

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
ESCUELA DE POSGRADO**

**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



**“FALLAS ELÉCTRICAS, MECÁNICAS Y OPERACIONALES EN
EQUIPOS DE LA LÍNEA DEL HORNO ROTATIVO QUE
PRODUCE CEMENTO PARA DETERMINAR SU IMPACTO EN LA
CONFIABILIDAD DEL MANTENIMIENTO Y EN LA SITUACIÓN
ECONÓMICA (2021-2022)”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE DOCTOR EN
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

AUTOR: MSc. CARLOS VIDAL, DÁVILA IGNACIO

ASESOR: DR. ING° MARCELO NEMESIO, DAMAS NIÑO

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA, TECNOLOGÍA

**Callao, 2025
PERÚ**

INFORMACIÓN BÁSICA

FACULTAD	INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN	INDUSTRIA DEL CEMENTO - PERÚ
TÍTULO	FALLAS ELÉCTRICAS, MECÁNICAS Y OPERACIONALES EN EQUIPOS DE LA LÍNEA DEL HORNO ROTATIVO QUE PRODUCE CEMENTO PARA DETERMINAR SU IMPACTO EN LA CONFIABILIDAD DEL MANTENIMIENTO Y EN LA SITUACIÓN ECONÓMICA (2021-2022).
AUTOR	DÁVILA IGNACIO, CARLOS VIDAL
CÓDIGO ORCID	https://orcid.org/0000-0002-6337-251X
DNI	07390694
ASESOR	DAMAS NIÑO, MARCELO NEMESIO
CÓDIGO ORCID	https://orcid.org/0000-0001-5767-3677
DNI	08448102
LUGAR DE EJECUCIÓN	PLANTA DE CEMENTO
UNIDAD DE ANÁLISIS	EQUIPOS DE LA LÍNEA DEL HORNO ROTATIVO DE CEMENTO.
TIPO	BÁSICO
ENFOQUE	CUANTITATIVO
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	NO EXPERIMENTAL
TEMA OCDE:	
	2.00.00 - INGENIERÍA, TECNOLOGÍA
	2.02.00 - INGENIERÍA ELÉCTRICA, INGENIERÍA ELECTRÓNICA
	2.03.00 - INGENIERÍA MECÁNICA
	2.11.00 - OTRAS INGENIERÍAS, OTRAS TECNOLOGÍAS

HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN

MIEMBROS DEL JURADO:

DR. LUCIO ARNULFO FERRER PEÑARANDA	: PRESIDENTE
DRA. ANA ELVIRA LÓPEZ DE GÓMEZ	: SECRETARIA
DRA. ROSARIO MIRAVAL CONTRERAS	: MIEMBRO
DR. JACOB ASTOCONDOR VILLAR	: MIEMBRO

ASESOR: DR. DAMAS NIÑO, MARCELO NEMESIO

N° DE LIBRO: 001

N° DE FOLIO: 40

N° DE ACTA: 0039 2025 – EPG - UNAC

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 08 de mayo 2025

RESOLUCIÓN DIRECTORAL: N°014-2025-CDUPG-FCS



I + D + I + +

PROCESO NIVEL 0:	INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA		
REGISTRO	ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS		
Código: M.IDIE.01/R6	Versión: 02	Fecha: 14/03/2024	Página: 1 de 1

**ESCUELA DE POSGRADO
UNIDAD DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA**

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO

LIBRO N°: 001 FOLIO N°: 40 ACTA N° 0039 2025- EPG-UNAC

Siendo las 18:30 horas del jueves 08 de mayo de 2025 en acto público en el Auditorio de la Facultad de Ciencias de la salud de la Universidad Nacional del Callao reunido los miembros del jurado (Resolución de Comité Directivo 029-2025-CDUPG-FIEE)

- | | |
|---------------------------------------|--------------|
| 1. DR. LUCIO ARNULFO FERRER PEÑARANDA | : PRESIDENTE |
| 2. DRA. ANA ELVIRA LÓPEZ DE GÓMEZ | : SECRETARIA |
| 3. DRA. ROSARIO MIRAVAL CONTRERAS | : MIEMBRO |
| 4. DR. JACOB ASTOCONDOR VILLAR | : MIEMBRO |
| 5. DR. MARCELO NEMESIO DAMAS NIÑO | Asesor(a) |

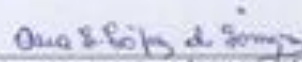
Para evaluar la sustentación de la tesis titulada "FALLAS ELÉCTRICAS, MECÁNICAS Y OPERACIONALES EN EQUIPOS DE LA LÍNEA DEL HORNO ROTATIVO QUE PRODUCE CEMENTO PARA DETERMINAR SU IMPACTO EN LA CONFIABILIDAD DEL MANTENIMIENTO Y EN LA SITUACIÓN ECONÓMICA (2021-2022)" presentado por (el)(la) Mg. DÁVILA IGNACIO CARLOS VIDAL, para optar al grado académico de DOCTOR EN INGENIERIA ELECTRICA

Concluida la sustentación y luego que el tesista ha dado respuesta a las preguntas respectivas y conforme a lo establecido en el Reglamento de estudio vigente, el Jurado de Sustentación establece la siguiente calificación: con un registro cualitativo de Buena y cuantitativo de Notas (16) dando por aprobado () desaprobado ().

En señal de conformidad con lo acordado se firma la presente acta.

Siendo las 19:00 horas se dio por concluido el acto de sustentación.


DR. LUCIO ARNULFO FERRER PEÑARANDA
PRESIDENTE


DRA. ANA ELVIRA LÓPEZ DE GÓMEZ
SECRETARIA


DRA. ROSARIO MIRAVAL CONTRERAS
MIEMBRO


DR. JACOB ASTOCONDOR VILLAR
MIEMBRO

DEDICATORIA

“A las personas que buscan en la educación la transformación de sus vidas”

“A Matara, Antilla, Antabamba, por ser los lugares donde mis raíces se han sembrado, donde he aprendido a ser quien soy y que me han inspirado a lo largo de mi vida”

AGRADECIMIENTO

"Dedicado con todo mi cariño a mis padres, Julio y Francisca, que en paz descanse, y que siempre me brindaron una educación invaluable. A mi familia, por su apoyo incesante; a mis profesores, compañeros y colegas, por compartir sus conocimientos y experiencias; a todas las personas que me ofrecieron oportunidades laborales; y a los autores cuyas obras fueron fundamentales para la culminación de mi tesis"

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	10
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.1. Descripción de la realidad problemática	12
1.2. Formulación del problema.	14
1.2.1. Problema General	14
1.2.2. Problemas Específicos	14
1.3. Objetivos	15
1.3.1. Objetivo general	15
1.3.2. Objetivos específicos	15
1.4. Justificación	16
1.4.1. Justificación Legal:	16
1.4.2. Justificación Teórica	16
1.4.3. Justificación Tecnológica.....	18
1.4.4. Justificación Económica	19
1.5. Delimitantes de la investigación.	20
1.5.1. Delimitación Teórica.....	20
1.5.2. Delimitación Temporal.....	21
1.5.3. Delimitación Espacial.	21
II. MARCO TEÓRICO	23
2.1. Antecedentes	23
2.1.1. Internacional.....	23
2.1.2. Nacional	26
2.2. Bases teóricas	30
2.2.1. Fundamentación Ontológica.....	31

2.2.2.	Fundamentación Metodológica.....	32
2.2.3.	Fundamentación Epistemológica.....	34
2.2.4.	Fundamentación Axiológica.....	35
2.2.5.	Fundamentación Ética.....	36
2.2.6.	Fundamentación Heurística.....	38
2.2.7.	Fundamentación Doctrinaria.....	38
2.2.8.	Antecedentes de la gestión de mantenimiento.....	39
2.2.9.	Evolución de la gestión de mantenimiento.....	40
2.2.10.	Porque gestionar mantenimiento.....	41
2.2.11.	Tipos de mantenimiento.....	42
2.3.	Marco Conceptual.....	43
2.3.1.	Fallas Eléctricas, Mecánicas y Operacionales.....	43
2.3.2.	Horno Rotativo de Cemento.....	43
2.3.3.	Proceso de Producción.....	43
2.3.4.	Producción de Cemento.....	43
2.3.5.	Impacto.....	46
2.3.6.	Confiabilidad.....	46
2.3.7.	Mantenimiento.....	47
2.3.8.	Modelos posibles de mantenimiento de máquinas.....	48
2.3.9.	Situación económica.....	48
2.3.10.	Producción.....	49
2.3.11.	Cemento.....	50
2.3.12.	Proceso de producción de Cemento.....	50
2.3.13.	Equipos de la línea de producción del horno.....	51
2.3.14.	Perdida de producción.....	53
2.3.15.	Pérdida económica por reparaciones.....	53

