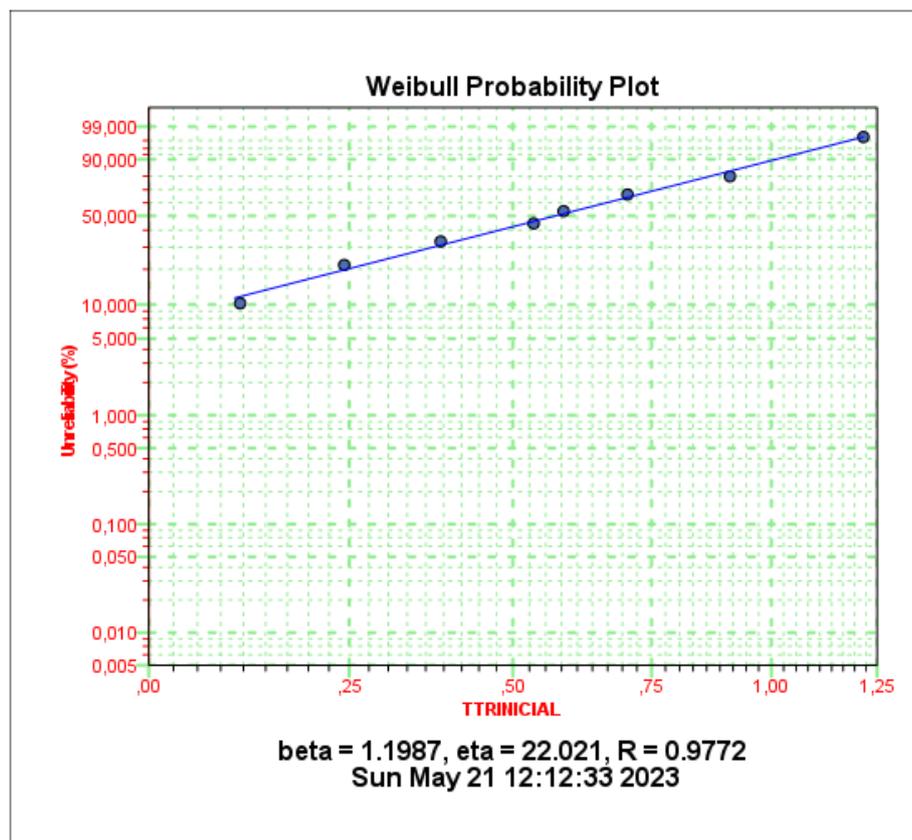
Además, el tiempo promedio entre fallas MTBF utilizando los parámetros de la distribución Weibull $\beta = 1.14$ y $\eta = 197.83$, para el periodo de observación de aproximadamente seis meses de los tiempos entre fallas es:

$$MTBF = \eta * \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) = 197.83 * \Gamma\left(1 + \frac{1}{1.14}\right) = 188.98 \text{ horas}$$

Para determinar el tiempo promedio para reparar MTTR, se realiza la misma distribución de Weibull considerando los valores observados de TTR (tiempos para reparar) y que están listados en la tabla 5.1. Lo que nos da como parámetros de la distribución Weibull: $\beta = 1.198$ y $\eta = 22.018$

Gráfico para cálculo de beta para el MTTR según SPSS v27, figura 46.

Figura 5.13: Gráfico para cálculo de beta para el MTTR según SPSS v27



Fuente: Propia

Se realizó el cálculo del MTTR, teniendo en cuenta los siguientes datos: $\beta = 1.198$ y $\eta = 22.018$

$$MTTR = \eta * \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) = 22.018 * \Gamma\left(1 + \frac{1}{1.198}\right) = 20.717 \text{ horas}$$

La disponibilidad de la chancadora Traylor 60" x 113" durante el periodo de observación de aproximadamente seis meses es como sigue:

$$Disponibilidad = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{188.98}{188.98 + 20.717} = 90\%$$

La tabla 8, muestra el resumen de los indicadores de desempeño KPIs principales encontrados después de analizar los tiempos entre fallas, así como los tiempos empleados para reparar dichas fallas en el periodo de observación:

Tabla 5.7: Indicadores de desempeño inicial.

N°	Indicador	Valor
1	MTBF	188.98 horas
2	MTTR	20.717 horas
3	Disponibilidad	90%

Fuente: Propia

Cabe mencionar que es posible entregar un valor numérico de la confiabilidad $R(t)$, y la tasa de fallas $\lambda(t)$ ya que estas están en función del tiempo. El gráfico de estas dos funciones se muestran en las figuras 5.8 y 5.9 respectivamente. Estos valores nos dan un panorama claro de la política de mantenimiento y también nos hacen entender de que hay oportunidades de mejora en las cuales se centraron los esfuerzos para lograr una mejora de dichos indicadores de desempeño.

Sexta etapa: Análisis de criticidad

En esta etapa y bajo el enfoque R-MES nos orientamos al estudio y análisis para determinar cuáles son los equipos críticos dentro del proceso de producción, esto de acuerdo con el comportamiento y el impacto que se genera sobre el sistema. Al determinar el equipo más crítico de todo el sistema, es ahí donde se enfocarán todos los esfuerzos en encontrar oportunidades de mejora.

Para realizar este análisis existen muchos métodos tales como:

- Análisis cualitativo.
- Análisis cualitativo / cuantitativo.
- Análisis cuantitativo.
- Análisis de dispersión de Jack Knife.
- Análisis disponibilidad / consecuencia.
- Análisis de consecuencia económica de impacto, seguridad y medio ambiente.

Los métodos más comunes son el análisis cualitativo / cuantitativo y el análisis de dispersión de Jack Knife.

En el presente trabajo de investigación no se está analizando a un sistema, sino que a una sola máquina que en este caso es una chancadora primaria Traylor de 60" x 113". En análisis anteriores, los cuales no están dentro del alcance de este estudio, se determinó la criticidad de esta máquina concluyendo que es muy crítica puesto que con ella inicia todo el proceso de chancado primario dentro de la planta concentradora y su ausencia impacta negativamente al proceso aguas arriba (operaciones mina) y agua abajo (alimentación al circuito de molienda).

En la tabla 5.7 se muestra un extracto del análisis de criticidad que se realizó antes de la puesta en marcha de la planta concentradora. Este extracto muestra el análisis específico para todos los equipos que pertenecen al sistema de chancado primario.

Tabla 5.8: Análisis de criticidad de equipos del circuito de chancado primario.

Description of funtional location	Risk level
Crusher Gyratory Primary 1	VERY HIGH
Dust Suppression Spray Water System	HIGH
Dust Suppression Air Water Atomized	MEDIUM
Dust Collector Prim Crush 1	HIGH
Feeder Apron Prim Crush 1	VERY HIGH
Filtration Skid	HIGH
Rock Breaker Prim Crush 1	HIGH
Crusher Gyratory Primary 2	VERY HIGH
Dust Suppression Spray Water System	HIGH
Dust Suppression Air Water Atomized	MEDIUM
Dust Collector Prim Crush 2	VERY HIGH
Feeder Apron Prim Crush 2	VERY HIGH
Filtration Skid	HIGH
Rock Breaker Prim Crush 2	HIGH
Conveyer Sacrificial Overland 1	VERY HIGH
Dust Collector System	HIGH
Conveyer Ferrobamba Overland 3	HIGH
Conveyer Ferrobamba Overland 4	HIGH
Dust Collector System	HIGH
Movil Crushing Kleeman Primary MC110Z	HIGH
Movil Crushing Kleeman Secondary MCO9S	HIGH
Movil Crushing Lokotrack Primary LT130E	HIGH
Movil Crushing Lokotrack Sec LT330D Stck	HIGH
Movil Crushing Lokotrack Sec LT330D Mine	HIGH

Fuente: Compañía minera.

Para el análisis de criticidad se utilizó un análisis cualitativo / cuantitativo basándose en una matriz de 6 x 6 y una tabla de 6 criterios de consecuencia, las cuales se muestran en las tablas 10 y 11 respectivamente.

Tabla 5.9: Matriz de riesgo

Likelihood rating	F	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	VERY HIGH	VERY HIGH	VERY HIGH
	E	LOW	MEDIUM	HIGH	HIGH	VERY HIGH	VERY HIGH
	D	LOW	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	HIGH	VERY HIGH
	C	LOW	LOW	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	HIGH
	B	LOW	LOW	LOW	MEDIUM	MEDIUM	HIGH
	A	LOW	LOW	LOW	LOW	MEDIUM	MEDIUM
		1	2	3	4	5	6
		Consequence Rating					

Fuente: Compañía minera.

Tabla 5.10: Criterios de consecuencias.

A.5 CRITERIOS DE CONSECUENCIA						
Pérdida máxima previsible (MFL): es el impacto máximo plausible total en MMG considerando las consecuencias que podrían surgir si todos los controles existentes fueran ineficaces o faltaran.						
Clasificación	Pérdida financiera directa o consecuente (millones de USD)	Rendimiento de producción planificado (días)	Fraude o robo (millones de dólares)	Seguridad y Personas	Medio Ambiente	Cómplice legal
6	>100	>28	>10	>2 Muertes Intervención de ONG internacionales o gobiernos nacionales en respuesta a múltiples muertes en la comunidad resultantes de actividades o disputas relacionadas con la minería	Impacto ambiental regional fuera del sitio que requiere una recuperación a largo plazo (años) con daño residual irreversible Extinción de especies o deterioro permanente de la función del ecosistema o valor de la biodiversidad dentro del sitio	Incumplimiento de la licencia reglamentaria u operativa, o cualquier incidente o circunstancia con una probable multa > USD 30 millones Reclamación civil con daños > 100 millones Encarcelamiento de ejecutivo de empresa No cumplir con los acuerdos comunitarios o los acuerdos con costo de compensación potencial máximo > USD 30 millones
5	>50-100	>14-28	>5-10	1 - 2 Muertes 1 o más Muertes en la comunidad resultantes de actividades o disputas relacionadas con la minería	Impacto ambiental prolongado o severo fuera del sitio que requiere a largo plazo limpieza (años) Impacto extenso sin confinar, en arrendamiento que requiere limpieza a largo plazo (meses-años) dejando daños residuales Cambio en la función del ecosistema o el valor de la biodiversidad dentro del sitio Daño irreversible al sitio o elemento de valor significativo del patrimonio cultural	Incumplimiento de la licencia reglamentaria u operativa, o cualquier incidente o circunstancia con una probable multa de USD 15-30 millones o posible desencadenante de la pérdida de la licencia. Reclamación civil con daños de más de USD 50-100 millones No cumplir con los acuerdos comunitarios o los acuerdos con costo de compensación potencial máximo de USD 15-30 millones
4	>10-50	>7-14	>3-5	Lesión o enfermedad incapacitante permanente Lesiones múltiples con tiempo perdido Lesión por tratamiento médico comunitario único resultante de actividades o disputas relacionadas con la minería	Impacto ambiental importante, fuera del sitio, que requiere una limpieza a mediano plazo (meses) Impacto confinado en el lugar que requiere un esfuerzo de limpieza significativo (años) Deterioro temporal de la función de un ecosistema o cualquier pérdida por muerte de especies listadas o protegidas Daño reparable al sitio o elemento de valor significativo del patrimonio cultural	Incumplimiento de la licencia reglamentaria u operativa con un máximo multa potencial de USD 10 - <15 millones No cumplir con los acuerdos comunitarios o los acuerdos con costo de compensación potencial máximo de USD 10-<15 millones
3	>5-10	>3-7	>1-3	Enfermedad por lesión con tiempo perdido único Enfermedad invalidante por discapacidad reversible Lesión por tratamiento médico comunitario único resultante de actividades o disputas relacionadas con la minería	Impacto ambiental reversible fuera del sitio, que requiere una limpieza a corto plazo (meses) Impacto ambiental reversible, confinado y en el lugar, que requiere un medio término (semanas-meses) limpieza	Incumplimiento de la licencia reglamentaria u operativa con una multa potencial máxima de USD 5 - <10 millones Incumplimiento de los acuerdos o acuerdos comunitarios con un costo de compensación potencial máximo de USD 5-<10 millones
2	(1-5)	(1-3)	(0,5-1)	Tratamiento médico Lesión / Enfermedad Lesión laboral restringida	Impacto medioambiental bajo, reducido y reversible Limpieza a corto plazo (menos de una semana)	Incumplimiento de la licencia reglamentaria u operativa con una multa potencial máxima de menos de USD 5 millones Incumplimiento de los acuerdos o acuerdos comunitarios con un costo de compensación potencial máximo de < USD 5 millones
1	<1	<1	<0,5	Tratamiento de primeros auxilios	Impacto ambiental muy bajo y reversible limitado a un área pequeña dentro de las operaciones Limpieza rápida (dentro de un turno)	Incumplimiento del estándar o la dirección del sitio. Incumplimiento de acuerdo o convenio comunitario

Fuente: Compañía minera.

Además de haber analizado todos los equipos que pertenecen al sistema de chancado primario donde se determinó que el chancador primario Traylor 60" x 113" es muy crítico, bajo el mismo enfoque se realizó un análisis de criticidad de los componentes que conforman a la chancadora. Este análisis se muestra en la tabla 5.11.

Tabla 5.11: Análisis de criticidad de partes de la chancadora.

Análisis de Riesgo sin Existencia de Controles					
Descripción de la ubicación técnica	Riesgo mas Critico asociado al sistema	Descripción de la consecuencia del Riesgo	Consecuencia del riesgo	Likelihood	Risk level (sin considerar control)
Crusher Gyratory Primary Traylor 60" x 113"					VERY HIGH
Counter Shaft	Rajadura en contraje por sobreesfuerzo, mala calidad del material, fallas operativas y del control ocasionado parada del chancador	Detención del chancador por 7 días	4	D	HIGH
Main Shaft	Desprendimiento o rajadura del eje del mainshaft por mal trabajo de instalacion, mala calidad, sobreesfuerzo, no inspeccionar, ocasionando parada del chancador para reparación y cambio de eje	Detención del chancador por 15 días	4	E	HIGH
Eccentric	Quemadura o deformación de componentes por sobreesfuerzos, falta de lubricacion, mala instalacion, excesivos arranques , sin inspecciones, ocasionando parada del chancador	Detención del chancador por 15 días	5	E	VERY HIGH
Drive System			5	D	HIGH
Motor Electric	Cortocircuito del bobinado, incendio, quemadura de cables de fuerza ocasionando parada del chancador	Detención del chancador por 25 días	5	D	HIGH
Elec Instrument & Control			5	D	HIGH
Control Panel or Isolator	Falla de instrumentacion, quemadura de cables, falla del controlador deshabilitando protecciones y ocasionando fallas en lubricacion, engrase que generan parada del chancador	Detención del chancador por 15 días	5	D	HIGH
Hydraulic System	Falla de bomba (rotura de eje, falla del impulsor, atoro, tubería obstruída) genera caída del mainshaft , daño en la eccentrica y posterior parada del chancador	Detencion del chancador por 15 días	5	E	VERY HIGH
Lube & Greasing System	Falla de bomba (rotura de eje, falla del impulsor, atoro, tubería obstruída) genera mala lubricacion y daños de componentes y luego parada del chancador	Detención del chancador por 15 días	5	E	VERY HIGH
Structure	Desprendimiento o daño en el soporte de las concavas por falta de las mismas ocasionando parada del chancador	Detención del chancador por 10 días	4	C	MEDIUM

Fuente: Compañía minera.

Séptima etapa: Oportunidad de mejora

En esta etapa el enfoque fue en la identificación de las oportunidades de mejora a partir del análisis de los indicadores de desempeño. Estas oportunidades de mejora pueden estar dentro de la gestión de mantenimiento o tal vez sea necesario trabajar en el diseño de algún proyecto.

El análisis causa raíz de las fallas tiene como finalidad detectar las causas raíces de estos eventos con el objetivo de prevenir la recurrencia mediante la planificación y ejecución de planes de acción. Son conocidas algunas técnicas para realizar este análisis, los cuales son:

- Árboles de falla.
- Análisis causa / efecto
- Diagrama de Ishikawa
- Análisis de secuencia de eventos.

De la tabla 5.1 donde se listan las fallas observadas, cada una de ellas tiene una descripción que sirvió para identificar los puntos donde se enfocaron los esfuerzos para encontrar oportunidades de mejora. La tabla 5.8 muestra la identificación de las fallas donde se pueden establecer acciones después de su análisis, muestra también las fallas donde si bien no hay control por parte de la gestión de mantenimiento, es posible trabajar en un plan de acción para minimizar su recurrencia.

Tabla 5.12: Identificación de fallas con oportunidad de mejora.

N°	Motivo de la detención	TBF (h)	TTR (h)
1	Bajo flujo de aceite de lubricación en bujes	170.4	12
2	Alta presión de aceite de lubricación	183.6	6
3	Caída de CAP por agente externo	51.6	24
4	Alta temperatura en el aceite de lubricación en el retorno	21.6	18
5	Falla en sistema de engrase de Spider	242.4	3
6	Caída de CAP por agente externo	103.2	36
7	Caída de eje principal por material inchancable	290	6
8	Falla de acumulador de nitrógeno	260	18
9	Falla de acumulador de nitrógeno	120	24
10	Falla de válvula relief regulable	86.4	6
11	Falla de acumulador de nitrógeno	60	24
12	Desgaste en revestimiento del brazo del contraeje de la chancadora	240	42
13	Sobresaturación en filtro de aceite de lubricación	189.6	6
14	Falla en sistema de engrase de Spider	374.4	15
15	Rotura de manguera de aceite de lubricación de contraeje	244.8	6
16	Caída de CAP por agente externo	26.4	24
17	Alta presión de aceite de lubricación	402	12
18	Alta presión de aceite de lubricación	14.4	12
19	Quemadura de buje interno por material inchancable	450	138
20	Falla en sistema de engrase de Spider	49.2	6

Fuente: Propia

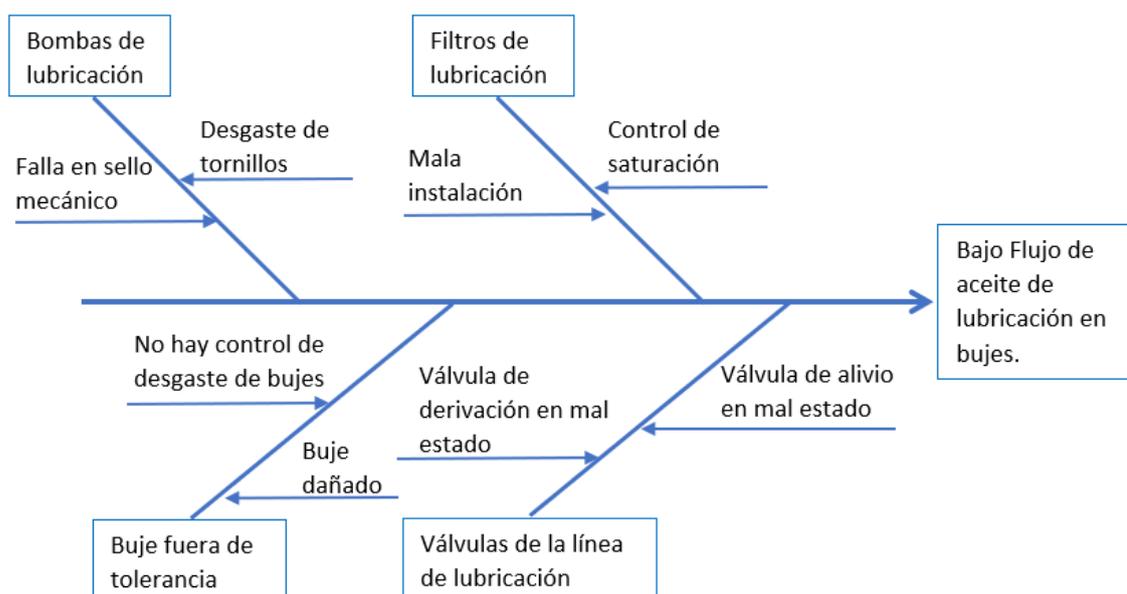
En la tabla 5.12 se identificaron las fallas 1, 2, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 17, 18 y 20 donde fue posible trabajar para encontrar oportunidades de mejora. Estas fallas fueron analizadas por un equipo multidisciplinario haciendo uso del diagrama de Ishikawa. Como resultado se definieron tareas y acciones de mantenimiento que serán añadidas al plan de mantenimiento inicial y que se ejecutarán en las detenciones programadas. Considerando que las detenciones programadas son trimestrales es decir que cada tres meses se detiene todo el circuito de chancado primario para realizar trabajos de mantenimiento que obedecen a un plan de mantenimiento preventivo.

a. Bajo flujo de aceite de lubricación en bujes.

El flujo de aceite de lubricación es bombeado por una bomba de tornillo hacia la chancadora, pasando antes por una válvula relief, una válvula de derivación, un banco de filtros de 40 micras y un sistema de enfriamiento para recién ingresar

a la chancadora dividiéndose el flujo de aceite en tres. Estos flujos de aceite deben mantenerse en un rango determinado para asegurar que los bujes están siendo lubricados correctamente. La detención de la chancadora fue ocasionada por que uno de los tres flujos de aceite de lubricación cayó por debajo del límite permitido, después del análisis se realizó el diagrama que se muestra en la figura 5.14.

Figura 5.14: Análisis de la falla de bajo flujo de aceite de lubricación en bujes.

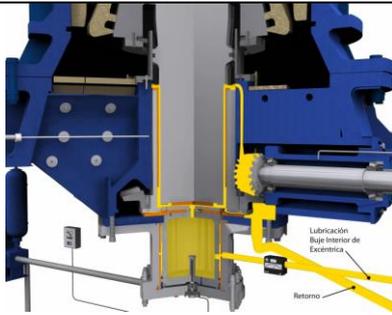


Fuente: Propia

Los planes de acción que se derivan en tareas y acciones de mantenimiento se muestran en la tabla 5.13.

Tabla 5.13: Planes de acción para la falla de bajo flujo de aceite de lubricación en bujes.

Descripción de la falla	Plan de acción
Bajo flujo de aceite de lubricación en bujes.	<ul style="list-style-type: none"> - Cambio cada 6 meses de las bombas de lubricación durante una detención programada. - Medición de tolerancias de desgaste de bujes en cada detención programada. - Establecimiento de alarmas de saturación de filtros del sistema de lubricación. La primera



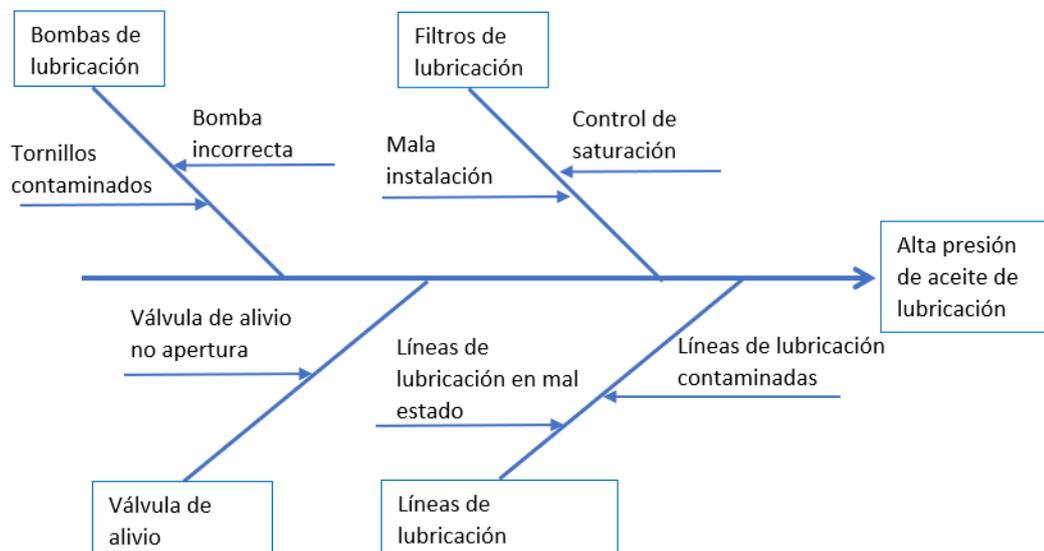
Fuente: Manual de FLSMIDTH (2012)

- alarma estará seteada a 120 kPa de presión diferencial y la segunda alarma de detención del equipo estará seteada a 160kPa.
- Capacitación técnica al personal de mantenimiento para el cambio de filtros de lubricación.
- Mantenimiento cada 3 meses de válvula de derivación del sistema de lubricación.
- Mantenimiento cada 6 meses de la válvula de alivio del sistema de lubricación.

b. Alta presión de aceite de lubricación.

Este modo de falla se produjo cuando los filtros se saturaron y no hubo un control que definiera el cambio de los filtros, al realizar la inspección de los equipos se encontró que la bomba de lubricación presentaba contaminantes metálicos que posiblemente se desprendieron de los tornillos, también se observó que la válvula de alivio no se activó completamente durante el evento. Finalmente, al realizar el cambio de la bomba de lubricación se observó que la línea de descarga presentaba contaminantes de limaduras metálicas además de sílice. Después del análisis se realizó el diagrama que se muestra en la figura 5.15.

Figura 5.15: Análisis de la falla de alta presión de aceite de lubricación.



Fuente: Propia

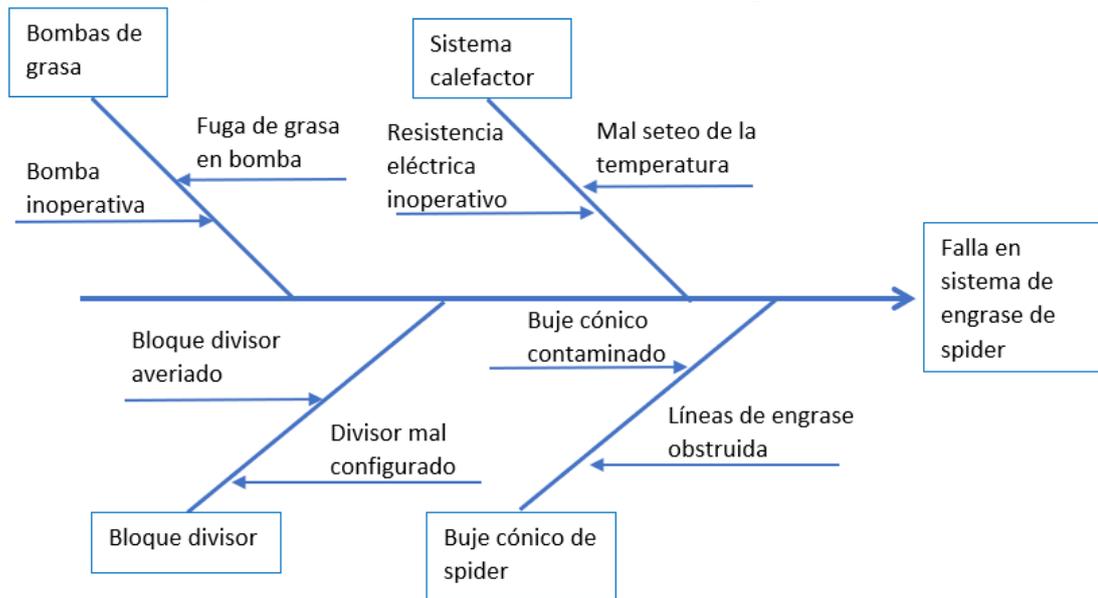
Tabla 5.14: Planes de acción para la falla de alta presión de aceite de lubricación.

Descripción de la falla	Plan de acción
<p data-bbox="280 365 711 454">Alta presión de aceite de lubricación.</p>  <p data-bbox="280 875 711 954">Fuente: Manual de FLSMIDTH (2012)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="740 365 1393 510">- Cambio cada 6 meses de las bombas de lubricación durante una detención programada. <li data-bbox="740 533 1393 837">- Establecimiento de alarmas de saturación de filtros del sistema de lubricación. La primera alarma estará seteada a 120 kPa de presión diferencial y la segunda alarma de detención del equipo estará seteada a 160kPa. <li data-bbox="740 860 1393 949">- Mantenimiento cada 3 meses de válvula de derivación del sistema de lubricación. <li data-bbox="740 972 1393 1061">- Mantenimiento cada 6 meses de la válvula de alivio del sistema de lubricación. <li data-bbox="740 1084 1393 1173">- Análisis de aceite de lubricación cada 3 meses.

c. Falla en sistema de engrase de spider

El componente superior que acopla el eje principal y lo sostiene durante la operación de la chancadora cuenta con un buje cónico instalado justamente en el acople, el cual es un elemento de desgaste. Este elemento de desgaste es lubricado con grasa de consistencia EP 1. Para que la chancadora pueda operar la frecuencia de engrase tiene que cumplirse según la lógica de control, de lo contrario la chancadora se detiene. Después del análisis se realizó el diagrama que se muestra en la figura 5.16.

Figura 5.16: Análisis de la falla en sistema de engrase de spider.



Fuente: Propia

Tabla 5.15: Planes de acción para la falla en sistema de engrase de spider.

Descripción de la falla	Plan de acción
Falla en sistema de engrase de spider.	<ul style="list-style-type: none"> - Cambio cada año de bomba de engrase. - Cambio cada seis meses de la resistencia calefactora. - Cambio cada dos años de bloque divisor de grasa. - Medición cada seis meses del buje del spider.