2.3.16. Pérdida económica por paradas de producción	53
2.3.17. Estadística	54
2.3.18. Estadística descriptiva	54
2.3.19. Estadística inferencial	54
2.4. Definición de términos básicos.....	55
2.4.1. Mantenibilidad de equipos (MTTR).....	55
2.4.2. Fiabilidad de equipos (MTBF).....	55
2.4.3. Disponibilidad.....	55
2.4.4. Criticidad de equipo.....	56
2.4.5. Frecuencia de falla	56
2.4.6. Inspecciones visuales.....	57
2.4.7. Mantenimiento preventivo sistemático	57
2.4.8. Mantenimiento mayor	57
2.4.9. Modelo de Mantenimiento de Baja Disponibilidad o Condicional ..	57
2.4.10. Modelo de media disponibilidad o sistemático	58
2.4.11. Modelo de alta disponibilidad	58
2.4.12. Procesos orientados al mejoramiento continuo	58
III.HIPÓTESIS Y VARIABLES	59
3.1. Hipótesis (general y específicas).....	59
3.1.1. Operacionalización de variable (Definición conceptual y operacional de variables, Dimensiones, indicadores, índices/Ítems, método y técnica)	59
IV.METODOLOGÍA DEL PROYECTO	61
4.1. Diseño metodológico	61
4.2. Método de investigación.....	62
4.3. Población y muestra.....	63
4.4. Lugar de estudio.	63

4.5.	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.	64
4.6.	Análisis y procesamiento de datos.	65
4.7.	Aspectos Éticos en Investigación.	66
V.	RESULTADOS	68
5.1.	Resultados descriptivos.	68
5.2.	Resultados inferenciales.	74
5.3.	Otro tipo de resultados estadísticos, de acuerdo a la naturaleza del problema y la Hipótesis	83
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	89
6.1.	Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados. .	89
6.1.1	Contrastación de hipótesis general	89
6.1.2	Contrastación de hipótesis específica 1	90
6.1.3	Contrastación de hipótesis específica 2	90
6.1.4	Contrastación de hipótesis específica 3	91
6.1.5	Contrastación de hipótesis específica 4	92
6.1.2	Contrastación de hipótesis específica 5	93
6.2.	Contrastacion de los resultados con otros estudios similares	94.
6.3	Responsabilidad ética de acuerdo a reglamentos vigente	100
VII.	CONCLUSIONES	101
VIII.	RECOMENDACIONES.....	104
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106
	ANEXOS	112
	Anexo 1. Matriz de consistencia.	113
	Anexo 2. Matriz de operacionalizacion.	114
	Anexo 3. Base de datos editable 2021 y 2022 SPSS.	115
	Anexo 4. Vista de variables SPSS.	117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tipo de incidencia y fecha de fallas	68
Tabla 2: Tipo de incidencia y horas de falla	69
Tabla 3: Componente y fecha de fallas	70
Tabla 4: Descripción de la incidencia y fechas de falla	72
Tabla 5: Ttiempo de fallas hora, tipo de incidencia y fecha	72
Tabla 6: Mantenibilidad y fecha de fallas	74
Tabla 7: Tabla de contingencia de disponibilidad y fecha de fallas	75
Tabla 8: Costo de reparaciones por fallas soles y fecha de fallas	77
Tabla 9: Cemento no producida por fallas (toneladas) y fecha de fallas	79
Tabla 10: Pérdida económica por fallas soles y fecha de fallas	80
Tabla 11: Impacto económico por fallas soles y fecha mensual de fallas	82
Tabla 12: Periodo de tiempo y cantidad de fallas, mantenibilidad, costo de reparaciones, cemento no producido, pérdidas e impacto económico 2021 – 2022.	83
Tabla 13: Consolidado de hora y cantidad de fallas según el tipo de incidencia 2021 – 2022.	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de transformacion de la piedra caliza (materia prima del cemento).....	33
Figura 2. Proceso de fabricacion del cemento	51
Figura 3. Representacion esquematica del funcionamiernto y reparacion de una máquina	56
Figura 4. Representacion el tiempo de falla en horas periodos 2021 y 2022. ..	84
Figura 5. Representacion la cantidad de fallas, en los años 2021 y 2022	84
Figura 6. Muestra la mantenibilidad (MTTR), en los años 2021 y 2022	85
Figura 7. Representacion del tiempo medio entre fallas (MTbf)	85
Figura 8. Representacion la disponibilidad en los años 2021 y 2022	85
Figura 9. Muestra el costo de reparaciones en los años 2021 y 2022.....	86
Figura 10. Muestra el cemento no producido en los años 2021 y 2022	86
Figura 11. Impacto economico por fallas en los años 2021 y 2022	86
Figura 12. Horas totales de fallas en los años 2021 y 2022.....	87
Figura 13. Cantidad de fallas en los años 2021 y 2022	88

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto de las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales de equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento en la confiabilidad del mantenimiento y en la situación económica durante los períodos 2021-2022. La metodología utilizada fue un enfoque cuantitativo, de nivel explicativo, tipo básico. Los resultados mostraron una significancia (sig. 0.00) por debajo del umbral de 0.05 ($p < 0.05$). Este hallazgo demuestra que la hipótesis nula se rechaza. Por lo tanto, la hipótesis alterna es asumida, lo que indica que las fallas mecánicas y operacionales en equipos de la línea del horno rotativo influyen significativamente en la confiabilidad del mantenimiento y la situación económica durante los periodos 2021-2022. Estos resultados contundentes validan la influencia positiva de la variable independiente sobre las variables dependientes.

Los equipos presentes en la línea de producción del horno rotativo pueden ser visto como una máquina de múltiples etapas, ya que cualquier avería en uno de sus componentes interrumpe inmediatamente la producción. Por lo tanto, para mitigar estas interrupciones, es fundamental implementar un programa de mantenimiento que prevenga paradas no planificadas, también implementar estrategias de mejora, que aborden estas fallas, evaluar las fallas recurrentes, optimizando así la operación y contribuyendo a una mayor estabilidad económica de la Empresa.

ABSTRACT

The objective of this investigation was to determine the effect of electrical, mechanical and operational failures of equipment on the rotary kiln line that produces 8conómica maintenance reliability and the economic situation during the periods 2021-2022. The methodology used was a quantitative approach, explanatory level, basic type. The results showed a significance (sig. 0.00) below the threshold of 0.05 ($p < 0.05$). This finding shows that the null hypothesis is rejected. Therefore, the alternative hypothesis is assumed, which indicates that mechanical and operational failures in equipment on the rotary kiln line significantly influence the reliability of maintenance and the economic situation during the periods 2021-2022. These strong results validate the positive influence of the independent variable on the dependent variables.

The equipment present in the rotary kiln production line can be seen as a multi-stage machine, since any breakdown in one of its components would immediately interrupt production. Therefore, to mitigate these interruptions, it is essential to implement a maintenance program that prevents unplanned stops, also implement improvement strategies that address these failures, evaluate recurring failures, thus optimizing the operation and contributing to greater economic stability of the Company.

RESUMO

O objetivo desta investigação foi determinar o efeito das falhas elétricas, econômicas e operacionais dos equipamentos da linha de fornos rotativos que produzem cimento na confiabilidade da manutenção e na situação econômica durante os períodos 2021-2022. A metodologia utilizada foi de abordagem quantitativa, método explicativo, tipo básico. Os resultados apresentaram significância (sig. 0,00) abaixo do limite de 0,05 ($p < 0,05$). Esta constatação mostra que a hipótese nula é rejeitada. Portanto, rejeita-se a hipótese alternativa, que indica que falhas econômicas e operacionais nos equipamentos da linha de fornos rotativos influenciam significativamente a confiabilidade da manutenção e a situação econômica durante os períodos 2021-2022. Estes resultados fortes validam a hipótese positiva da variável independente sobre as variáveis dependentes.

O equipamento presente na linha de produção do forno rotativo pode ser visto como uma máquina multiestágio, pois qualquer quebra em um de seus componentes interromperia imediatamente a produção. Portanto, para mitigar as interrupções, é fundamental implementar um programa de manutenção que evite paradas não planejadas, implementar também estratégias de melhoria que solucionem as falhas, avaliar falhas econômicas, otimizando assim a operação e econômica para maior estabilidade econômica da Empresa.

INTRODUCCIÓN

La industria del cemento es fundamental para el desarrollo de infraestructuras a nivel global, y su eficiencia operativa es crucial para mantener la competitividad en un mercado en constante evolución. Uno de los componentes más críticos en este proceso es el horno rotativo, donde se lleva a cabo la transformación de materias primas en Clinker, el precursor del cemento. Sin embargo, los hornos rotativos y los equipos presentes en la línea de producción son propensos a diversas fallas eléctricas, mecánicas y operacionales que pueden comprometer no solo la producción, sino también la confiabilidad del mantenimiento y la estabilidad económica de las plantas.

Entre las fallas eléctricas se encuentran problemas en los sistemas de control y suministro de energía, que pueden causar paradas inesperadas. Las fallas mecánicas, como el desgaste de componentes o la desalineación del horno, pueden resultar en costosas reparaciones y tiempos de inactividad prolongados. Por otro lado, las fallas operacionales, derivadas de errores humanos o deficiencias en los procesos de operación, pueden llevar a una disminución en la calidad del producto final y un aumento en los costos de producción.