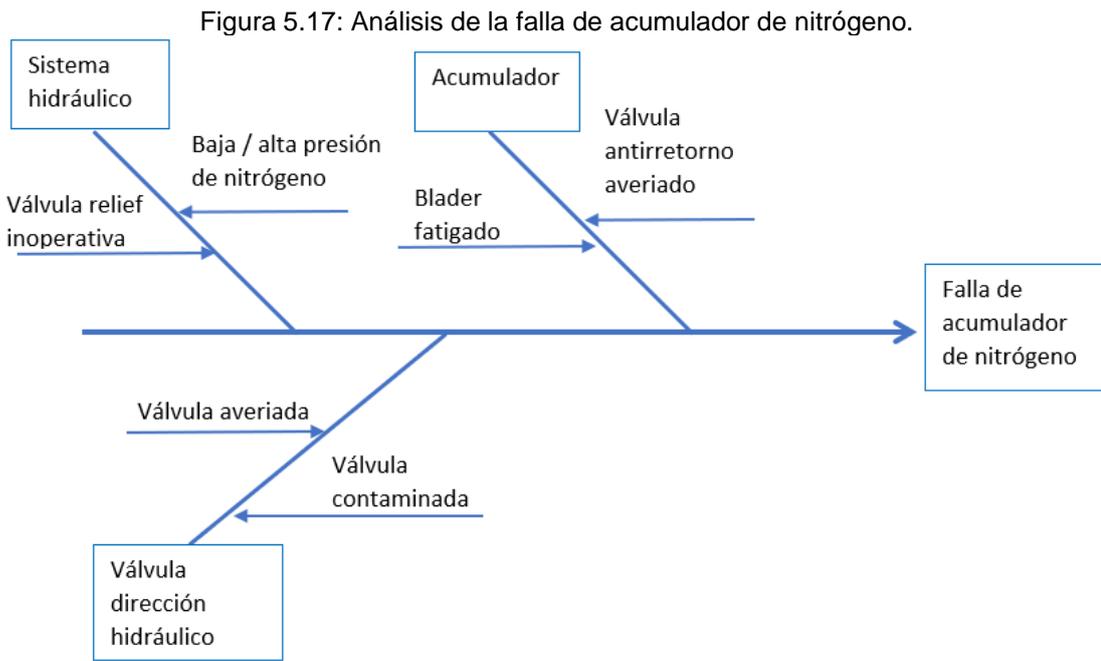


Fuente: Manual de FLSMIDTH (2012)

d. Falla de acumulador de nitrógeno.

El acumulador de nitrógeno almacena nitrógeno dentro de un blader o vejiga para poder contener sobrepresiones generadas durante la operación de la chancadora. Al generarse una sobrepresión, el acumulador almacena temporalmente aceite hidráulico proveniente del hidrosset para que con ello, el eje principal pueda descender incrementando el tamaño de la cámara de

trituration para que el elemento que está siendo chancado y que está generando sobrepresiones, pase y abandone la cámara de trituration; después de esto el aceite que estaba siendo almacenada temporalmente por el acumulador regresa al hidrosset haciendo que el eje principal ascienda a la posición inicial nuevamente logrando mantener constante el tamaño de la cámara de trituration. La falla se presentó cuando el blader o vejiga se reventó producto de las constantes sobrepresiones que se generaban durante la operación de la chancadora. Después del análisis se realizó el diagrama que se muestra en la figura 5.17.



Fuente: Propia

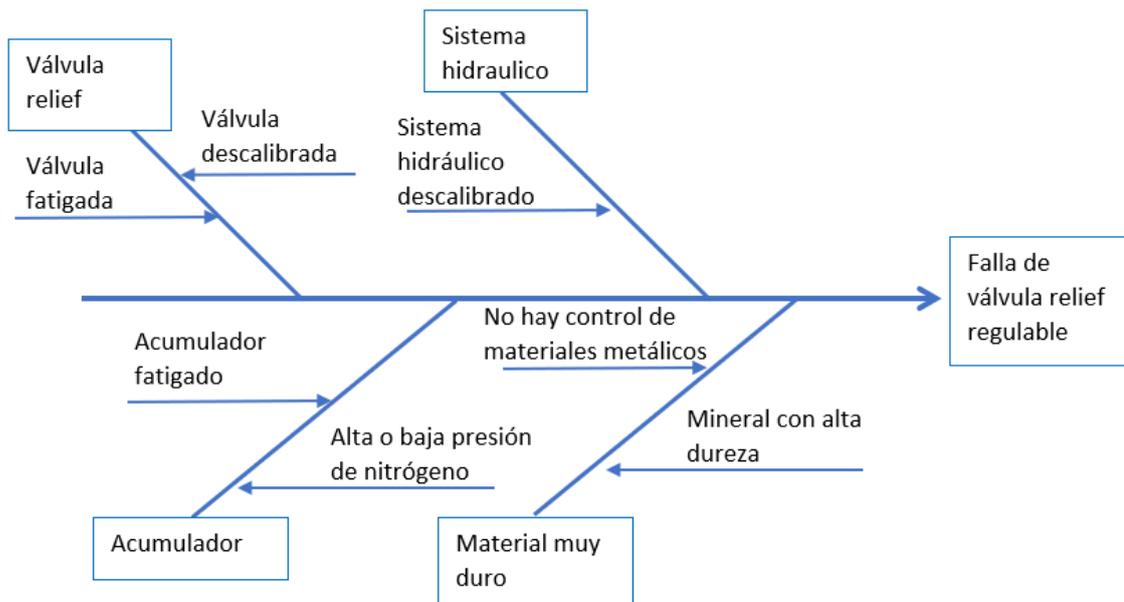
Tabla 5.16: Planes de acción para la falla de acumulador de nitrógeno.

Descripción de la falla	Plan de acción
<p>Falla de acumulador de nitrógeno.</p>  <p>Fuente: Manual de FLSMIDTH (2012)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Cambio cada año de válvula relief. - Verificación cada tres meses de la presión de nitrógeno en el acumulador. - Cambio cada dos años de acumulador de nitrógeno. - Mantenimiento cada seis meses a la válvula direccional.

e. Falla de válvula relief regulable.

La válvula relief regulable del bloque hidráulico perteneciente al sistema hidráulico de la chancadora, se regula en función al material que se está triturando. El mineral al ser triturado por la chancadora genera una determinada presión en el sistema hidráulico, el cual oscila alrededor de 340 PSI; cuando ingresa mineral más duro o algún elemento metálico, la presión de trituración se eleva considerablemente hasta que la válvula relief la limita, es decir la presión solo se eleva hasta el valor al cual fue calibrada la válvula relief. La activación contante de esta válvula debido a la variabilidad del mineral que se está procesando o la mala calibración de esta, provoca que el resorte interno de la válvula pierda el coeficiente de elasticidad y como consecuencia pierde también el ajuste que se le dio previamente. El efecto de esta falla se refleja en descensos constantes y no controlados del eje principal. Después del análisis se realizó el diagrama que se muestra en la figura 5.18.

Figura 5.18: Análisis de la falla de válvula relief regulable.



Fuente: Propia

Tabla 5.17: Planes de acción para la falla de válvula relief regulable.

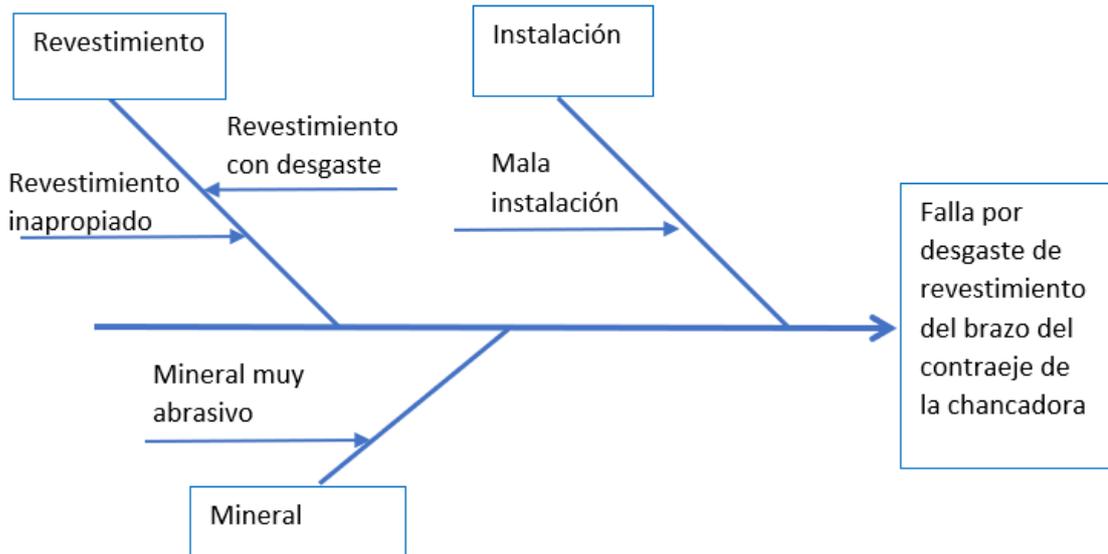
Descripción de la falla	Plan de acción
<p>Falla de válvula relief regulable.</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Cambio cada año de válvula relief. - Calibración del sistema hidráulico cuando se varié la dureza del mineral. - Cambio cada dos años de acumulador de nitrógeno. - Operaciones mina debe controlar permanentemente el envío de material metálico u otro similar hacia la chancadora primaria.

Fuente: Manual de FLSMIDTH (2012)

f. Desgaste en revestimiento del brazo del contraeje de la chancadora

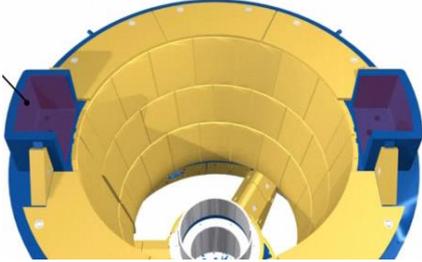
El cuerpo principal o carcasa de la chancadora está constituida por tres sub-cuerpos unidos entre si mediante pernos. El cuerpo inferior denominado Bottom Shell considera en su diseño tres brazos que soportan el peso del eje principal y del mineral mientras la chancadora esté operando; estos brazos están expuestos a la caída del mineral después que ha sido triturado por la chancadora. Este contacto del mineral triturado con los brazos teniendo en medio al revestimiento, causa el desgaste de dicho revestimiento. La chancadora no puede seguir operando si se detecta que el revestimiento de los brazos de la chancadora presenta un desgaste critico ya que, de seguir operando, el mineral triturado tendrá contacto directo con los brazos propiamente provocando el desgaste. Después del análisis se realizó el diagrama que se muestra en la figura 5.19.

Figura 5.19: Análisis de la falla por desgaste del revestimiento del brazo del contraeje.



Fuente: Propia

Tabla 5.18: Planes de acción para la falla por desgaste del revestimiento del brazo del contraeje.

Descripción de la falla	Plan de acción
<p>Falla por desgaste del revestimiento del brazo del contraeje.</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Cambio cada seis meses de los revestimientos de los tres brazos. - Elaboración de un procedimiento de instalación de acuerdo con el manual del fabricante. - Realizar la compra de revestimientos de 500 Brinell de dureza.

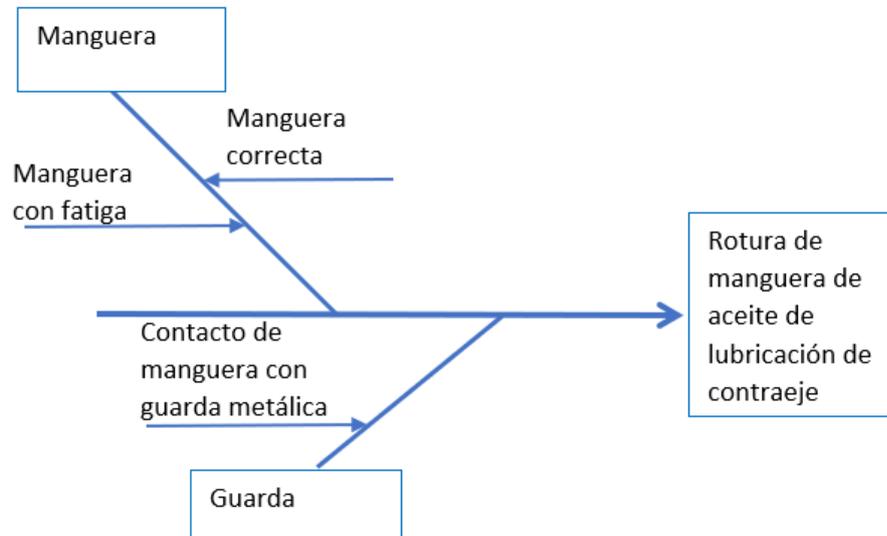
Fuente: Manual de FLSMIDTH (2012)

g. Rotura de la manguera de aceite de lubricación de contraeje

En el sistema de lubricación de la chancadora, uno de los tres flujos de aceite se dirige hacia el contraeje para lubricar sus dos rodamientos. Este flujo de aceite hace su ingreso al contraeje a través de una manguera flexible el cual ya está

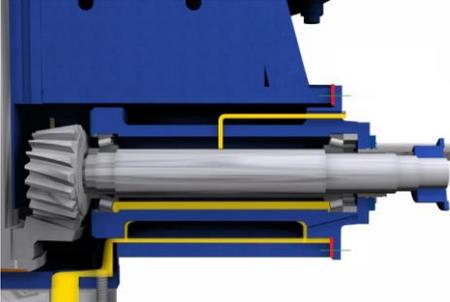
fatigada además que rozaba con la guarda del contraeje provocando la rotura. Después del análisis se realizó el diagrama que se muestra en la figura 5.20.

Figura 5.20: Análisis de la falla por rotura de la manguera de aceite de lubricación de contraeje.



Fuente: Propia

Tabla 5.19: Planes de acción para la falla por rotura de la manguera de aceite de lubricación de contraeje

Descripción de la falla	Plan de acción
<p>Falla por rotura de la manguera de aceite de lubricación de contraeje.</p>  <p>Fuente: Manual de FLSMIDTH (2012)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Cambio cada seis meses de la manguera de lubricación del contraeje. - Modificación de la guarda metálica para eliminar el contacto directo con la manguera de lubricación del contraeje.

Octava etapa: Mejoras en la gestión

En esta etapa se implementará los planes de acción que se derivaron del análisis anterior para que sean incorporadas modificando y complementando el plan de

mantenimiento preventivo inicial. Dentro de los planes de acción se determinan tareas que se ejecutarán con una determinada frecuencia y que estarán alineadas a las paradas programadas, dentro de los planes de acción también figuran otras que se enfocan en el personal de mantenimiento, personal operador de la planta de chancado primario y de operaciones mina. También algunas refieren a la revisión del diseño y manufactura del revestimiento de los brazos de la chancadora en específico.