El horno rotativo se considera el equipo más crítico en las fábricas de cemento, ya que su ausencia imposibilita la producción de Clinker, el material calcinado compuesto por caliza, arcilla y aditivos. Por ello, es esencial un monitoreo constante del funcionamiento del horno rotativo y de los equipos en la línea de producción. Las paradas de estos equipos pueden ser causadas por fallas eléctricas, mecánicas u operacionales, impactando directamente en la capacidad de producción de cemento. Durante el tiempo necesario para llevar a cabo las reparaciones, el horno rotativo opera sin carga, lo que conlleva pérdidas económicas significativas para la empresa cementera.

El equipo de mantenimiento mecánico, eléctrico y de operaciones tiene la responsabilidad crucial de garantizar el correcto funcionamiento de las máquinas y equipos en la línea de producción del horno rotativo. Esto implica que el horno debe mantenerse en operación continua. Ante fallas imprevistas, el equipo de

mantenimiento debe actuar con rapidez para restablecer la operatividad de los equipos, minimizando así las pérdidas económicas asociadas a la producción de cemento.

Este estudio se centra en analizar el impacto de estas fallas en la confiabilidad del mantenimiento y su repercusión en la situación económica de las plantas productoras de cemento durante el período 2021-2022. A primera vista, las fallas operacionales parecen ser las más críticas, ya que suelen ocasionar tiempos prolongados de inactividad. Este fenómeno se debe a que es necesario detener el horno, permitir su enfriamiento para realizar las reparaciones y posteriormente recalentar el horno antes de reiniciar la alimentación con caliza para la producción, a través de este análisis, se busca identificar estrategias que permitan mitigar estos problemas y mejorar la eficiencia operativa, contribuyendo así al desarrollo sostenible del sector.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

A nivel mundial existen filosofías de mantenimiento para garantizar la operatividad de las máquinas y equipos, entre ellos podemos mencionar.

En España, según Fernández (2018) [1] define que, El TPM (Mantenimiento Productivo Total) es un sistema japonés que maximiza la eficacia de la producción y previene pérdidas, involucrando a todos los empleados en el mantenimiento de las máquinas. Fomenta un enfoque proactivo para evitar averías, accidentes y defectos, mejorando así la productividad general.

En España Martínez (2023) [2] en su investigación menciona, que se buscó reducir al mínimo el tiempo de parada de la producción de Clinker por reparaciones en hornos, optimizando la instalación de ladrillos refractarios y hormigones proyectados. Se establecieron protocolos para mejorar la preparación y ejecución de las reparaciones, minimizando errores.

En República Dominicana Salavert (2020) [3] propone un plan de mantenimiento preventivo para una empresa de caña de azúcar, con el fin de mejorar la fiabilidad y reducir costos por paros. Se identifican las averías más costosas en pocas máquinas y se establecen parámetros como tasas de fallo y MTBF. El plan busca equilibrar fiabilidad y frecuencia de intervención, optimizando las operaciones de mantenimiento.

En la investigación realizada en Perú Gardella (2010) [4] la tesis demuestra que la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en Lift Rental Solutions SAC, ha aumentado la productividad y mejorado el ciclo productivo y la cadena de operaciones de servicio. Se lograron avances significativos en los índices de eficiencia y eficacia, estableciendo una base para la mejora continua.

En Perú Alavedra (2013) [5] en la evaluación de la Gestión de Mantenimiento a la Flota de Camiones 730 e Komatsu, encontró una correlación

del 79,1% entre la gestión de mantenimiento preventivo y la disponibilidad de equipos, indicando una relación regular con los indicadores MTBF y MTTR.

En Perú Galarza (2018) [6] indica que la implementación de un programa de mantenimiento preventivo en la producción de moldes de panetón de Multimoldes S.A.C. ha aumentado la eficiencia en un 16.20% al incrementar el tiempo promedio entre fallas, reduciendo incidencias y aumentando el tiempo útil para la producción.

Sabemos que, toda empresa privada tiene como meta, generar beneficios económicos para sus accionistas y empleados. Para lograrlo, es fundamental que las máquinas y equipos operen de manera óptima, siguiendo un plan de mantenimiento adecuado. De esta forma, se minimizarán las pérdidas económicas y se garantizará su permanencia en el mercado.

En la producción de cemento, la piedra caliza pasa por varios procesos que involucran equipos esenciales como chancadoras, molinos y hornos rotativos, elevador de cangilones, ventiladores, fajas transportadoras, todos impulsados por energía eléctrica o mecánica y una falla de dichos equipos pone en peligro el procesamiento de la caliza.

En la experiencia profesional de los ingenieros, que laboran en plantas industriales de producción de cemento, se observa que el funcionamiento del horno rotativo es crucial para mantener la continuidad operativa. La mayor preocupación del personal de mantenimiento y operaciones es garantizar que este horno esté siempre en adecuado funcionamiento.

Cuando ocurre una falla, el personal de operaciones activa una señal de alerta para investigar el problema y trabajar rápidamente en la reposición de las máquinas. Esta urgencia se debe a que cualquier detención del horno impacta directamente en el cumplimiento del plan de producción y ventas.

Si el horno deja de operar, tanto el personal de operaciones como el equipo de ventas requieren información inmediata sobre cuándo se resolverá la falla, ya que esto afecta sus compromisos con los clientes y la planificación interna.

En caso de que alguno de estos equipos sufra una parada, la planta industrial enfrenta serias consecuencias. La producción se detiene, lo que significa que no se generan ventas y, por ende, se pierden ingresos significativos. Además, los trabajadores directamente relacionados con la operatividad del horno pueden verse obligados a dejar de laborar hasta que el equipo esté operativo nuevamente.

Por protocolos normativos las empresas tienen la obligación de realizar mantenimientos periódicos a la totalidad de sus equipos, lo cual. Si se realiza bien, puede asegurar un buen funcionamiento hasta la siguiente campaña; sin embargo, el mantenimiento incompleto puede generar daños irreparables para los equipos como para la economía de la empresa.

Esto no solo afecta la economía de la planta, sino que también puede impactar la moral del personal. La incertidumbre sobre cuándo volverán a trabajar puede generar ansiedad entre los empleados.

Para mitigar estos riesgos, muchas plantas implementan planes de mantenimiento preventivo y cuentan con protocolos claros para responder rápidamente ante este tipo de fallas. La comunicación efectiva entre los departamentos es esencial para asegurar que todos estén al tanto del estado del equipo y las expectativas de tiempo para volver a la normalidad.

En la empresa materia de estudio se han detectado averías diversas como fallas eléctricas, mecánicas y operacionales que han implicado tiempos muertos, pérdida de clientes, incumplimiento de compromisos y posibles pérdidas económicas.

1.2. Formulación del problema.

1.2.1. Problema General

¿Cuál es el efecto de las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales de equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento en la confiabilidad del mantenimiento y en la situación económica durante los períodos 2021-2022?

1.2.2. Problemas Específicos

1. ¿Cuáles son las fallas más comunes en equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento durante los períodos 2021-2022?
2. ¿Cómo es la confiabilidad del mantenimiento en equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento durante los períodos 2021-2022?
3. ¿Cuál es el impacto de las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales en equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento, en la mantenibilidad durante los períodos 2021-2022?
4. ¿Cuál es el impacto de las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales en equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento, en la disponibilidad del mantenimiento durante los períodos 2021-2022?
5. ¿Cuál es el impacto de las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales en equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento, en la situación económica durante los períodos 2021-2022?

1.3. Objetivos:

1.3.1. Objetivo general

Determinar el efecto de las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales de equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento en la confiabilidad del mantenimiento y en la situación económica durante los períodos 2021-2022.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Determinar cuáles son las fallas más comunes en equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento durante los períodos 2021-2022.
2. Identificar la confiabilidad del mantenimiento en equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento durante los períodos 2021-2022.
3. Analizar el impacto de las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales en equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento, en la mantenibilidad durante los períodos 2021-2022.
4. Analizar el impacto de las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales en equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento, en la disponibilidad del mantenimiento durante los períodos 2021-2022.

5. Precisar el impacto de las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales en equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento, en la situación económica durante los períodos 2021-2022.

1.4. Justificación

El problema objeto de la presente investigación se justifica por los siguientes aspectos:

1.4.1. Justificación Legal:

En el Perú se tienen las siguientes normativas.

NTP 9001:2015 – Sistema de gestión de la calidad: Esta norma es una adaptación de la ISO 9001 y establece requisitos para un sistema de gestión de calidad ayudan a las organizaciones a evidenciar su habilidad para ofrecer productos y servicios que satisfacen las necesidades del cliente y cumplen con las normativas vigentes.

NTP 45001 – Sistema de gestión de la seguridad y salud en el trabajo: Esta norma se centra en garantizar un entorno laboral seguro y saludable, lo que puede contribuir a una mayor productividad al reducir accidentes laborales y enfermedades.

NTP-ISO 56002:2021 Gestión de la innovación, es una norma que actúa como referencia para definir la visión, estrategia, políticas y objetivos de innovación, además de establecer el apoyo y los procesos requeridos para alcanzar los resultados esperados. También abarca elementos como la estructura organizativa, el liderazgo, la planificación, la gestión de recursos, las operaciones, la evaluación del rendimiento y la mejora continua. Esta norma es relevante para cualquier tipo de organización, sin importar su naturaleza, sector o tamaño.