La frecuencia trimestral de las detenciones programadas para la ejecución del mantenimiento preventivo se mantendrá ya que el plan de mantenimiento se diseñó con el objetivo de alinear los mantenimientos preventivos de todos los equipos que conforman el sistema de chancado primario.

Novena etapa: Mejoras de proyectos

Similarmente al análisis realizado en la séptima etapa, hay un segundo análisis que se centra en los planes de acción de dicha etapa. En específico a los planes de acción que involucra dar soluciones a problemas de confiabilidad y mantenibilidad. En otras palabras, en esta etapa se enfoca en evaluar la factibilidad de implementar un equipo en paralelo o stand by para que entre en operación cada vez que falle la otra o que tal vez reemplazar el equipo actual por otro de mayores prestaciones. Obviamente estos proyectos tendrán una intervención económica importante pero que se justificara si el proceso así lo amerita o que también puede ser justificado por un estudio denominado caso de negocio.

En la presente investigación no se contempla considerar una mejora que implique algún proyecto ya que solo se está analizando a una chancadora y además que dentro de los planes de acción no ha sido identificado como tal. Es importante mencionar también que el overhaul si se podría considerar como un proyecto, pero esto ya está considerado dentro de los planes de mantenimiento preventivo inicial con un horizonte de 10 años.

Décima etapa: Plan maestro de mantenimiento preventivo.

Del análisis en las etapas anteriores donde se analizan las fallas, se identifican oportunidades de mejora y se implementan al plan de mantenimiento preventivo inicial se tiene ahora un nuevo plan de mantenimiento al que se le denomina Plan Maestro, el cual se ejecutó durante la segunda observación de seis meses y al que también se le analizó su desempeño.

Este Plan Maestro también está expuesto a ser analizado y ser modificado puesto que el enfoque R-MES considera un ciclo de mejora continua.

En la segunda observación de seis meses donde se ejecutó el nuevo plan de mantenimiento preventivo, se identificaron las siguientes fallas y a los que también se les realizó el análisis para determinar los nuevos indicadores de desempeño KPI.

Tabla 5.20: Datos históricos de detenciones en la segunda observación.

N°	Motivo de la detención	TBF (hrs)	TTR (hrs)
1	Caída de CAP por agente externo	40	20
2	Alta temperatura en el aceite de lubricación en el retorno	80	8
3	Caída de CAP por agente externo	150	24
4	Caída de eje principal por material inchancable	200	4
5	Sobresaturación en filtro de aceite de lubricación	220	6
6	Caída de CAP por agente externo	350	24
7	Quemadura de buje interno por material inchancable	600	48
8	Falla en sistema de engrase de Spider	605	12

Fuente: Propia

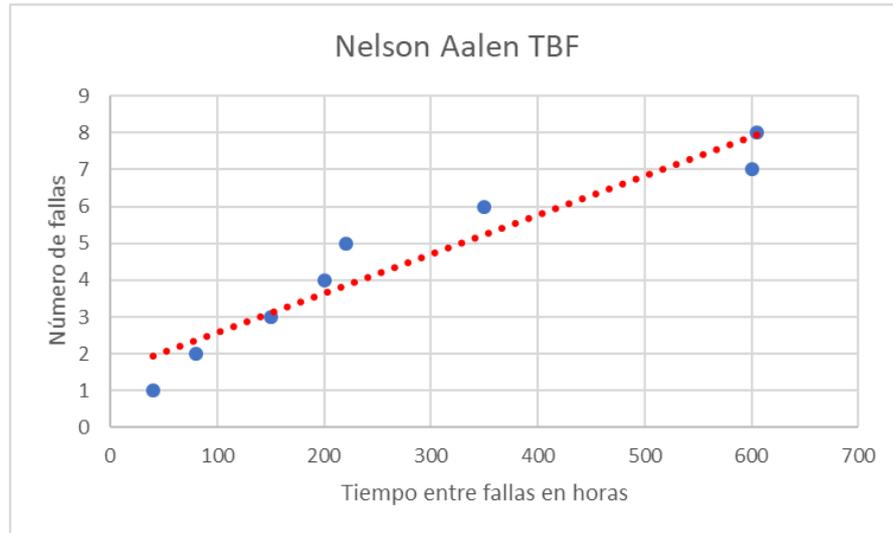
Donde:

TBF: Tiempo entre fallas.

TTR: Tiempo para reparar.

Los datos entre detenciones de la segunda observación se muestran en la tabla 5.16 y en la figura 5.22 se muestra el diagrama de Nelson Aalen después de haber sido ordenados los tiempos entre fallas de menor a mayor. Se observa una tendencia neutral lo que indica que dichos datos pueden modelarse con una distribución Weibull.

Figura 5.21: Diagrama de Nelson Aalen de los tiempos entre fallas de la segunda observación.



Fuente: Propia

De la tabla 21, se utilizaron los datos de tiempos entre fallas para realizar el test de Laplace después de haberlos ordenado en forma ascendente para confirmar lo que se observó en el diagrama de Nelson Aalen.

Calculando los términos de la ecuación del test de Laplace.

$t_0 = 605$, que es el tiempo de la última falla de la observación.

$n = 8$, es la cantidad de observaciones.

$\sum_{i=1}^8 t_i = 2290$, es la suma de todos los tiempos entre fallas

Reemplazando estos valores en la ecuación del test de Laplace, se tiene:

$$U = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} - \frac{t_0}{2}}{t_0 \sqrt{\frac{1}{12n}}} = \frac{\frac{\sum_{i=1}^{20} t_i}{8} - \frac{605}{2}}{605 * \sqrt{\frac{1}{12 * 8}}} = \frac{\frac{2290}{8} - \frac{605}{2}}{605 * \sqrt{\frac{1}{12 * 8}}} = -0.26$$

Entonces se observa que: $-1.96 < U = -0.26 < 1.96$

Por lo tanto, se confirma que los datos históricos de la segunda observación siguen una distribución Weibull.

Utilizando los datos de la tabla 5.16 se y las ecuaciones de la distribución Weibull se determinó los parámetros β y η . Los cuales se muestran en la tabla 5.21.

Tabla 5.21: Determinación de los parámetros de Weibull.

			X	Y		
N(t)	x	y = Fest	Ln (x)	Ln(Ln(1/R))	XY	X2
1	40	8.3%	3.689	-2.442	-9.007	13.608
2	80	20.2%	4.382	-1.487	-6.515	19.202
3	150	32.1%	5.011	-0.947	-4.747	25.106
4	200	44.0%	5.298	-0.544	-2.880	28.072
5	220	56.0%	5.394	-0.199	-1.071	29.091
6	350	67.9%	5.858	0.127	0.742	34.315
7	600	79.8%	6.397	0.469	2.997	40.921
8	605	91.7%	6.405	0.910	5.830	41.027
Suma:	2245		42.434	-4.113	-14.651	231.343

Fuente: Propia

Cálculo del MTBF (lineal):

$$MTBF_{lineal} = \frac{\sum_{i=1}^8 x_i}{8} = \frac{2245}{8} = 280.6 \text{ horas}$$

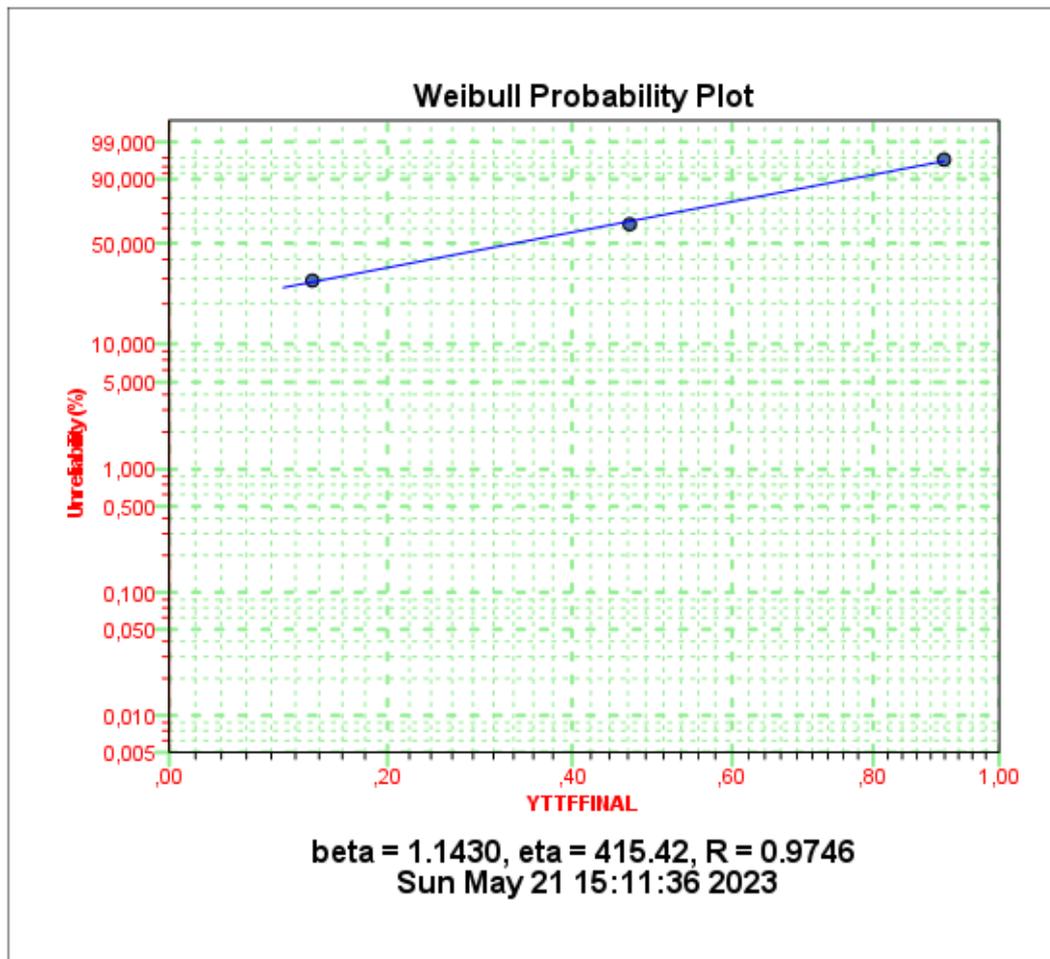
Cálculo de los coeficientes de la ecuación de la recta $y = mx - b$

$$m = \frac{n * \sum(x * y) - \sum x * \sum y}{n * \sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{8 * (-14.651) - 42.434 * (-4.113)}{8 * 231.343 - 42.434^2} = 1.143$$

$$b = \frac{\sum y * \sum x^2 - \sum x * \sum(x * y)}{n * \sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{(-4.113) * 231.343 - 42.434 * (-14.651)}{8 * 231.343 - 42.434^2} = 6.577$$

Realizando el grafico de Weibull para el MTBF en SPSS v27, figura 55.

Figura 5.22: Gráfico de Weibull para el MTBF en SPSS v27.



Fuente: Propia

Por lo tanto, el parámetro de forma de la distribución Weibull es: $\beta = 1.143$

Además, el parámetro de escala de la distribución Weibull es: $\eta = e^{\frac{b}{\beta}} = e^{\frac{6.577}{1.143}} = 415.435$

La prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov, utilizando la tabla 5.17 y las ecuaciones mencionadas líneas arriba:

Tabla 5.22: Prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov.

N(t)	x	y = Fest	X		Y				K-S (Weibull 2P)	
			Ln (x)	Ln(Ln(1/R))	XY	X2	R	F*	ABS(F*- Fest)	F*-Fest(t- 1)
1	40	8.3%	3.689	-2.442	-9.007	13.608	91%	9%	0.00673540	
2	80	20.2%	4.382	-1.487	-6.515	19.202	81%	19%	0.0142299	0.1048177
3	150	32.1%	5.011	-0.947	-4.747	25.106	65%	35%	0.02648854	0.1455361
4	200	44.0%	5.298	-0.544	-2.880	28.072	55%	45%	0.00743841	0.1264860
5	220	56.0%	5.394	-0.199	-1.071	29.091	52%	48%	0.07512361	0.0439240
6	350	67.9%	5.858	0.127	0.742	34.315	32%	68%	0.00283490	0.1162127
7	600	79.8%	6.397	0.469	2.997	40.921	12%	88%	0.07811201	0.1971596
8	605	91.7%	6.405	0.910	5.830	41.027	12%	88%	0.03849024	0.0805573
Suma	2245		42.434	-4.113	14.651	231.343			Max Valor d:	0.1971596

Fuente: Propia

De la tabla 5.3 considerando un nivel de riesgo de $\alpha = 5\%$ y $n = 8$ datos se tiene:

$d_{critico} = 0.457$, además de la tabla 5.18 se tiene:

$$d = \max([F(t) - \bar{F}(t)], [F(t) - \bar{F}(t - 1)]) = 0.197$$

Por lo tanto: $d_{critico} > d \rightarrow$ La distribución hipotesis es correcta.

De la figura 5.7 se concluye que la chancadora Traylor 60" x 113" está en una etapa de desgaste dentro del ciclo de vida ya que $\beta = 1.143 > 1$.

Se concluye también que los tiempos entre fallas se ajustan correctamente a una distribución Weibull ya que $d_{critico} > d$

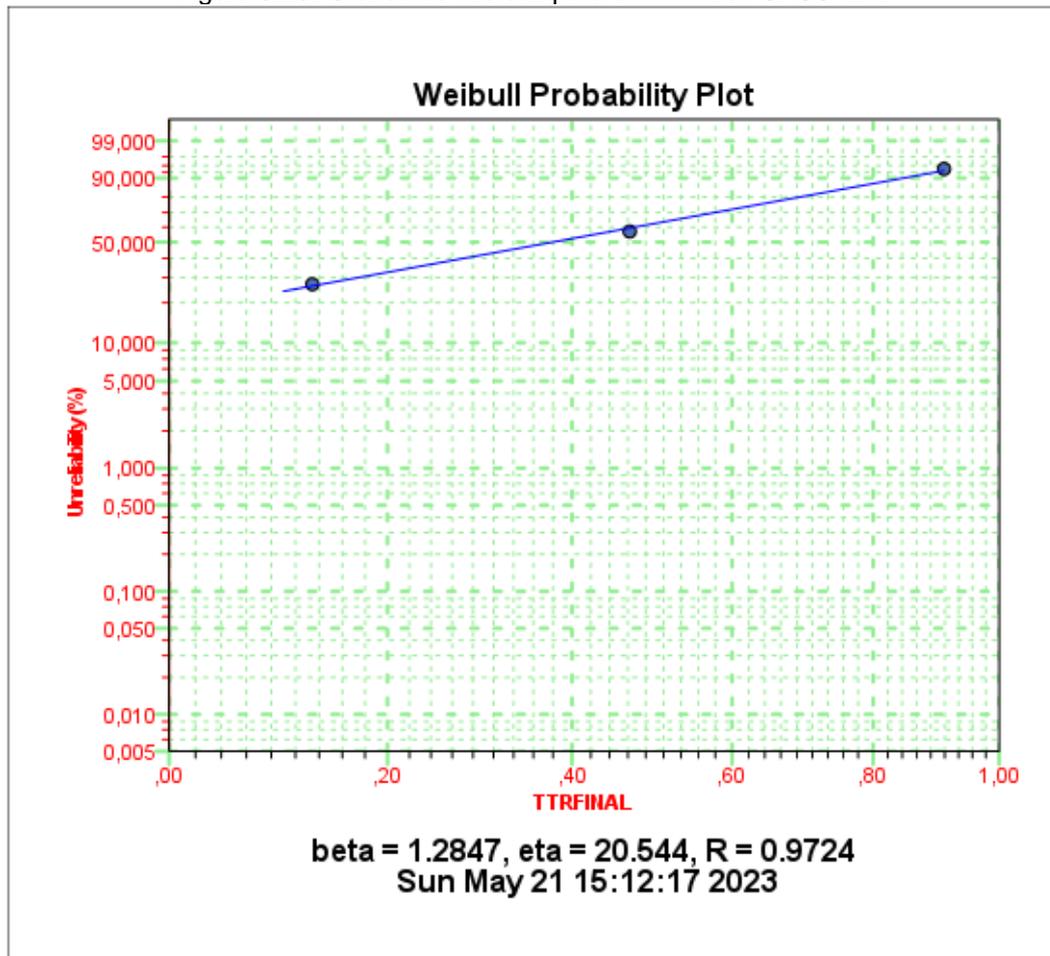
Además, el tiempo promedio entre fallas MTBF utilizando los parámetros de la distribución Weibull $\beta = 1.143$ y $\eta = 415.435$, para el periodo de observación de aproximadamente seis meses de los tiempos entre fallas es:

$$MTBF = \eta * \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) = 415.435 * \Gamma\left(1 + \frac{1}{1.143}\right) = 300.740 \text{ horas}$$

Para determinar el tiempo promedio para reparar MTTR, se realiza la misma distribución de Weibull considerando los valores observados de TTR (tiempos para reparar) y que están listados en la tabla 5.16. Lo que nos da como parámetros de la distribución Weibull: $\beta = 1.285$ y $\eta = 20.508$

Realizando el grafico de Weibull para el MTTR en SPSS v27, figura 56.

Figura 5.23: Grafico de Weibull para el MTTR en SPSS v27.



Fuente: Propia

$$MTTR = \eta * \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) = 20.508 * \Gamma\left(1 + \frac{1}{1.285}\right) = 18.987 \text{ horas}$$

La disponibilidad de la chancadora Traylor 60" x 113" durante el periodo de observación de aproximadamente seis meses es como sigue:

$$Disponibilidad = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{300.740}{300.740 + 18.987} = 95\%$$

La tabla 5.19 muestra el resumen de los indicadores de desempeño KPIs principales encontrados después de analizar los tiempos entre fallas, así como los tiempos empleados para reparar dichas fallas en el segundo periodo de observación:

Tabla 5.23: Indicadores de desempeño después de la gestión

N°	Indicador	Valor
1	MTBF	300.74 horas
2	MTTR	18.99 horas
3	Disponibilidad	95%

Fuente: Propia

En la tabla 5.24, se muestra la comparativa del antes y después de los indicadores de desempeño en estudio.

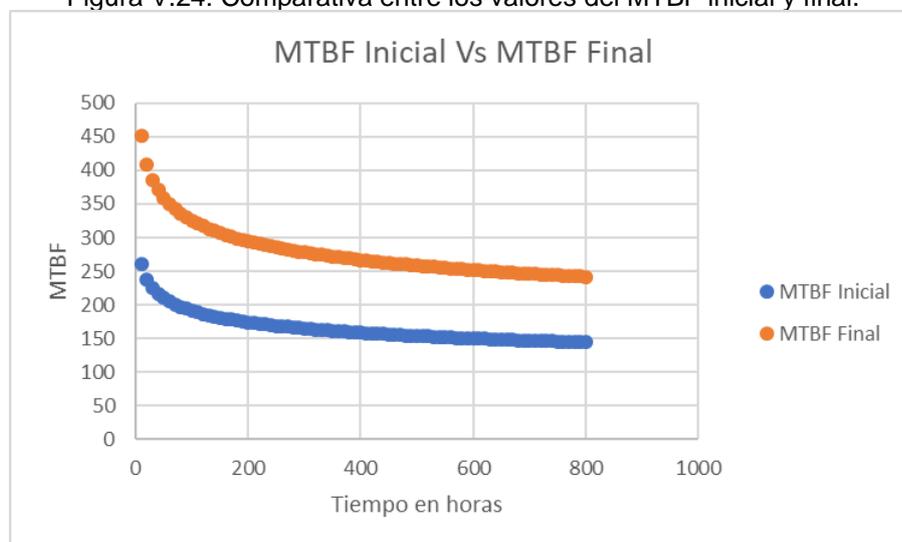
Tabla 5.24: Comparativa de los indicadores de desempeño.

N°	Indicador	Valor Inicial	Valor Final
1	MTBF	188.98 horas	300.74 horas
2	MTTR	20.717 horas	18.99 horas
3	Disponibilidad	90%	95%

Fuente: Propia

En la figura 5.24, se muestra la evolución y comparación en el tiempo del MTBF inicial y el MTBF final. Se observa que el MTBF final tiene una tendencia mejor que el MTBF inicial.

Figura V.24: Comparativa entre los valores del MTBF inicial y final.



Fuente: Propia

En la figura 5.25, se muestra la evolución y comparación en el tiempo del MTTR inicial y el MTTR final. Se observa que el MTTR final tiene una tendencia mejor que el MTTR inicial.

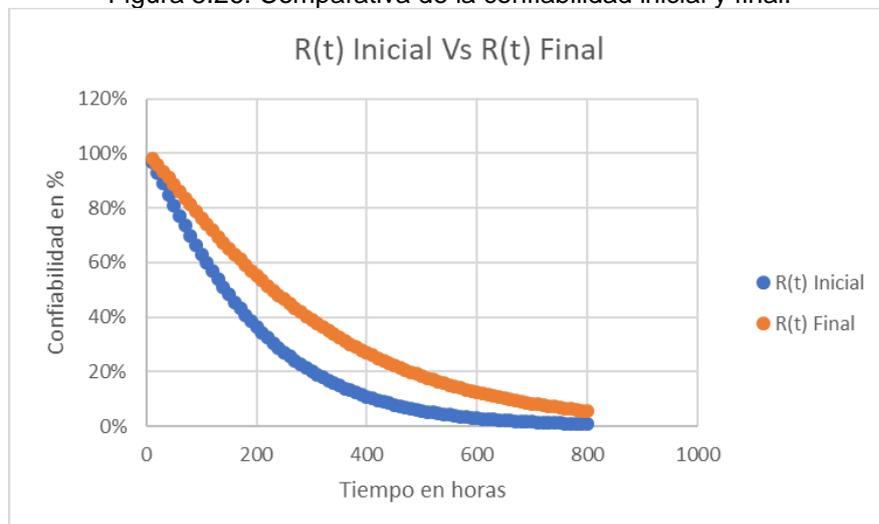
Figura 5.25: Comparativa entre los valores del MTTR inicial y final.



Fuente: Propia

En la figura 5.26, se muestra la evolución y comparación en el tiempo de la confiabilidad $R(t)$ inicial y la confiabilidad $R(t)$ final. Se observa que el $R(t)$ final tiene una tendencia mejor que el $R(t)$ inicial.

Figura 5.26: Comparativa de la confiabilidad inicial y final.



Fuente: Propia

5.1. Resultados descriptivos

Según la metodología aplicada del R-MES, se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 5.25: Resultados de la investigación.

MES	MTBF INICIAL	MTBF FINAL	MTTR INICIAL	MTTR FINAL	DISPONIBILIDAD INICIAL	DISPONIBILIDAD FINAL
1	180.87	306.92	12.54	9.06	93.51	97.13
2	173.95	294.55	11.85	8.35	93.62	97.24
3	168.77	285.30	11.33	7.83	93.71	97.33
4	164.65	277.96	10.93	7.44	93.78	97.39
5	159.74	269.23	10.46	6.98	93.86	97.47
6	158.89	267.73	10.37	6.90	93.87	97.49

Fuente: Propia

Tabla 5.26: Estadísticos de los principales indicadores obtenidos

		Estadísticos					
		MTTR INICIAL	MTTR FINAL	MTB FINICIAL	MTBF FINAL	DISPO INICIAL	DISPO FINAL
N	Válido	6	6	6	6	6	6
	Perdidos	0	0	0	0	0	0
Media		11,2467	7,7600	167,8117	283,6150	93,7250	97,3417
Mediana		11,1300	7,6350	166,7100	281,6300	93,7450	97,3600
Moda		10,37 ^a	6,90 ^a	158,89 ^a	267,73 ^a	93,51 ^a	97,13 ^a
Desv. Desviación		,84040	,83587	8,53067	15,21037	,14124	,13862
Mínimo		10,37	6,90	158,89	267,73	93,51	97,13
Máximo		12,54	9,06	180,87	306,92	93,87	97,49

a. Existen múltiples modos. Se muestra el valor más pequeño.

Fuente: Propia

5.2. Resultados inferenciales

Según los datos obtenidos en los resultados descriptivos, se tomó una muestra de seis datos del antes y después de los indicadores de desempeño MTBF, MTTR y Disponibilidad, los cuales se muestra en la tabla 5.27. Ello para saber si se ajustan a una distribución normal o no normal, se utilizó la prueba de bondad de ajuste o normalidad, utilizando el SPSS v27.

Tabla 5.27: Muestra de los indicadores de desempeño

MES	MTBF INICIAL	MTBF FINAL	MTTR INICIAL	MTTR FINAL	DISPONIBILIDA D INICIAL	DISPONIBILIDA D FINAL
1	180.87	306.92	12.54	9.06	93.51	97.13
2	173.95	294.55	11.85	8.35	93.62	97.24
3	168.77	285.30	11.33	7.83	93.71	97.33
4	164.65	277.96	10.93	7.44	93.78	97.39
5	159.74	269.23	10.46	6.98	93.86	97.47
6	158.89	267.73	10.37	6.90	93.87	97.49

Fuente: Propia

A. Prueba de normalidad o bondad de ajuste de los datos obtenidos

Luego de haber obtenido los datos del antes y después de la variable y dimensiones de estudio, además con la finalidad de realizar la contrastación de la hipótesis general y específicas se realizó la prueba de normalidad por Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov, utilizando SPSS v27.

Tabla 5.28: Prueba de normalidad de los datos

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
MTBFINICIAL	,161	6	,200*	,939	6	,652
MTBFFINAL	,161	6	,200*	,939	6	,649
MTTRINICIAL	,159	6	,200*	,939	6	,649
MTTRFINAL	,158	6	,200*	,936	6	,623
DISPOFINICIAL	,164	6	,200*	,933	6	,601
DISPOFINAL	,156	6	,200*	,945	6	,700

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Propia

Se plantearon la hipótesis nula y la hipótesis alterna.

H_0 : Los datos no presentan distribución paramétrica

H_a : Los datos presentan distribución paramétrica

Para la prueba de normalidad se tuvo en cuenta que, si la significancia α es mayor a 0.05, los datos tienen distribución paramétrica, de lo contrario los datos tienen distribución no paramétrica.

De la tabla 5.22, se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk porque los datos de la muestra son menores a 50 observaciones. Así mismo, se observa que los datos tienen distribución paramétrica, debido a que la significancia es mayor a 0.05 en todos los indicadores de desempeño, por lo tanto, se rechazó la hipótesis nula y como ello se realizó la prueba de T Student, para la contratación de las hipótesis.

B. Prueba de T Student de los datos obtenidos

Los resultados descriptivos fueron analizados con la distribución t-Student para dos muestras relacionadas ya que la primera observación se realizó ejecutando el plan de mantenimiento preventivo inicial y la segunda observación se realizó ejecutándose el plan de mantenimiento preventivo modificado (plan maestro) pero ambas se realizaron a una misma máquina.

Hipótesis general - Disponibilidad: De los resultados descriptivos se analizan seis disponibilidades (una por mes) de cada una de las observaciones, esto es mostrado en la tabla 2.30.

Tabla 5.29: Disponibilidades de cada mes.

MES	DISPONIBILIDAD INICIAL	DISPONIBILIDAD FINAL
1	93.51	97.13
2	93.62	97.24
3	93.71	97.33
4	93.78	97.39
5	93.86	97.47
6	93.87	97.49

Fuente: Propia

Se desea determinar si los promedios entre disponibilidad inicial y disponibilidad final son diferentes usando la muestra de $n = 6$ observaciones de disponibilidades considerando el margen de error de $\alpha = 5\%$.

Se establecen la hipótesis nula y la hipótesis alternativa.

H_0 : La gestión del mantenimiento preventivo no mejora la disponibilidad de la chancadora Traylor 60"x113" en una minera del sur del país.

H_1 : La gestión del mantenimiento preventivo mejora la disponibilidad de la chancadora Traylor 60"x113" en una minera del sur del país.

Entonces:

$$H_0: X_1 = X_2$$

$$H_1: X_1 \neq X_2$$

Tabla 5.30: Prueba T Student a datos de disponibilidad

		Prueba de muestras emparejadas								
		Diferencias emparejadas						t	gl	Sig.
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	(bilateral)	
					Inferior	Superior				
Par 1	DISPOFINICIAL - DISPOFINAL	-3,6166	,00516	,00211	-3,62209	-3,61125	-1715,53	5	,000	

Fuente: Propia

De los resultados se concluyó que se rechaza la hipótesis nula H_0 : La gestión del mantenimiento preventivo no mejora la disponibilidad de la chancadora Traylor 60"x113" en una minera del sur del país.

debido a que el estadístico $t = -1715.53$ esta fuera del rango del intervalo de confianza $-3.62209 < Z < -3.61125$, además la significancia es menor a $\alpha = 0.05$.

Hipótesis específica 1 - Mantenibilidad: De los resultados descriptivos se analizaron a la mantenibilidad asociando el MTTR para ello ya que este indicador es un reflejo de cuan mantenible es el equipo. En base a una muestra de seis valores del MTTR (una por mes) de cada una de las observaciones, esto es mostrado en la tabla 5.31.