1.4.2. Justificación Teórica

Ñaupas (2018) [7] Destaca la relevancia de investigar un problema en el avance de una teoría científica. Esto significa que el estudio facilitará una

innovación científica, y para ello es fundamental realizar un análisis o evaluación del estado actual del problema en cuestión. Además, se debe aclarar si la investigación servirá para refutar hallazgos de otros estudios en discusión o para expandir un modelo teórico. La justificación de un trabajo de investigación radica en su capacidad para ampliar los límites del conocimiento científico.

Desde la perspectiva teórica, esta investigación se justifica porque, a pesar de la existencia de estudios previos sobre el tema, no se han encontrado investigaciones que aborden las variables específicas que son objeto de este análisis. Por ello, se sostiene que el área de mantenimiento debe garantizar la operatividad continua de los equipos en la línea de producción, siendo el horno rotativo un componente crítico para la producción de cemento. Para prevenir paradas no planificadas, es fundamental implementar políticas de mantenimiento efectivas y asegurar una respuesta inmediata para restaurar la operatividad de los equipos.

Por lo tanto, es vital realizar inspecciones regulares y prevenir fallas en los componentes eléctricos y mecánicos, siguiendo las recomendaciones de los fabricantes y analizando el historial de fallas. Además, es importante reconocer que las interrupciones en la producción pueden ser causadas por problemas eléctricos, mecánicos y operacionales a lo largo de toda la línea.

La producción de cemento es un proceso industrial complejo que depende de la operación continua y eficiente de sus equipos, siendo el horno rotativo uno de los componentes más críticos. Las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales pueden tener un impacto significativo no solo en la confiabilidad del mantenimiento, sino también en la situación económica de la planta.

Es esencial realizar un análisis exhaustivo de las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales para comprender su impacto tanto en la confiabilidad del mantenimiento como en la situación económica general de la planta productora de cemento. La implementación de estrategias efectivas para abordar estas cuestiones no solo mejorará el rendimiento operativo, sino que también garantizará una mayor sostenibilidad económica a largo plazo.

1.4.3. Justificación Tecnológica

Heijs (2001) [8] plantea que la política tecnológica se puede definir como un intento de la administración política de influir en el desarrollo del sistema productivo del país con el objetivo de fortalecer el crecimiento económico o crear ventajas comparativas promocionando la innovación y el desarrollo tecnológico. El objetivo principal de todas las políticas debería ser el aumento del bienestar social. Este fin se puede lograr a través de un incremento en la productividad y, de manera implícita, en la competitividad del sector productivo, o bien mediante la resolución de problemas sociales y ambientales.

La tecnología juega un papel fundamental en la operación eficiente y efectiva de los equipos utilizados en la producción de cemento, particularmente en el horno rotativo. Las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales no solo afectan el rendimiento del sistema, sino que también tienen repercusiones significativas en la confiabilidad del mantenimiento y en la situación económica de la planta.

La dependencia de sistemas eléctricos avanzados para controlar y monitorear el funcionamiento del horno rotativo es crucial. Las interrupciones o fallas en estos sistemas pueden resultar en paradas inesperadas. La implementación de tecnologías como sensores inteligentes y sistemas de monitoreo en tiempo real permite detectar anomalías eléctricas antes de que se conviertan en fallas críticas.

Los componentes mecánicos del horno rotativo están expuestos a condiciones extremas, lo que aumenta su riesgo de fallos. La adopción de tecnologías como el análisis por vibraciones y termografía permite identificar desgastes y problemas mecánicos antes de que ocurran fallas catastróficas.

Las fallas operacionales suelen ser el resultado de una interacción inadecuada entre el personal y la tecnología. La capacitación continua y el uso de interfaces intuitivas pueden minimizar errores humanos. La implementación de sistemas automatizados para el control del proceso puede mejorar la consistencia operativa.

1.4.4. Justificación Económica

Blank (2002) [9] precisa que, las decisiones que toman ingenieros, gerentes, presidentes de corporaciones e individuos, por lo general son el resultado de elegir una alternativa sobre otra. Las decisiones a menudo reflejan la elección informada de una persona sobre la mejor manera de invertir fondos, conocidos como capital. Frecuentemente, la cantidad de capital disponible es limitada, al igual que el efectivo que una persona puede tener a su disposición. La elección sobre cómo invertir ese capital seguramente influirá en el futuro, con la esperanza de que se genere un valor añadido. Los ingenieros juegan un papel fundamental en las decisiones relacionadas con la inversión de capital, apoyándose en su trabajo de análisis, síntesis y diseño. Los elementos considerados en el proceso de toma de decisiones son una combinación de factores económicos y no económicos. Además, hay otros aspectos que pueden ser intangibles, como la conveniencia, la buena voluntad, la amistad y otros similares.

ASOCEM (2024) [10, p. 3] en su reporte mensual correspondiente a julio 2024, indica que el precio del cemento por tonelada es de 125 USD, utilizaremos este precio para hacer el cálculo tentativo de la pérdida económica diaria en caso de paralizar actividades.

El cemento es un producto que no solo genera ingresos económicos para la empresa, sino que también constituye el sustento de los trabajadores y sus familias, incluidos los colaboradores directos y subcontratistas. Además, su producción contribuye al pago de impuestos y al desarrollo de actividades comerciales en las comunidades circundantes. Por lo tanto, es esencial garantizar la operatividad de la fábrica y mantener una producción constante en todas sus líneas de trabajo.

Como referencia, se estima que el costo asociado a una parada intempestiva de la producción puede resultar en pérdidas para la empresa de aproximadamente USD 625,000.00 por cada día que el horno deja de operar. Esto se debe a que el horno tiene una capacidad de producción de alrededor de 5,000 toneladas por día, con un precio del cemento de 125 USD por tonelada. A

esto se suma el impacto negativo en otros servicios y actividades comerciales relacionadas.

1.5. Delimitantes de la investigación.

Para García (2018) [11] una vez se haya definido la pregunta de investigación, se debe delimitar espacial y temporalmente el tema de investigación. Por ejemplo, un investigador podría formular la pregunta de investigación sobre cuál ha sido el impacto de la reciente crisis económica en el sistema educativo. Luego, deberá definir el ámbito geográfico que desea estudiar y el periodo de tiempo. Las opciones son variadas: en cuanto al ámbito geográfico, se puede optar por analizar España en su totalidad, enfocarse en una sola comunidad autónoma, comparar varias comunidades, o contrastar España con otros países europeos o de diferentes regiones del mundo. En lo que respecta al ámbito temporal, se puede interesar solo en la situación actual, o bien realizar un análisis de los últimos tres o cinco años, o comparar la situación actual con la de hace diez años.

1.5.1 Delimitación Teórica.

Hernández (2014) en [12, p. 60] muestra, una vez planteado el problema de estudio (es decir, cuando ya se tienen los objetivos y preguntas de investigación) y cuando además se ha evaluado su relevancia y factibilidad, el siguiente paso consiste en sustentar teóricamente el estudio. La perspectiva teórica ofrece una comprensión de la ubicación del planteamiento propuesto dentro del ámbito del conocimiento en el que nos desarrollaremos.

La delimitación teórica se fundamenta en la disponibilidad de manuales de productos eléctricos y mecánicos, así como en la información técnica pertinente sobre su vida útil, que son esenciales para comprender el comportamiento y rendimiento de los equipos en estudio. Esta información no solo proporciona un marco referencial para la evaluación de los componentes, sino que también permite identificar las especificaciones y estándares necesarios para su correcto funcionamiento.

Además, se considera el acceso a las licencias de software de mantenimiento requeridas para la obtención y procesamiento de datos. Estas licencias son cruciales, ya que garantizan que se utilicen herramientas actualizadas y confiables, lo que a su vez asegura la validez y fiabilidad de los resultados obtenidos.

1.5.2 Delimitación Temporal

Para llevar a cabo esta investigación, se utilizarán los datos históricos recopilados entre los años 2021 y 2022. Esta elección se debe a que la atipicidad de la situación provocada por la pandemia de SARS-CoV-2 (COVID-19) en 2020 resultó en un cese de las operaciones del horno, lo que limita la disponibilidad de datos relevantes para ese período.

El uso de datos de 2021 y 2022 permite obtener un panorama más realista y representativo del funcionamiento habitual de la línea de producción. Estos años son cruciales para entender las dinámicas post – pandemia, así como para evaluar el impacto de las medidas implementadas durante ese tiempo. Además, al contar con un período más estable y continuo de operaciones, se facilitará el análisis de tendencias y patrones que son esenciales para las conclusiones de esta investigación.

1.5.3. Delimitación Espacial.

La investigación se centrará en las operaciones de una fábrica de cemento, con especial énfasis en el horno rotativo y en los equipos utilizados en la línea de producción. Este enfoque es fundamental, ya que el horno rotativo es uno de los componentes más críticos del proceso de producción de cemento, influyendo directamente en la calidad del producto final y en la eficiencia energética de la planta.

Se analizarán las configuraciones operativas establecidas por estos elementos y componentes instalados, considerando variables como la temperatura, el tiempo de residencia y la composición del material. La comprensión de estas configuraciones permitirá identificar oportunidades para optimizar el rendimiento del horno y mejorar la calidad del cemento producido.

Además, se respetarán las características de anonimato inherentes al secreto industrial de la empresa privada. Esto implica que, aunque se realice un análisis profundo de las operaciones, se garantizará que la información sensible no se revele ni comprometa la competitividad de la empresa. Esta consideración es esencial para fomentar una colaboración ética entre el sector académico y la industria, permitiendo que los hallazgos sean aplicables sin poner en riesgo los intereses comerciales.

Por último, esta investigación no solo busca contribuir al conocimiento teórico sobre el funcionamiento de los hornos rotativos y su impacto en la producción de cemento, sino también proporcionar recomendaciones prácticas que puedan ser implementadas para mejorar la eficiencia operativa y reducir costos.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Internacional

Álvarez (2022) [13] con el Título de *“Estudio, análisis y desarrollo de estrategias de mantenimiento en maquinaria y sistemas industriales. Evaluación de riesgos, fiabilidad, disponibilidad”* para obtener el grado de Doctor ante la Universidad de Extremadura (España) indica en su trabajo de investigación que, cuando se utilizan máquinas multietapa, desde la entrada hasta la salida de la máquina, todas las operaciones que se realizan en ella están completamente eslabonadas. Este hecho es de gran importancia, ya que para que la etapa $n+1$ funcione correctamente, la etapa n debe haber realizado su trabajo correctamente. Normalmente este tipo de máquinas trabajan con grandes series de producciones ya que su capacidad de producción no es fácilmente modificable, como si ocurre en el caso de utilización de máquinas de una sola etapa (...) también indica que, la confiabilidad de un producto es un concepto fácil de definir, entender y muy difícil de calcular. Tal y como se indicó en la introducción, existen muchos modelos para calcular la confiabilidad de los componentes. En un entorno conservador, la mejor forma de aproximar su valor sería evaluando el tiempo de operación disponible del componente en la zona II de la curva de la bañera, renunciando a la zona III donde la tasa de fallos sube rápidamente. Si esto se hiciera así, el modelo exponencial sería muy utilizable, dado que la tasa de fallos sería constante, λ , pero dado que λ es la inversa de MTBF, al final dependería de la suma de MTTF y MTTR.

Sánchez (2021) [14] con el Título de *“Mejora del plan de mantenimiento predictivo de equipos dinámicos en Plantas de Síntesis Química, adaptado a la Industria 4.0 y basado en valoración multiparamétrica de la condición funcional”* para optar el grado de Doctor presentado a la Universidad de Murcia (España) estudio, la integración de los datos de mantenimiento y producción en el ERP de la empresa es, por tanto, parte fundamental de las metodologías expuestas. Contar con herramientas de software para la gestión de datos e información que estén completamente interconectadas permite evidenciar relaciones entre datos

que, a primera vista, parecen independientes. Esto facilita la detección de patrones repetitivos de fallos para poder corregirlos. Este es el caso de la metodología utilizada para optimizar el régimen funcional de los agitadores industriales. En este contexto, es importante destacar que más del 60% de los equipos analizados presentaban, en mayor o menor medida, algún tipo de problema resonante relacionado directamente con su funcionamiento habitual, lo que explicaba los fallos inesperados que ocurrían con frecuencia en estos equipos.

Suardíaz (2019) [15] con el Título de *“Planificación operativa del mantenimiento de material rodante ferroviario de alta velocidad”* para optar el grado de Doctor presentado a la Universidad de la Rioja, La disponibilidad del material rodante y sus costes de mantenimiento son cruciales para la rentabilidad de sociedades propietarias u operadores de flotas ferroviarias. Un incremento en la disponibilidad del material rodante permite llevar a cabo el mismo volumen de servicios comerciales con una flota reducida o maximizar el uso de la flota existente realizando más servicios comerciales. Por esta razón, los propietarios y operadores están interesados en métodos que mejoren la disponibilidad de sus flotas. La disponibilidad del material rodante se define como el tiempo en el que puede ser utilizado para el servicio comercial. Esta disponibilidad se ve afectada por las paradas operativas y las paradas de mantenimiento. Las paradas operativas pueden deberse, entre otros factores, a interrupciones nocturnas y a las variaciones estacionales en la demanda de transporte o a restricciones marcadas por la infraestructura para su mantenimiento.

Roncero (2023) [16] en su investigación titulada *“Modelo de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad Operacional para una Planta Compresora de Gas”* indica que tuvo como finalidad el desarrollo de un modelo de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad operacional que permitió el cálculo de disponibilidad y estimaciones de confiabilidad de equipos y sistemas pertenecientes a la planta compresora Jusepín 12 de Petróleos de Venezuela (PDVSA) Compresión Gas Maturín, ubicada en el Complejo Jusepín de PDVSA. El estudio se llevó a cabo mediante una investigación de campo, de carácter descriptivo y no experimental, del tipo proyecto factible. Para la elaboración del

modelo, se emplearon herramientas fundamentadas en el Análisis de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad (CDM).

Gasca (2017) [17] en su investigación titulada “*Sistema para Evaluar la Confiabilidad de Equipos Críticos en el Sector Industrial*”, infiere que, en una empresa transformadora de plástico, el equipo de mayor criticidad es la extrusora, porque tiene un tiempo de operación prolongado y, costos y tiempos de mantenimiento altos. Asimismo, la detención de este equipo afecta el 100% de la producción. Estos indicadores tienen un impacto significativo en la competitividad de la industria; por ello, es necesario dirigir los esfuerzos y recursos de mantenimiento hacia este equipo, con el fin de mejorar su confiabilidad operativa.

Barberá (2014) [18] en su investigación “*Técnicas y métodos avanzados para la toma de decisiones en la gestión de activos y mantenimiento*” plantea el método de evaluación de la mantenibilidad en activos industriales. En esta sección se presenta un método de análisis que permite medir el grado de mantenibilidad de los equipos industriales, a través del desarrollo de indicadores de mantenibilidad basados en atributos específicos. Este análisis puede ser muy útil para comparar o seleccionar un sistema sobre otro, optimizar el diseño de un dispositivo en función de las exigencias de un programa de mantenibilidad, mejorar el soporte técnico de un dispositivo en un entorno industrial específico, o anticipar problemas de mantenibilidad ante posibles cambios de ubicación, entre otros aspectos. La creación de indicadores de mantenibilidad se basa en información sobre las condiciones operativas del equipo y su disposición en el entorno donde se encuentra, siendo fundamental conocer detalladamente las características constructivas, de montaje e instalación del dispositivo, así como sus rutinas de mantenimiento. Finalmente, para validar operativamente la metodología de evaluación propuesta, se presenta un caso práctico en el que se mide la mantenibilidad de un activo industrial.

Arroyo (2022) [19] en su investigación, *Importancia de la implementación de mantenimiento preventivo en las plantas de producción para optimizar procesos*, precisa, que la aplicación del mantenimiento preventivo disminuye los

costos de mantenimiento, minimiza el reproceso, productos defectuosos y las pérdidas económicas derivadas, lo cual incrementará los indicadores de producción, los económicos y optimiza los procesos.

Fernández (2015) [20] en su investigación, *Cálculo de indicadores de mantenimiento de los tractores Belarus-892*, determinó los principales indicadores de mantenimiento: Tiempo Medio entre Fallas, Tiempo Medio de Reparación y Disponibilidad de Equipos. Para el cálculo se utilizó la información contenida en las tarjetas de los años 2009, 2010 y 2011 de tres tractores Belarus-892, además considera que, la baja la disponibilidad de los mismos, a consecuencia de factores como el diseño y construcción de los tractores; la calidad de ejecución de mantenimientos y reparaciones, así como el suministro de piezas de recambio y materiales para estos últimos.

Sierra (2018) [21] en su investigación, *Mantenimiento para bienes de capital*, infiere que, En cualquier industria de transformación, sin importar su tamaño, una de las áreas principales para el aseguramiento de la calidad de los procesos productivos es el departamento de mantenimiento. Sin embargo, en éste se trabaja, por lo general, sin considerar los objetivos, las responsabilidades y las funciones de los departamentos a los que sirve. La actuación del departamento de mantenimiento se acerca más a trabajar de manera aislada, sin reconocer que forma parte de un sistema empresarial.

2.1.2. Nacional

Siles (2019) [22] con el Título de *“Evaluación de factores del entorno en Ingeniería del mantenimiento de Activos Físicos, propuesta de modelo estratégico”* para optar el grado de Doctor presentado a la Universidad Católica de Santa María señala que el mantenimiento es un proceso de gestión integral dentro de una organización, cuyo objetivo principal es preservar el buen estado de los activos a lo largo del tiempo. Se le considera una ciencia, ya que permite adquirir nuevos conocimientos a través de la observación, el estudio, la experimentación y el razonamiento, de manera que estos sean útiles y aplicables.