Tabla 5.31: MTTR de cada mes

MES	MTTR INICIAL	MTTR FINAL
1	12.54	9.06
2	11.85	8.35
3	11.33	7.83
4	10.93	7.44
5	10.46	6.98
6	10.37	6.90

Fuente: Propia

Se analizó la muestra para determinar si los promedios entre MTTR inicial y MTTR final son diferentes usando la muestra de $n = 6$ observaciones de MTTR considerando el margen de error de $\alpha = 5\%$.

Se establecieron la hipótesis nula y la hipótesis alternativa.

H_0 : La gestión del mantenimiento preventivo no mejora la mantenibilidad de la chancadora Traylor 60"x113" en una minera del sur del país.

H_1 : La gestión del mantenimiento preventivo mejora la mantenibilidad de la chancadora Traylor 60"x113" en una minera del sur del país.

Entonces:

$$H_0: X_1 = X_2$$

$$H_1: X_1 \neq X_2$$

Usando la herramienta en el software SPSS, tenemos lo siguiente:

Se realizó el análisis considerando un intervalo de confianza del 95%. El cual se muestra en la tabla 5.33.

Tabla 5.32: Prueba T Student a datos de MTTR

Prueba de muestras emparejadas									
Diferencias emparejadas									
95% de intervalo de confianza de la diferencia									
		Desviación	Media	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)	
		estándar	estándar	Inferior	Superior				
Par 1	MTTRINICIAL - MTTRFINAL	3,486	,01211	,00494	3,4739	3,4993	705,213	5	,000

Fuente: Propia

El valor del estadístico de prueba $t = 705.213$ quedó fuera del intervalo de confianza $3.47396 < Z < 3.49938$. Por lo tanto, de los resultados se concluyó que se rechaza la hipótesis nula H_0 : La gestión del mantenimiento preventivo no mejora la mantenibilidad de la chancadora Traylor 60"x113" en una minera del sur del país.

Hipótesis específica 2 - Confiabilidad: De los resultados descriptivos se analizó a la confiabilidad asociando el MTBF para ello ya que este indicador es un reflejo de cuan confiable es el equipo durante la operación de esta. En base a una muestra de seis valores del MTBF (una por mes) de cada una de las observaciones, esto se mostrada en la tabla 5.33.

Tabla 5.33: MTBF de cada mes.

MES	MTBF INICIAL	MTBF FINAL
1	180.87	306.92
2	173.95	294.55
3	168.77	285.30
4	164.65	277.96
5	159.74	269.23
6	158.89	267.73

Fuente: Propia

Se desea determinar si los promedios entre MTBF inicial y MTBF final son diferentes usando la muestra de $n = 6$ observaciones de MTBF considerando el margen de error de $\alpha = 5\%$.

Se establecen la hipótesis nula y la hipótesis alternativa.

H_0 : La gestión del mantenimiento preventivo no mejora la confiabilidad de la chancadora Traylor 60"x113" en una minera del sur del país.

H_1 : La gestión del mantenimiento preventivo mejora la confiabilidad de la chancadora Traylor 60"x113" en una minera del sur del país.

Entonces:

$$H_0: X_1 = X_2$$

$$H_1: X_1 \neq X_2$$

Se realiza el análisis considerando un intervalo de confianza del 95%. En la figura 5.34 se muestran los resultados.

Tabla 5.34: Prueba T Student a datos de MTBF

Prueba de muestras emparejadas									
Diferencias emparejadas									
				95% de intervalo de					
				Media	confianza de la				
				Desviació	diferencia				Sig.
		Media	n estándar	estándar	Inferior	Superior	t	gl	(bilateral)
Par	MTBFINICIAL	-115,8033	6,67972	2,72698	-122,8132	-108,7934	-42,466	5	,000
1	- MTBFFINAL								

Fuente: Propia

El valor del estadístico de prueba $t = -42.466$ quedó fuera del intervalo de confianza $-122.81327 < Z < -108.79340$. Por lo tanto, de los resultados se concluye que se rechaza la hipótesis nula H_0 : La gestión del mantenimiento preventivo no mejora la confiabilidad de la chancadora Traylor 60"x113" en una minera del sur del país.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el capítulo anterior donde después de haber usado el software SPSS V.27 como herramienta de análisis de las hipótesis. Los resultados obtenidos serán usados para contrastar las hipótesis que se plantearon en el capítulo III del presente estudio de investigación.

Hipótesis general: La gestión del mantenimiento preventivo mejora la disponibilidad de la chancadora Traylor 60"x113" en una minera del sur del país. Después de analizar y realizar la interpretación del resultado obtenido, fue posible afirmar que al modificar la gestión del mantenimiento preventivo influyó positivamente en la disponibilidad de la chancadora Traylor 60" x 113" pues esta última mejoró del 90% al 95%, es decir se observó un incremento del 5%. Así mismo, se identifica que los esfuerzos centrados en las oportunidades de mejora eliminan las fallas satisfactoriamente. Ahora se cuenta con mayor tiempo de disponibilidad del equipo para el proceso productivo.

Hipótesis específica 1: La gestión del mantenimiento preventivo mejora la mantenibilidad de la chancadora Traylor 60"x113" en una minera del sur del país. Después de analizar y realizar la interpretación del resultado obtenido, fue posible afirmar que al manipular la gestión del mantenimiento preventivo influye positivamente en la mantenibilidad de la chancadora Traylor 60" x 113" pues esta última mejora de 20.717 horas a 18.99 horas, es decir hay una mejora de 1.727 horas, se debe entender que la mejora de la mantenibilidad es la reducción del tiempo empleado reparar una falla.

Hipótesis específica 2: La gestión del mantenimiento preventivo mejora la confiabilidad de la chancadora Traylor 60"x113" en una minera del sur del país. Después de analizar y realizar la interpretación del resultado obtenido, es posible afirmar que al manipular la gestión del mantenimiento preventivo influye positivamente en la confiabilidad de la chancadora Traylor 60" x 113" pues esta última mejora de 188.98 horas a 300.74 horas, es decir hay una mejora de 111.76 horas. Lo que nos dice que los tiempos de operación de la máquina sin

presentar una falla ha incrementado. Ahora la chancadora Traylor 60" x 113" es más confiable en su operación.

6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares.

Después del análisis y según se mostró en los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, aplicando la ingeniería de confiabilidad el cual se materializa en el enfoque R-MES hubo una mejora en los indicadores de desempeño entre la primera observación y la segunda observación, ambos de seis meses aproximadamente donde se vio una mejora significativa del 5% en la disponibilidad de la chancadora Traylor 60" x 113", esto nos evidencia que el número de fallas ha disminuido y que ahora se cuenta con más tiempo para poder operar, estos resultados son similares a los resultados obtenidos en la investigación realizada por Acuña y Vargas (2019) en su trabajo titulado "Mantenimiento basado en confiabilidad y su influencia en la disponibilidad de los equipos de una planta concentradora", quienes afirman dentro de sus conclusiones que la disponibilidad mejoro en 2% después de haber aplicado el RCM en los equipos de una planta concentradora. Así también Aldana (2019) en su trabajo titulado "Gestión del mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad en los equipos mineras de transporte en la unidad Inmaculada – Ayacucho de la empresa Unión de Concreteras S.A" sostiene en sus conclusiones que la disponibilidad mejoro en 4.06% gracias a la implementación de la gestión del mantenimiento preventivo.

Así también en el presente estudio de investigación se observa que el indicador de desempeño MTBF asociados a la confiabilidad, mostró una variación positiva de 188.98 horas a 300.74 horas logrando un incremento de 111.76 horas, lo cual evidencia que el enfoque centrado en las oportunidades de mejora con la finalidad de evitar fallas recurrentes se refleja en más tiempo para producir. Este resultado obtenido es similar al estudio de investigación de Palomares (2015) en su trabajo de investigación titulado "Implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) al sistema de izaje mineral, de la compañía minera Milpo, unidad el Porvenir", quien afirma que con su estudio logro el objetivo de incrementar en valor del MTBF de 100 a 120 horas en el sistema de izaje

logrando un incremento de 20 horas, sostiene también que con la aplicación del RCM ha logrado ampliar la frecuencia de mantenimiento preventivo programado de dos a tres semanas. Así también Villacrés (2016) en su trabajo de investigación titulado “Desarrollo de un plan de mantenimiento aplicando la metodología de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) para el vehículo hidrocleaner Vactor M654 de la empresa Etapa EP” sostiene que la tasa de fallas se redujo de 11 a 6 fallas por año después de aplicar un plan de mantenimiento basado en confiabilidad a partir del año 2015 en los componentes del chasis del vehículo hidrocleaner Vactor M654 de la empresa Etapa EP. Cabe mencionar que la tasa de fallas es inversa al MTBF. Finalmente, Pillado y Castillo (2022) en su trabajo de investigación titulado “Metodología de administración para el mantenimiento preventivo como base de la confiabilidad de las maquinas” sostienen que después de la implementación de la metodología propuesta se registró una mejora en el MTBF de 1.176 horas a 1.699 horas.

Así mismo, en el presente estudio de investigación se observa que el indicador de desempeño MTTR asociado a la mantenibilidad, mostró una variación positiva de 20.717 horas a 18.99 horas logrando una mejora de 1.727 horas, lo cual evidencia que el enfoque centrado en las oportunidades de mejora se refleja en la optimización de los tiempos empleados para reparar una falla. Este resultado obtenido es similar a la investigación de Arevalo (2021) en su trabajo de investigación titulado “Diseño de un sistema de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la productividad en la línea de producción de fideos de la empresa Perupast S.R.L.” donde sostiene que el MTTR se redujo a 0.84 horas después de diseñar e implementar un sistema de gestión de mantenimiento preventivo basado en el RCM, el cual fue complementado con la herramienta del Análisis de modos y efectos de fallas AMEF. Así también Aldana (2019) en su trabajo de investigación titulado “Gestión del mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad en los equipos mineros de transporte en la unidad Inmaculada – Ayacucho de la empresa Unión de concreteras S.A” sostiene que el MTTR mejoro de 17.15 horas a 5.49 horas después de la implementación de la propuesta de plan de mantenimiento preventivo.

6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes

En cumplimiento de las disposiciones dadas y que están vigentes en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Callao, en la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía se declara bajo juramento que toda la información contenida en el presente estudio de investigación es veraz y autentica. Así mismo se cumple con la documentación respectiva para optar por el grado académico de magister. Además, el trabajo de investigación cumple con los índices de similitud de acuerdo al reglamento de la universidad.

VII. CONCLUSIONES

- Se logro determinar que la gestión del mantenimiento preventivo mejoro la disponibilidad en 5% por la aplicación del enfoque R-MES que materializa a la ingeniería de confiabilidad mediante sus diez etapas donde se modificó a la gestión del mantenimiento preventivo de manera favorable, la cual trajo resultados significativos en la disponibilidad de la chancadora Traylor 60" x 113" de una unidad minera del sur del país. Esto se refleja en los resultados calculados para la disponibilidad mediante el modelo de la distribución de Weibull durante la primera y segunda observación que duraron seis meses aproximadamente cada uno evidenciando que la disponibilidad de la maquina paso de 90% a 95%. Ello representa un valor muy representativo para la unidad minera ya que este resultado aporta en un mayor tiempo para poder operar y por ende mayor producción de tonelaje chancado.
- La gestión del mantenimiento preventivo mejoro la mantenibilidad logrando una reducción de 1.727 horas. La mantenibilidad fue trabajada bajo el modelo de la distribución de Weibull dentro del enfoque R-MES relacionándola directamente con el indicador MTTR ya que este indicador dimensiona cuan mantenible es la chancadora Traylor 60" x 113" entendiendo que si estamos ante un valor alto de este indicador, la mantenibilidad seria baja y en caso contrario de tener un valor bajo de este indicador la mantenibilidad seria alta, dando como resultados inicial y final 20.717 horas y 18.99 horas respectivamente. Ello representa es muy representativo para este tipo de máquinas dentro de la minería y que también aporta para lograr un mayor tiempo de operación y por ende mayor producción de tonelaje chancado.
- La gestión del mantenimiento preventivo mejoro la confiabilidad logrando un incremento de 111.76 horas. Dentro del estudio de investigación el indicador de desempeño denominado confiabilidad también fue analizado asociándolo al MTBF ya que este indicador muestra cuan confiable es el equipo durante la operación, es decir ante un indicador de alto valor estaríamos frente a un equipo más confiable mientras que si estuviéramos ante un valor bajo

estaríamos frente a un equipo no confiable con tendencia a fallar constantemente. Dentro del análisis se obtuvo los resultados para el MTBF inicial y MTBF final de 188.98 horas y 300.74 horas respectivamente. Ello es muy representativo para este tipo de máquina y aporta asegurando mayor tiempo de operación continua y por ende mayor producción de tonelaje chancado.

VIII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda a la jefatura del área de mantenimiento evaluar el uso de otras metodologías para analizar el mantenimiento preventivo tales como el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM, el Mantenimiento Productivo Total TPM entre otros, con el fin de buscar oportunidades de mejora que logren incrementar la disponibilidad de una chancadora Traylor 60" x 113".
- Se recomienda a la jefatura del área de mantenimiento evaluar opciones de mejoría implementando tecnología para la ejecución del mantenimiento tales como herramientas mecánicas de mayor precisión, equipamiento hidráulico inteligente entre otros con la finalidad de optimizar los tiempos empleados al hacer frente a una falla, ello con la finalidad de incrementar la mantenibilidad de una chancadora Traylor 60" x 113". Esto se puede plantear en la novena etapa del enfoque R-MES.
- Se recomienda a la jefatura del área de mantenimiento implementar tareas bajo el enfoque del Mantenimiento Productivo Total TPM con la finalidad de que las personas que se encargan de operar la chancadora Traylor 60" x 113" realicen inspecciones periódicas que le permitan identificar fallas potenciales, las cuales deberán ser atendidas oportunamente por el departamento de mantenimiento para que dichas fallas potenciales no se materialicen en una falla. Con ello se tendrá una mejoría sustancial en la confiabilidad.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALDANA GALLO, CÉSAR. *Gestión del Mantenimiento Preventivo para mejorar la disponibilidad en los equipos mineros de transporte en la unidad Inmaculada-Ayacucho de la empresa Unión de Concreteras S.A.* Tesis [Maestro en gerencia del mantenimiento]. Callao: Universidad Nacional del Callao, 2019. [fecha de consulta: 11 de marzo de 2023]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12952/4374>
- ARATA ADREANI, Adolfo and ARATA BOZZOLO, Alessio. *Ingeniería de La Confiabilidad Arata Cap.1.* [en línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/431239044/Libro-Ingenieria-de-La-Confiabilidad-Arata-Arata-Cap-1>Ingeniería de La Confiabilidad Arata
- ARÉVALO FERNÁNDEZ, Heinz Eric. *Diseño de Un Sistema de Gestión de Mantenimiento Centro en la Confiabilidad para Mejorar la Productividad en la Línea de Producción de Fideos de la Empresa Perupast S.R.L.* Tesis [Maestro en Ingeniería Industrial]. Perú: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, 2021. 133pp.
- CAMPOS-LÓPEZ, Omar, TOLENTINO-ESLAVA, Guilibaldo, TOLEDO-VELÁZQUEZ, Miguel y TOLENTINO-ESLAVA, René. *Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. Científica. 2019. Vol. 23, no. 1, p. 51–59.* El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés) es una metodología ampliamente reconocida y de uso extendido para elaborar planes.
- CÁRCEL CARRASCO, Francisco Javier. *Evolución Histórica del Mantenimiento Industrial en relación con la Gestión del Conocimiento,* 2016 [fecha de consulta: 10 de marzo del 2023]. Disponible en: <http://www.revistadyna.com/Articulos/Ficha.aspx?IdMenu=a5c9d895-28e0-4f92-b0c2-c0f86f2a940b&Cod=7890&Idioma=es-ES>
- CARRASCO DIAZ, Sergio. *Metodología de La Investigación Científica.* [en línea]. 2003 [fecha de consulta 01 enero del 2003]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/575484795/CARRASCO-DIAZ-S-Metodologia-de-La-Investigacion-Cientifica-OCR-Por-Ganz1912>
- ESPINOZA MONTES, Ciro. *Evaluación de Métodos para Determinar la Determinar la Confiabilidad mediante la Distribución de Weibull. Caso Planta San Antonio. 1 marzo 2010.*
- FLORES, Ricardo Rashuamán. *Modelo de Gestión de Mantenimiento para el Incremento de Disponibilidad de las Máquinas en una Planta de Fabricación de Bombas Centrífugas.* 2019. Tesis [Maestro en Gerencia de Mantenimiento]. Perú: Universidad Nacional del Callao. 2019.