Sin embargo, la observación de la realidad permite comprobar que la mayoría de las teorías, filosofías, estrategias y metodologías que guían el mantenimiento aún se basan en modelos tradicionales, los cuales se centran exclusivamente en el contexto interno. Este enfoque considera las condiciones operativas sustentadas en aspectos como mantenibilidad, confiabilidad, disponibilidad, factores humanos, infraestructura y sistemas de gestión. Aunque cada teoría ofrece una perspectiva particular sobre la gestión del mantenimiento, es crucial adoptar un enfoque holístico que refleje el contexto actual y el crecimiento exponencial en competitividad al que están sometidas las organizaciones. Por ello, es fundamental utilizar estrategias que permitan evaluar el estado actual de la organización y tomar decisiones futuras basadas en esa evaluación. Un método eficaz para lograr esto es analizar los factores internos y externos del entorno en el que operan los activos físicos, con el fin de identificar fortalezas y debilidades internas junto con las oportunidades y amenazas externas. Esto sirve como base para identificar los factores críticos clave y generar respuestas procesables, a partir de las cuales se pueden establecer directrices estratégicas.

Aguirre (2015) [23] con el Título "*Gestión del Mantenimiento mediante six sigma para la optimización de la productividad de las maquinarias y equipos diversos de la Empresa REMAP S.A.C – Lima*" para optar el grado de Doctor presentado a la Universidad Universidad Nacional del Centro del Perú, resume, la tesis materia de investigación trata sobre la aplicación del Six Sigma a la Gestión del Mantenimiento, con la única finalidad de optimizar la productividad de las maquinarias y equipos diversos en la empresa REMAP S.A.C. – Lima, se empleará la metodología Six Sigma, que consta de cinco etapas: la definición del problema (DEFINE), la medición del proceso (MIDE), el análisis de la causa raíz (ANALIZA), la mejora del proceso (MEJORA) y, por último, el control del proceso (CONTROL), utilizando los indicadores pertinentes de gestión del mantenimiento.

En la fase de medición, se identificarán los indicadores de entrada y salida del proceso, encontrando que el proceso general de mantenimiento al inicio del

estudio tiene un total de 417,500.00 defectos por millón de oportunidades (DPMO) o un nivel sigma de 1,708.

La metodología Six Sigma tiene como objetivo mejorar lo expuesto en el enunciado del problema y en el diagrama de causa y efecto (ICHIKAWA), especialmente en relación con las causas raíz que se evidencian al aplicar el mantenimiento preventivo (causas visibles). La implementación de Six Sigma buscará abordar también las causas y efectos que no son evidentes a simple vista (causas ocultas).

Al aplicar finalmente Six Sigma a la gestión del mantenimiento en el área correspondiente, se propondrán mejoras en los controles necesarios. El objetivo es que estos controles faciliten la optimización de la productividad de las maquinarias y equipos diversos de la empresa REMAP S.A.C.-LIMA, logrando al final del estudio una reducción a 17,500.00 defectos por millón de oportunidades (DPMO) o un nivel sigma de 3,592.

A partir de los resultados obtenidos, se sugiere que la empresa considere los principios que propone la gestión del mantenimiento a través de Six Sigma. Esto implica que las características y enfoques teóricos tanto de la gestión del mantenimiento como de Six Sigma son fundamentales para optimizar la productividad de las maquinarias y equipos diversos, lo cual incrementa los beneficios para la empresa. Por lo tanto, es esencial que todos los niveles se comprometan a trabajar constantemente en este aspecto.

Sotomayor (2022) [24] con el *Título “Modelo de indicadores de eficacia en los procesos técnicos de gestión del Mantenimiento de Equipos Pesados”* para optar el grado de Doctor presentado a Universidad Nacional Mayor de San Marcos, la presente tesis de investigación busca mejorar el perfil competitivo de las pequeñas empresas que se ocupan del servicio de mantenimiento de maquinaria pesada, basados en el planteamiento del diseño de un modelo que relacione la eficacia de los procesos técnicos y su efectividad en los servicios de mantenimiento en las empresas de este rubro; basado en la cadena de valor del servicio de mantenimiento de equipos, sus procesos y sus requerimientos críticos de recursos.

Para ello, se utilizaron fuentes primarias como encuestas, entrevistas en profundidad y visitas a instituciones relacionadas, además de otras fuentes secundarias. Esto permitió obtener un conocimiento amplio sobre el tema y formular inicialmente hipótesis sobre la variable de eficacia de los procesos técnicos de mantenimiento, desglosándola en sus diferentes dimensiones. Posteriormente, se analizó la relación entre la eficacia y los procesos técnicos de mantenimiento, proponiendo finalmente un modelo que vincula la eficacia de estos procesos con la efectividad del mantenimiento en empresas que manejan equipos pesados.

Las hipótesis formuladas fueron comprobadas adecuadamente mediante análisis estadísticos aplicados a los datos obtenidos de la encuesta realizada a la muestra. Esto permitió confirmar que las variables, así como sus respectivos indicadores, estaban asociadas, y a través de su medición se evidenció cómo esta relación contribuye a la competitividad de este tipo de empresas.

Con esta investigación se busca evaluar el grado de eficacia que han logrado estas empresas y su contribución individual a la competitividad en el sector de maquinarias pesadas, específicamente en el ámbito del mantenimiento. Se adopta un enfoque que se centra en la eficacia desde una perspectiva retrospectiva, es decir, analizando los resultados previos, y no de manera tradicional, utilizando los métodos mencionados para optimizar los procesos. (...) Las empresas de este sector suelen ofrecer tres tipos de mantenimiento: preventivo, correctivo y predictivo. La información, los procesos y las evaluaciones se han centrado principalmente en el mantenimiento preventivo, ya que es el más estandarizado por los fabricantes de estos equipos y resulta más predecible. El desarrollo en la eficacia de los procesos técnicos influye de manera significativa en la efectividad de los servicios de mantenimiento de equipos pesados, lo que se traduce en una mejora en las horas hombre dedicadas al mantenimiento y en la calidad de las intervenciones. Esto coloca a estas empresas en una posición competitiva favorable dentro del mercado donde operan.

Ninatanta (2022) [25] en su investigación *Confiabilidad en el rendimiento de las máquinas de producción gracias al plan de mantenimiento preventivo*, indica, que el mantenimiento preventivo empresarial se realiza de manera proactiva para abordar los problemas de producción antes de que sucedan, evitando ineficiencias en los procesos y reparaciones inesperadas. Poder implementar esta estrategia de manera oportuna y rutinariamente trae beneficios como: el aseguramiento de la capacidad productiva; aumento de la disponibilidad y vida útil de los equipos; seguridad para los colaboradores, ahorro de costos y la máxima eficiencia.

Alavedra (2016) [26] en su investigación, *Gestión de mantenimiento preventivo y su relación con la disponibilidad de la flota de camiones 730e Komatsu-2013* asevera que, todo sistema es productivo, siempre y cuando opere bajo un mínimo de fallas. Basada en este principio, la investigación en la empresa Komatsu Maquinarias Perú S. A. consistió en el análisis de la situación actual de los equipos y determinó cuál es la relación entre la gestión de mantenimiento preventivo a través de sus indicadores y la disponibilidad.

2.2. Bases teóricas

La comprensión profunda de la confiabilidad es esencial para optimizar la gestión del mantenimiento en una fábrica de cemento. El marco filosófico de esta tesis es fundamental no solo para la eficiencia operativa, sino también para la conservación de recursos, en particular aquellos no renovables. Esta optimización es beneficiosa en múltiples dimensiones.

Dado que el equipo utilizado en la planta de cemento es crítico para el proceso de producción, es imperativo que estos sistemas sean mantenidos de manera óptima. Un mantenimiento deficiente puede resultar en paradas imprevistas de las máquinas, lo que ocasionaría significativas pérdidas económicas. Estas pérdidas no solo impactan a la empresa directamente, sino que también afectan al personal involucrado en la fabricación del cemento, incluyendo a los trabajadores de plantilla directa y a los empleados de empresas contratistas.

2.2.1. Fundamentación Ontológica.

Graus (2023) en [27] indica que, la ontología es una parte o rama de la filosofía que estudia la naturaleza del ser, la existencia y la realidad, tratando de determinar las categorías fundamentales y las relaciones del “ser en cuanto ser”. Asimismo, se explora en detalle aspectos relacionados con la identidad y la naturaleza del individuo. Ontología se define como “el estudio del ser”. Esta palabra proviene de los términos griegos οντος (ontos), que significa ser o ente, y λόγος (logos), que se traduce como estudio, discurso, ciencia o teoría.

Enciclopedia Significados (2024) en [28] define, Ontológico es lo que se refiere a la ontología es la rama de la filosofía que investiga la naturaleza del ser en su condición de ser. Su objetivo es identificar las categorías esenciales de la existencia y la realidad, así como entender cómo se interrelacionan entre ellas.