- GASCA, Mayra, CAMARGO, Luis y MEDINA, Byron. *Gestión del Mantenimiento para la Confiabilidad Operación*, 2020. [fecha de consulta: 10 diciembre 2020]. Vol. 41, no. 47, p. 250–261. DOI 10.48082/espacios-a20v41n47p18.
- Gestión de Material Industrial. *Gestión*, 2021 [fecha de consulta: 12 September 2021]. Disponible en: <https://gestion.pe/economia/mas-de-86-de-las-empresas-en-peru-ya-estan-tercerizando-sus-servicios-noticia/>
- GORDILLO SANTANA, Omar Ernesto Ernesto Gordillo and SIERRA ARÉVALO, Omar. *Propuesta de Mejora al Plan de Mantenimiento para los Equipos de Mayor Criticidad en la Empresa OSG Aplicando la Metodología RCM*, 2022. Tesis [Maestro en Gerencia de Mantenimiento]. Colombia: Universidad ECCI. 2022. 60pp.
- GUTIÉRREZ QUISPE, Cesar Esteban. *Plan de Gestión de Mantenimiento Basado en la Metodología RCM para Mejorar la Disponibilidad de Bombas Concreteras Putzmeister. Caso: Concretos Supermix S.A*, 2019 [fecha de consulta 1 enero 2019]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/638275801/Untitled>
- HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto, FERNÁNDEZ COLLADO, Carlos and BAPTISTA LUCIO, María del Pilar. *Metodología de la Investigación*. Sexta edición. México D.F. : McGraw-Hill Educación, 2014. ISBN 978-1-4562-2396-0.
- HUAMÁN VÁSQUEZ, Diego. *Plan de Mantenimiento Preventivo Centrado en Confiabilidad para Mejorar la Disponibilidad de los Equipos Pesados de Carguío y Acarreo en una Cantero de Caliza*, 2018. Tesis [Maestro en Gerencia de Mantenimiento]. Perú: Universidad Nacional del Callao. 2018.
- KURAMOTO, Juana and GLAVE, Manuel. *La Minería Peruana: Lo que Sabemos y lo que aún nos Falta Saber*. Revista Energiminas, 2019 [fecha de consulta: 1 enero 2023]. Disponible en: <https://energiminas.com/proximas-ediciones/>
- PÉREZ RONDÓN, FÉLIX. *Conceptos Generales en la gestión del mantenimiento industrial* [en línea]. Colombia: Ediciones USTA, 2021. [fecha de consulta: 15 de marzo de 2023]. ISBN: 9972-34-242-5. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/33276/9789588477923.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- PILLADO PORTILLO, Martín, CASTILLO PÉREZ, Velia Herminia and DE LA RIVA RODRÍGUEZ, Jorge. *Metodología de Administración para el Mantenimiento Preventivo como Base de la Confiabilidad de las Máquinas*. RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo, 2018 [fecha de consulta 16 junio 2022]. Disponible

en: <https://www.ride.org.mx/index.php/RIDE/article/view/1218>

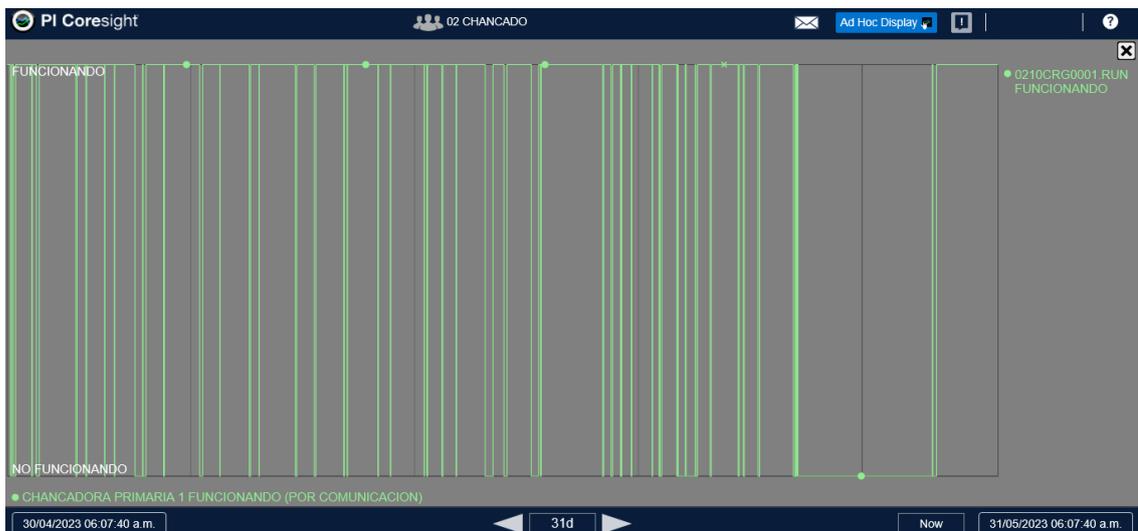
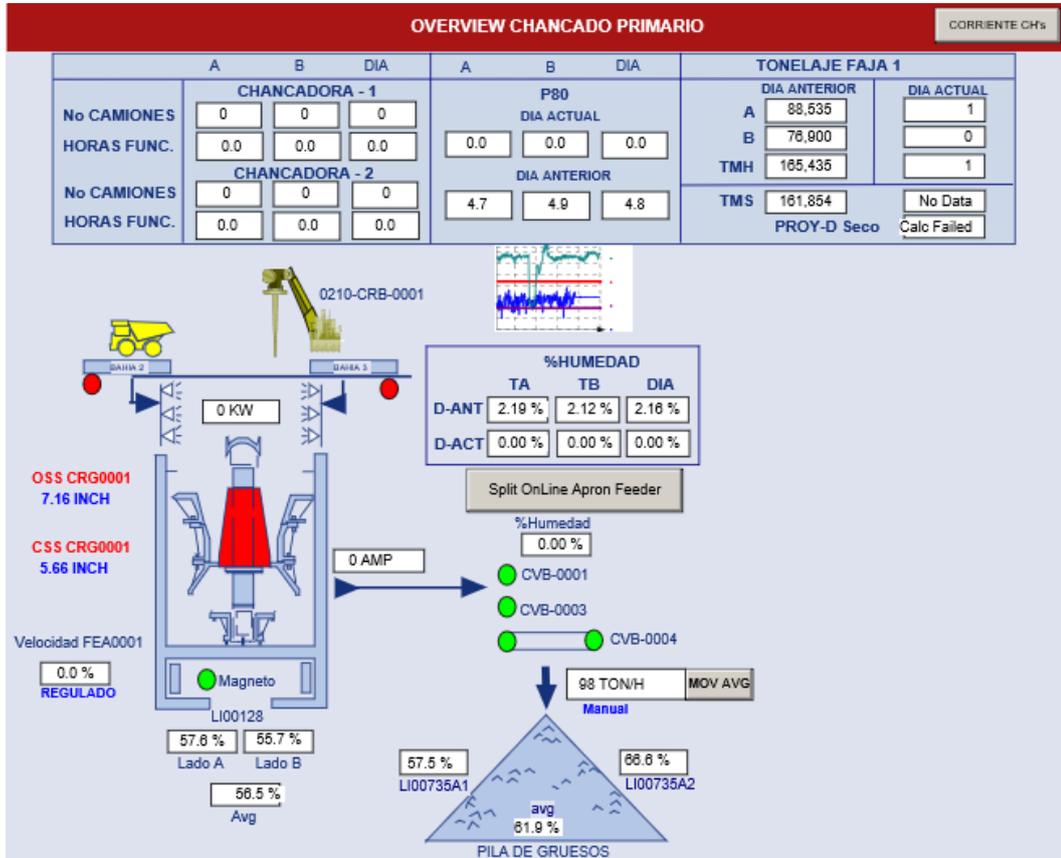
- RASHUAMÁN FLORES. *Modelo de Gestión de Mantenimiento para el Incremento de Disposición de las Maquinas en una Planta de Fabricación de Bombas Centrifugas*, 2019. Tesis [Maestro en Gerencia de Mantenimiento]. Perú: Universidad Nacional del Callao. 2019.
- RONDÓN, Félix Antonio Pérez. *Conceptos Generales en la Gestión del Mantenimiento Industrial*. 1a ed. Colombia: Ediciones USTA, 2021. 112 pp. ISBN: 978-958-8477-92-3
- ROSADO PACHECO, Rene. *Aplicación de la Metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para el Desarrollo de Planes de Mantenimiento*. 2021.
- SAJARADJ, and NURUL. *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)*, 2019 [fecha de consulta 26 abril 2021]. Disponible en: <https://www.cursosaula21.com/que-es-el-mantenimiento-centrado-en-la-confiabilidad-rcm/>
- SANTANA SÁNCHEZ, Lino. *Plan de Mantenimiento Basado en RCM para Mejorar la Confiabilidad de la Red de Transmisión Eléctrica de Alta Tension, caso: Southern Perú Cooper Corporation-SPCC*, 2019 [fecha de consulta 1 enero 2019]. Disponible en: <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/b3eee5cb-c520-4f7a-bc7d-db70a98f6ee8/content>
- SUBCOMITÉ SAE G11 RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE. *Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad [en línea]*. USA: NORMA SAE JA1011, 1999 [fecha de consulta: 15 de marzo de 2023]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/378923523/356073812-SAE-JA1011-en-Espanol-pdf#>
- TSANG, Andrew. *Maintenance, Replacement, and Reliability*, 2013 [fecha de consulta 01 enero 2013]. Disponible en: <https://dokumen.pub/maintenance-replacement-and-reliability-theory-and-applications-second-edition-2nd-ed-9781466554863-146655486x-9781466554894-1466554894.html>
- VIVEROS GUNCKEL, PABLO. *Propuesta de herramientas gráficas para el diagnóstico, análisis y control de gestión en mantenimiento y producción, incorporando indicadores fundamentales de fiabilidad y rendimiento*. Tesis [Doctorado en ingeniería mecánica y de organización industrial]. Sevilla. España: Universidad de Sevilla, 2017.

X. ANEXOS:

- Matriz de consistencia.
- Instrumentos validados.
- Base de datos
- Muestra de los indicadores de gestión para su análisis en la prueba de hipótesis utilizando el software SPSS v27
- Plan de mantenimiento de la chancadora Traylor 60" x 113"

Anexo 02: Instrumentos validados.

Entorno del software PI System de donde se extrajeron los datos históricos de tiempos entre fallas y tiempos para reparación.



Fuente: Unidad minera

Anexo 03: Base de datos.

Datos históricos de tiempos entre detenciones de la chancadora primaria.

N°	Motivo de la detención	TBF (h)	TTR (h)
1	Bajo flujo de aceite de lubricación en bujes	170.4	12
2	Alta presión de aceite de lubricación	183.6	6
3	Caída de CAP por agente externo	51.6	24
4	Alta temperatura en el aceite de lubricación en el retorno	21.6	18
5	Falla en sistema de engrase de Spider	242.4	3
6	Caída de CAP por agente externo	103.2	36
7	Caída de eje principal por material inchancable	290	6
8	Falla de acumulador de nitrógeno	260	18
9	Falla de acumulador de nitrógeno	120	24
10	Falla de válvula relief regulable	86.4	6
11	Falla de acumulador de nitrógeno	60	24
12	Desgaste en revestimiento del brazo del contraeje de la chancadora	240	42
13	Sobresaturación en filtro de aceite de lubricación	189.6	6
14	Falla en sistema de engrase de Spider	374.4	15
15	Rotura de manguera de aceite de lubricación de contraeje	244.8	6
16	Caída de CAP por agente externo	26.4	24
17	Alta presión de aceite de lubricación	402	12
18	Alta presión de aceite de lubricación	14.4	12
19	Quemadura de buje interno por material inchancable	450	138
20	Falla en sistema de engrase de Spider	49.2	6

Fuente: Unidad minera

Anexo 04: Muestra de los indicadores de gestión para su análisis en la prueba de hipótesis utilizando el software SPSS v27.

MES	MTBF INICIAL	MTBF FINAL	MTTR INICIAL	MTTR FINAL	DISPONIBILIDAD INICIAL	DISPONIBILIDAD FINAL
1	180.87	306.92	12.54	9.06	93.51	97.13
2	173.95	294.55	11.85	8.35	93.62	97.24
3	168.77	285.30	11.33	7.83	93.71	97.33
4	164.65	277.96	10.93	7.44	93.78	97.39
5	159.74	269.23	10.46	6.98	93.86	97.47
6	158.89	267.73	10.37	6.90	93.87	97.49

	MTBFINICIAL	MTBFFINAL	MTTRINICIAL	MTTRFINAL	DISPOFINICIAL	DISPOFINAL	var
1	180,87	306,92	12,54	9,06	93,51	97,13	
2	173,95	294,55	11,85	8,35	93,62	97,24	
3	168,77	285,30	11,33	7,83	93,71	97,33	
4	164,65	277,96	10,93	7,44	93,78	97,39	
5	159,74	269,23	10,46	6,98	93,86	97,47	
6	158,89	267,73	10,37	6,90	93,87	97,49	
7							

Escala: ALL VARIABLES

Resumen de procesamiento de casos

		N	%
Casos	Válido	6	100,0
	Excluido ^a	0	,0
	Total	6	100,0

a. La eliminación por lista se basa en todas las variables del procedimiento.

Estadísticas de fiabilidad

Alfa de Cronbach	N de elementos
,990	6

Fuente: Propia

Anexo 05: Plan de mantenimiento de la chancadora Traylor 60" x 113"

PLAN DE MANTENIMIENTO DE LA CHANCADORA TRAYLOR 60" X 113"										
N°	Descripción del plan de mantenimiento	Frecuencia de mantenimiento	Centro de trabajo	TAG del equipo	Descripción del componente mantenible	Número de técnico	Duración	Unidad	Horas hombre	Unidad
1	Clean Blower Air Filter Dust Seal	1W Clean Blower Air Filter Dust Seal	MCRU	0210-CRG-0001	Dust Seal Components	2	2	H	4	H
2	Clean Blower Air Filter Dust Seal	1W Clean Blower Air Filter Dust Seal	MCRU	0210-CRG-0001	Dust Seal Components	2	2	H	4	H
3	Insp Primary Crusher 0210-CRG-0001	2W Insp Primary Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Crusher Gyratory Primary 1	2	2.5	H	5	H
4	Insp Liner Oct/Bott/Spid Prim Crusher	6M Insp Liner Oct/Bott/Spid Prim Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Crushing System	4	8	H	32	H
5	Clean Radiator System Lubrication	1W Clean Radiator System Lubrication	MCRU	0210-CRG-0001	Lube Cooling System	2	2	H	4	H
6	Svce Lube Primary Crusher 0210-CRG-0001	3M Svce Lube Primary Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Lubrication System Components	2	2	H	4	H
7	Svce Lube Primary Crusher 0210-CRG-0001	3M Svce Lube Primary Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Lubrication System Components	0	0	H	0	H
8	C/O Spider Bushing 0210-CRG-0001	18M C/O Spider Bushing Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Spider	2	2	H	4	H
9	C/O Spider Bushing 0210-CRG-0001	18M C/O Spider Bushing Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Spider	2	2	H	4	H
10	C/O Spider Bushing 0210-CRG-0001	18M C/O Spider Bushing Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Spider	2	2	H	4	H
11	C/O Spider Bushing 0210-CRG-0001	18M C/O Spider Bushing Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Spider	2	2	H	4	H
12	C/O Spider Bushing 0210-CRG-0001	18M C/O Spider Bushing Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Spider	2	2	H	4	H
13	C/O Spider Bushing 0210-CRG-0001	18M C/O Spider Bushing Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Spider	2	2	H	4	H
14	C/O Spider Bushing 0210-CRG-0001	18M C/O Spider Bushing Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Spider	2	2	H	4	H
15	C/O Spider Bushing 0210-CRG-0001	18M C/O Spider Bushing Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Spider	2	2	H	4	H
16	C/O Spider Bushing 0210-CRG-0001	18M C/O Spider Bushing Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Spider	0	0	H	0	H
17	C/O Mainshaft Crusher 0210-CRG-0001	6M C/O Mainshaft Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Main Shaft	1	1	H	1	H
18	C/O Mainshaft Crusher 0210-CRG-0001	6M C/O Mainshaft Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Main Shaft	2	12	H	24	H
19	C/O Mainshaft Crusher 0210-CRG-0001	6M C/O Mainshaft Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Main Shaft	2	12	H	24	H
20	C/O Mainshaft Crusher 0210-CRG-0001	6M C/O Mainshaft Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Main Shaft	2	12	H	24	H
21	C/O Mainshaft Crusher 0210-CRG-0001	6M C/O Mainshaft Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Main Shaft	2	12	H	24	H
22	C/O Mainshaft Crusher 0210-CRG-0001	6M C/O Mainshaft Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Main Shaft	2	12	H	24	H
23	C/O Mainshaft Crusher 0210-CRG-0001	6M C/O Mainshaft Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Main Shaft	0	0	H	0	H
24	C/O Mainshaft Crusher 0210-CRG-0001	6M C/O Mainshaft Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Main Shaft	2	12	H	24	H
25	C/O Mainshaft Crusher 0210-CRG-0001	6M C/O Mainshaft Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Main Shaft	2	12	H	24	H
26	C/O Mainshaft Crusher 0210-CRG-0001	6M C/O Mainshaft Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Main Shaft	2	12	H	24	H
27	C/O Mainshaft Crusher 0210-CRG-0001	6M C/O Mainshaft Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Main Shaft	2	12	H	24	H
28	C/O Mainshaft Crusher 0210-CRG-0001	6M C/O Mainshaft Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Main Shaft	2	12	H	24	H
29	C/O Mainshaft Crusher 0210-CRG-0001	6M C/O Mainshaft Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Main Shaft	2	12	H	24	H
30	C/O Mainshaft Crusher 0210-CRG-0001	6M C/O Mainshaft Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Main Shaft	2	12	H	24	H
31	C/O Mainshaft Crusher 0210-CRG-0001	6M C/O Mainshaft Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Main Shaft	2	12	H	24	H
32	C/O Mainshaft Crusher 0210-CRG-0001	6M C/O Mainshaft Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Main Shaft	2	12	H	24	H
33	C/O Mainshaft Crusher 0210-CRG-0001	6M C/O Mainshaft Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Main Shaft	2	12	H	24	H
34	C/O Mainshaft Crusher 0210-CRG-0001	6M C/O Mainshaft Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Main Shaft	2	12	H	24	H
35	C/O Mainshaft Crusher 0210-CRG-0001	6M C/O Mainshaft Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Main Shaft	0	0	H	0	H

157	C/O Countershaft Cru 0210-CRG-0001	5Y C/O Countershaft Assy Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Counter Shaft	1	1	H	1	H
158	C/O Countershaft Cru 0210-CRG-0001	5Y C/O Countershaft Assy Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Counter Shaft	0	0	H	0	H
159	C/O Countershaft Cru 0210-CRG-0001	5Y C/O Countershaft Assy Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Counter Shaft	2	24	H	48	H
160	C/O Countershaft Cru 0210-CRG-0001	5Y C/O Countershaft Assy Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Counter Shaft	0	0	H	0	H
161	C/O Hydr Cylinder Cru 0210-CRG-0001	6Y C/O Hydraulic Cylinder Assy Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Hydraulic Components	2	12	H	24	H
162	C/O Hydr Cylinder Cru 0210-CRG-0001	6Y C/O Hydraulic Cylinder Assy Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Hydraulic Components	2	12	H	24	H
163	C/O Hydr Cylinder Cru 0210-CRG-0001	6Y C/O Hydraulic Cylinder Assy Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Hydraulic Components	2	12	H	24	H
164	C/O Hydr Cylinder Cru 0210-CRG-0001	6Y C/O Hydraulic Cylinder Assy Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Hydraulic Components	1	1	H	1	H
165	C/O Hydr Cylinder Cru 0210-CRG-0001	6Y C/O Hydraulic Cylinder Assy Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Hydraulic Components	0	0	H	0	H
166	C/O Hydr Cylinder Cru 0210-CRG-0001	6Y C/O Hydraulic Cylinder Assy Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Hydraulic Components	2	24	H	48	H
167	C/O Hydr Cylinder Cru 0210-CRG-0001	6Y C/O Hydraulic Cylinder Assy Crusher	MCRU	0210-CRG-0001	Hydraulic Components	0	0	H	0	H
168	C/O Mech Drive Shaft CRG001	5Y C/O Mech Drive Shaft	MCRU	0210-CRG-0001	Shaft	2	6	H	12	H
169	C/O Mech Coupling Safeset CRG001	5Y C/O Mech Coupling Safeset	MCRU	0210-CRG-0001	Coupling Safeset	2	8	H	16	H
170	C/O Mech Concaves CRG001	18M C/O Mech Concaves	MCRU	0210-CRG-0001	Crushing Components	1	1	H	1	H
171	C/O Mech Concaves CRG001	18M C/O Mech Concaves	MCRU	0210-CRG-0001	Crushing Components	3	48	H	144	H
172	C/O Mech Concaves CRG001	18M C/O Mech Concaves	MCRU	0210-CRG-0001	Crushing Components	3	48	H	144	H
173	C/O Mech Concaves CRG001	18M C/O Mech Concaves	MCRU	0210-CRG-0001	Crushing Components	3	48	H	144	H
174	C/O Mech Concaves CRG001	18M C/O Mech Concaves	MCRU	0210-CRG-0001	Crushing Components	0	0		0	H
175	C/O Mech Spider Cap CRG001	5Y C/O Mech Spider Cap	MCRU	0210-CRG-0001	Spider	4	4	H	16	H
176	Arm Mainshaft Oversize 114.5 CRG001	18M Arm Mainshaft Oversize 114.5	MCRU	0210-CRG-0001	Main Shaft	0	0	H	0	H
177	Arm Mainshaft Oversize 114.5 CRG001	18M Arm Mainshaft Oversize 114.5	MCRU	0210-CRG-0001	Main Shaft	0	0	H	0	H
178	Arm Mainshaft Oversize 114.5 CRG001	18M Arm Mainshaft Oversize 114.5	MCRU	0210-CRG-0001	Main Shaft	2	72	H	144	H
179	Arm Mainshaft Oversize 114.5 CRG001	18M Arm Mainshaft Oversize 114.5	MCRU	0210-CRG-0001	Main Shaft	2	72	H	144	H
180	Arm Mainshaft Oversize 114.5 CRG001	18M Arm Mainshaft Oversize 114.5	MCRU	0210-CRG-0001	Main Shaft	2	72	H	144	H
181	Arm Mainshaft Oversize 114.5 CRG001	18M Arm Mainshaft Oversize 114.5	MCRU	0210-CRG-0001	Main Shaft	2	72	H	144	H
182	Arm Mainshaft Oversize 114.5 CRG001	18M Arm Mainshaft Oversize 114.5	MCRU	0210-CRG-0001	Main Shaft	2	72	H	144	H
183	Arm Mainshaft Oversize 114.5 CRG001	18M Arm Mainshaft Oversize 114.5	MCRU	0210-CRG-0001	Main Shaft	2	72	H	144	H
184	Arm Mainshaft Oversize 114.5 CRG001	18M Arm Mainshaft Oversize 114.5	MCRU	0210-CRG-0001	Main Shaft	2	72	H	144	H
185	Arm Mainshaft Oversize 114.5 CRG001	18M Arm Mainshaft Oversize 114.5	MCRU	0210-CRG-0001	Main Shaft	2	72	H	144	H
186	Arm Mainshaft Oversize 114.5 CRG001	18M Arm Mainshaft Oversize 114.5	MCRU	0210-CRG-0001	Main Shaft	2	72	H	144	H
187	Arm Mainshaft Oversize 114.5 CRG001	18M Arm Mainshaft Oversize 114.5	MCRU	0210-CRG-0001	Main Shaft	2	72	H	144	H
188	Arm Mainshaft Oversize 114.5 CRG001	18M Arm Mainshaft Oversize 114.5	MCRU	0210-CRG-0001	Main Shaft	2	72	H	144	H
189	Arm Mainshaft Oversize 114.5 CRG001	18M Arm Mainshaft Oversize 114.5	MCRU	0210-CRG-0001	Main Shaft	2	72	H	144	H
190	C/O Mech Dust bonnet CRG001	2Y C/O Mech Dust bonnet	MCRU	0210-CRG-0001	Dust Seal Components	2	3	H	6	H
191	C/O Mech Dust bonnet CRG001	2Y C/O Mech Dust bonnet	MCRU	0210-CRG-0001	Dust Seal Components	2	3	H	6	H
192	C/O Mech Dust bonnet CRG001	2Y C/O Mech Dust bonnet	MCRU	0210-CRG-0001	Dust Seal Components	2	3	H	6	H
193	C/O Mech Dust bonnet CRG001	2Y C/O Mech Dust bonnet	MCRU	0210-CRG-0001	Dust Seal Components	2	3	H	6	H
194	Svce Mech Dust Seal Piping CRG001	18M Svce Mech Dust Seal Piping	MCRU	0210-CRG-0001	Dust Seal Components	2	12	H	24	H
195	C/O Mech Grease Relief Valv PSV-0154	4Y C/O Mech Spider Grease Relief Valve	MCRU	0210-CRG-0001	Valves	2	4	H	8	H
196	Chk Mech Spider CRG001	6M Chk Mech Spider	MCRU	0210-CRG-0001	Spider	2	2	H	4	H
197	C/O Mech Spider CRG001	8Y C/O Mech Spider	MCRU	0210-CRG-0001	Spider	4	8	H	32	H

198	Repr Mech Octagon Liner CRG001	18M Repr Mech Octagon Liner	MCRU	0210-CRG-0001	Crushing Components	0	0		0	H
199	C/O Mech Hydraulic Accumulator CRG001	4Y C/O Mech Hydraulic Accumulator	MCRU	0210-CRG-0001	Hydraulic Components	2	4	H	8	H
200	C/O Mech Hydraulic Accumulator CRG001	4Y C/O Mech Hydraulic Accumulator	MCRU	0210-CRG-0001	Hydraulic Components	2	4	H	8	H
201	C/O Mech Hydr Syst 4-way Valve CRG001	4Y C/O Mech Hydr Syst 4-way Valve	MCRU	0210-CRG-0001	Valves	2	4	H	8	H
202	Svce Mech Lube Tank CRG001	3M Svce Mech Lube Tank	MCRU	0210-CRG-0001	Lubrication System Components	2	3	H	6	H
203	C/O Mech Lubrication Syst Valves CRG001	4Y C/O Mech Lubrication System Valves	MCRU	0210-CRG-0001	Valves	2	4	H	8	H
204	Insp Mech Lube Syst Cooling Valve CRG001	2W Insp Mech Lube Syst Cooling Valve	MCRU	0210-CRG-0001	Lube Cooling System Components	2	0.5	H	1	H
205	Insp Mech Grease Divider CRG001	3M Insp Mech Grease Divider	MCRU	0210-CRG-0001	Valves	2	0.5	H	1	H
206	C/O Mech Spider Grease Valves CRG001	1Y C/O Mech Grease Divider	MCRU	0210-CRG-0001	Valves	2	4	H	8	H
207	Svce Mech Grease Piping CRG001	3M Svce Mech Grease Piping	MCRU	0210-CRG-0001	Piping	2	2	H	4	H
208	C/O Mech Dust Seal Blwr Filter CRG001	1M C/O Mech Dust Seal Blwr Air Filter	MCRU	0210-CRG-0001	Dust Seal Components	2	1	H	2	H

Fuente: Unidad minera