Los orígenes de la ontología se remontan a los filósofos presocráticos, como Parménides, quien planteó la cuestión del ser y el no ser. Platón y Aristóteles desarrollaron estas ideas, estableciendo las bases de la metafísica occidental. La ontología ha sido objeto de numerosos debates a lo largo de la historia, dando lugar a diversas corrientes filosóficas, como el realismo, el idealismo y el fenomenalismo. En la actualidad, la ontología sigue siendo un campo de investigación activo, con aplicaciones en áreas como la filosofía de la ciencia, la inteligencia artificial y la metafísica.

Siendo la Ontología, parte de la filosofía que estudia al ser y su existencia en general, la presente investigación tiene la finalidad de tener siempre en estado operativo al horno de la planta industrial, y como consecuencia de la operatividad del horno, con lo cual se lograrán mejoras en los siguientes aspectos.

- El usuario final del cemento, sean las familias en forma directa, al construir sus domicilios con material noble, se beneficiarán porque mejoraran su calidad de vida y seguridad.
- También las personas que se dedican a la rama de construcción, se beneficiarán económicamente por tener siempre el mercado abastecido con cemento y de esa manera podrán ejecutar sus proyectos sin inconvenientes.

- El personal de operaciones siempre estará laborando, con lo que se lograría que los trabajadores y sus familias tengan una mejor calidad de vida, producto de los ingresos que obtienen al estar siempre trabajando.

En este sentido el tiempo de vida de la unidad puede proyectarse para su operación cuando menos de veinte años, sin embargo, con el correcto plan de mantenimiento su vida útil puede extenderse mucho más de esta previsión. Esto como puede observarse puede llegar a traducirse en tiempo de carrera profesional extensa, tanto a nivel supervisor u operario, pudiendo incluso pensarse en términos generacionales, puesto que la construcción en el país, siempre será un requisito tanto para asegurar una vivienda, vías, y espacios públicos, además que es el sector que económicamente contribuye a disminuir la tasa de desempleo nacional (construcción pública).

En este sentido y bajo el enfoque ontológico, en cuanto a la predictibilidad del mantenimiento se refiere, es preciso acotar que siempre que lo que busca la tecnología es prever de manera determinista los fallos que se producen en los materiales, sin embargo, la sociedad aún se encuentra muy distante de este objetivo, por lo cual, se debe valer de métodos estadísticos para poder asegurar con cierto nivel de incertidumbre (o ignorancia) la probabilidad de fallo) de las máquinas, sus elementos, o materiales, tratando que en un futuro, cuando cuente con procesos productivos estandarizados, y suficiente data de calidad en la operación de estos componentes pueda conseguir lo que hoy se sigue percibiendo como una utopía.

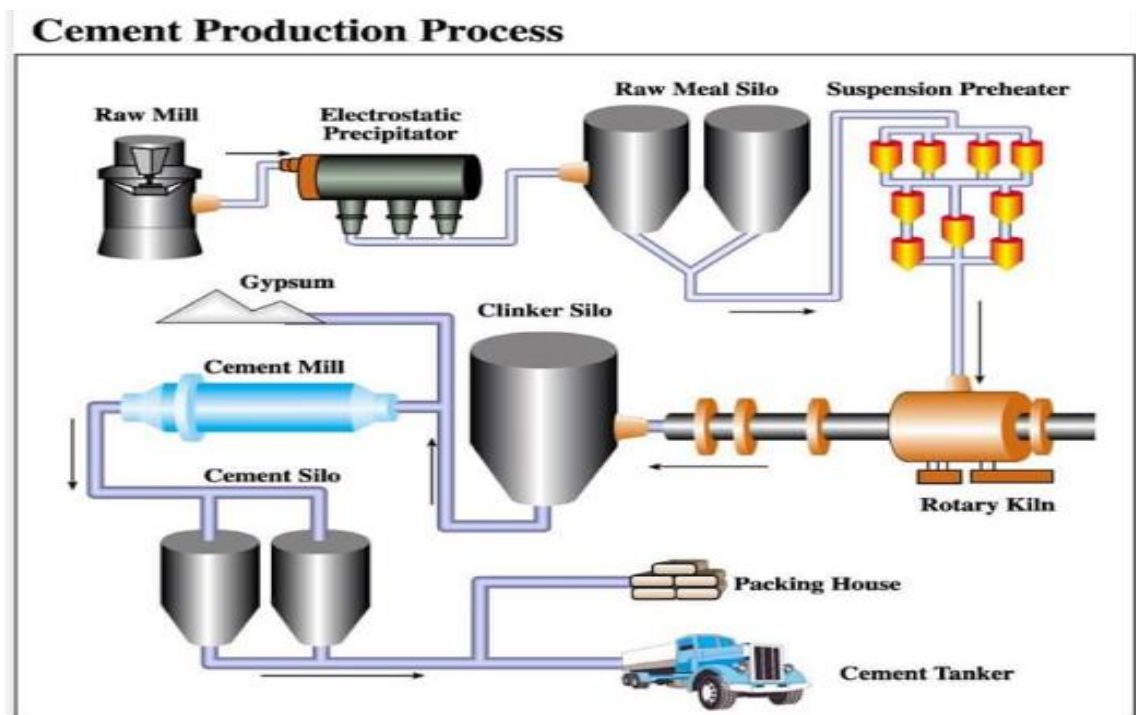
2.2.2. Fundamentación Metodológica

Aguirre (2013) en [29] indica que, la palabra metodología es un término que se origina de tres palabras griegas: meta (“más allá”), odòs (“camino”) y logos (“estudio”). Este concepto se refiere al conjunto de estrategias de investigación que facilitan el logro de objetivos específicos dentro del ámbito de una ciencia.

Es así que en la tesis que se identificó cual es el equipo crítico en la línea de alimentación del Horno, y será aquel equipo que cuando se presente una falla

pone en riesgo la funcionalidad del horno y donde se puede inferir, que el daño en el activo sería irreversible, y ocasionaría ingentes pérdidas económicas a la empresa propietaria de este activo.

En la Figura 1, se muestra los equipos presentes en el proceso de transformación de la materia piedra caliza (materia prima del cemento) hasta la obtención del Clinker y posteriormente convertir en cemento, se presenta al horno rotativo y a los equipos de la línea de producción.



Nota Fuente: <https://procesosindustriales-rpt.blogspot.com/2015/08/proceso-de-produccion-de-cemento.html>

Para identificar el activo crítico se utilizarán los conceptos desarrollados y compilados por la Ingeniería de Mantenimiento y su estudio de confiabilidad, en donde se realizará un análisis de causas de las fallas y sus efectos (carencia del fluido eléctrico para accionar los motores del horno de cemento) en cuyo caso se pretende hacer uso de software estadísticos con la finalidad de analizar los datos recabados, para lo cual será necesario tener el historial de fallas de los componentes eléctricos que intervienen en el accionamiento del horno rotativo materia de estudio, con lo que se pretende estimar el ciclo de vida de dichos equipos críticos y la confiabilidad de la línea de alimentación eléctrica en un

determinado tiempo. Lo cual será el punto de partida para establecer un plan de mantenimiento programado, el cual también será nutrido con la data producto de su desarrollo, para con esto tender a aumentar la confiabilidad eléctrica en el sistema, estas estrategias preventivas, y predictivas se espera sean incorporadas en las actividades diarias, semanales, mensuales, y mayores de la empresa, y con este mismo fin contribuir a estimar y proyectar lo costos de mantenimiento de los equipos.

2.2.3. Fundamentación Epistemológica.

Choque (2019) en [30] Indica que, la epistemología es una disciplina filosófica que ha cobrado relevancia en el ámbito de la ciencia ya que dilucida aspectos que se relacionan tanto con la construcción del conocimiento como con la orientación científica. Por lo tanto, este artículo tiene como objetivo, en primer lugar, aclarar la definición de epistemología, teniendo en cuenta sus diversas interpretaciones, y en segundo lugar, resaltar su relevancia en relación con su función de análisis del trabajo científico. En el contexto educativo, esto implica que el proceso de aprendizaje debe conectar al estudiante con el objeto de estudio, con el docente actuando como mediador de este proceso. Una formación profesional universitaria que adopte un modelo de enseñanza de la ciencia fundamentado en un enfoque epistemológico que promueva la interacción directa con el objeto permitirá desarrollar investigadores que realicen su labor científica desde una perspectiva reflexiva. La epistemología proveniente del griego episteme, que se traduce como conocimiento, y logos, que significa teoría) es la disciplina filosófica que aborda los problemas relacionados con la teoría del conocimiento.

Teniendo en consideración que La epistemología estudia a la investigación científica y al producto que se obtiene de esta investigación, podemos aseverar, que como la correcta aplicación de los conceptos de la Ingeniería de Mantenimiento hará posible que el activo más importante de la planta de cemento siga su operación sin interrupciones, garantizando de esta manera el abastecimiento del cemento al cliente final y también contribuir el crecimiento económico de nuestro país.

De acuerdo con las estrategias y el mejoramiento continuo que debe imperar en una empresa, la principal función es el registro de las ocurrencias y actividades desarrolladas en una empresa, con esta información se constituye una base de datos que contribuye a sentar las bases del plan y por tanto a establecer estrategias para llevar a cabo el mantenimiento de los equipos, sin embargo, el mantenimiento como una disciplina, y por tanto requiere la ejecución coordinada, y periódica de actividades para la obtención de los objetivos, la cual se alimenta de la experiencia, por este motivo es imprescindible contar con data que permita estimar, y posteriormente predecir el comportamiento o vida útil de los equipos dentro de un sistema para poder planificar su mantenimiento. Para esto es necesario superar los paradigmas que se tienen en base al mantenimiento, los cuales en palabras de A. Suter, define: “Mantenimiento es algo que, cuando todo funciona correctamente, pasa desapercibido. Si surge un problema, se afirma que no tiene relevancia. Cuando se trata de gastos, se argumenta que no es indispensable. Sin embargo, cuando realmente no está presente, todos coinciden en que debería estarlo”.

En este sentido y con los desarrollos tecnológicos presentes en la actualidad, es posible que se pueda desarrollar sectores industriales con un 100% de confiabilidad, sin embargo, la función de costo asociada a tal hazaña, sería infinita, aun cuando teóricamente existiría, en la práctica no resulta rentable, por lo cual, se diseña a partir de la relación costo del mantenimiento y el riesgo implícito en las fallas, los accionistas toman o deciden en función de la mejor combinación de ambos factores que estén dispuestos a permitirse y a sufragar.

Como se ha observado, y es posible deducir por cuenta propia, el mantenimiento y las diversas estrategias para abordarlo, constituyen una rama de la hermenéutica, la axiología y del método científico, pues todo requiere el rigor probatorio para poder ser establecido como una política de mantenimiento.

2.2.4. Fundamentación Axiológica.

Graus (2023) en [31] Define que, la axiología es una rama de la Filosofía que estudia los valores. La axiología también se utiliza en otros campos como el

Derecho y la Pedagogía, donde surgen cuestiones de naturaleza axiológica. A veces, se emplean las expresiones Filosofía de los valores y Teoría de los valores. Este término proviene del francés axiologie y está compuesto por las palabras griegas ἄξιος (que significa 'digno', 'valioso' o 'con valor') y λόγος (logos, que en este contexto se traduce como 'estudio', 'teoría' o 'tratado').

Teniendo en consideración que la axiología es parte de la filosofía que se encarga de estudiar los valores, y para la presente tesis, que evaluará las fallas de los equipos de la línea de producción del horno y la confiabilidad que ella representa en el mantenimiento; así como las consecuencias económicas derivada por pérdida de producción ocasionado por las fallas, se practicará como derrotero la responsabilidad, para poder utilizar la data obtenida responsablemente solo con fines de la presente investigación, también se practicará la honestidad, porque la investigación proporcionará un resultado y debemos mostrarlos con transparencia y hacer la interpretación en acuerdo al sentido común y criterios técnicos correspondientes.

En este contexto, se procesará y analizará la información obtenida con el objetivo de establecer la relación entre la confiabilidad de los equipos y las consecuencias económicas derivadas de las fallas. Este análisis permitirá predecir el comportamiento de los componentes en estudio, y se actualizará continuamente con los datos provenientes de los mantenimientos e inspecciones realizados a los equipos.

Es importante destacar que este análisis se centrará exclusivamente en los equipos de la línea de producción del horno rotativo en una fábrica de cemento. Las herramientas y metodologías desarrolladas en esta investigación podrán ser aplicadas en futuros estudios para incluir otros sistemas dentro de la fábrica en el plan de mantenimiento.

2.2.5. Fundamentación Ética

Graus (2023) en [32] Indica que, La ética es una rama de la filosofía que se ocupa del comportamiento humano y su conexión con los conceptos de bien y mal, así como con los principios morales, el deber, la felicidad y el bienestar

colectivo. La labor de la ética como disciplina consiste en examinar los principios de moralidad, deber y virtud que orientan la conducta humana hacia la libertad y la justicia.

La relevancia de la presente tesis, debe ser reconocida como una que actúa bajo parámetros éticos, esto se logrará cumpliendo las tres siguientes consideraciones:

- a) Cumplimiento de los conceptos desarrollados en la Ingeniería de Mantenimiento, y describir adecuadamente el comportamiento de las de los equipos por fallas eléctricos, mecánicas y operacionales, involucrados a fin de utilizar la data obtenida bajo criterios éticos, describiendo los datos tal como se generaron al momento de producirse las fallas.
- b) Cumplimiento de la normatividad, para poder utilizar la información recopilada según criterios éticos, reconociendo la propiedad intelectual, referenciando a los autores de los diversos textos o artículos utilizados en la presente tesis.
- c) Respeto por la información privilegiada manejada, sin detrimento de quienes facilitaron la presente investigación, ni de los que sean depositarios de los resultados de la investigación.

Esto con la finalidad de ser transparente en la investigación desarrollada, y que realmente permita cumplir de manera cabal con los objetivos, para lo cual se pretende presentar a los responsables del área de mantenimiento los resultados obtenidos para con esto contribuir con la mejora continua en la empresa, o en el menor de los casos con el debate de ideas, de la cual surjan nuevas estrategias para abordar las actividades de mantenimiento del sistema eléctrico, mecánico.

Para nuestra universidad, se espera contribuir con el desarrollo tecnológico desde un punto de vista de la presentación de este trabajo de investigación, esperando que pueda servir como referente para nuevas investigaciones, que contribuyan a generar bienestar a nuestra sociedad, haciendo hincapié en el reconocimiento de las teorías y los autores que la generaron, para de esta manera evitar el plagio o el robo de ideas, y así incentivar la producción de nuevos conocimientos en la sociedad.

2.2.6. Fundamentación Heurística

Las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales en los equipos de la línea del horno rotativo se pueden entender como eventos que interrumpen el funcionamiento eficiente de los sistemas involucrados en la producción de cemento. Utilizando un enfoque heurístico, se pueden identificar patrones y causas comunes de estas fallas, lo que permite simplificar el proceso de análisis y toma de decisiones.

Las Fallas Eléctricas: Estas incluyen problemas relacionados con el suministro eléctrico, cortocircuitos y fallos en componentes eléctricos. Su impacto puede ser inmediato, causando paradas no planificadas que afectan la producción.

Las Fallas Mecánicas: Se refieren a desgastes, roturas o malfuncionamientos de piezas mecánicas. Estas fallas pueden llevar a costosos tiempos de inactividad y a la necesidad de reparaciones o reemplazos.

Las Fallas Operacionales: Estas son resultado de errores humanos, mal uso del equipo o falta de capacitación. Pueden influir en el rendimiento general del sistema y contribuir a las fallas mecánicas o eléctricas.

El análisis heurístico permite a los equipos de mantenimiento identificar rápidamente las áreas críticas donde las fallas son más comunes. A partir de estos hallazgos, se puede evaluar el impacto en la confiabilidad del mantenimiento, determinando cómo estas fallas afectan la disponibilidad operativa del horno rotativo y, en consecuencia, su rendimiento económico.

La identificación temprana y la implementación de soluciones basadas en patrones heurísticos pueden resultar en una mejora significativa en la eficiencia operativa y una reducción en los costos asociados a tiempos de inactividad y reparaciones.

2.2.7. Fundamentación Doctrinaria

La fundamentación doctrinaria para el análisis de fallas eléctricas, mecánicas y operacionales en equipos de la línea del horno rotativo se puede

abordar desde varias disciplinas que incluyen la ingeniería eléctrica, mecánica, industrial, la gestión de mantenimiento, y la economía.

Según la teoría del mantenimiento, las estrategias preventivas y predictivas son esenciales para minimizar fallas. El mantenimiento predictivo utiliza datos históricos y técnicas heurísticas para prever fallas antes de que ocurran, lo que mejora la confiabilidad del sistema. La gestión adecuada del ciclo de vida del equipo es fundamental. Esto incluye desde la selección del equipo, su operación, hasta su desecho, considerando el impacto económico en cada fase. La Ingeniería de Confiabilidad, por medio del Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA): Esta metodología permite identificar modos de falla potenciales y sus efectos sobre el sistema. Es útil para priorizar las áreas que requieren atención en el mantenimiento.

Referente a la Economía Industrial, también se refiere a los costos de Oportunidad, la ineficiencia debido a fallas puede resultar en costos significativos por pérdida de producción, así como el costo de las reparaciones. La evaluación económica considera estos costos al analizar el impacto financiero de las fallas.

Las fallas operacionales a menudo están ligadas a errores humanos. La capacitación continua y el desarrollo organizacional son cruciales para minimizar estos errores y mejorar la interacción del operador con los sistemas.

Finalmente podemos inferir que, la fundamentación doctrinaria proporciona un marco teórico sólido para comprender cómo las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales impactan tanto en la confiabilidad del mantenimiento como en la situación económica dentro del contexto industrial del cemento. Un enfoque multidisciplinario permite abordar estas problemáticas desde diferentes ángulos, mejorando así la efectividad en la gestión del mantenimiento.

2.2.8. Antecedentes de la gestión de mantenimiento.

Pistarelli (2016) en [33] indica que, en los últimos 50 años de historia del Mantenimiento se produjeron cambios que, a la vista de cualquier persona, son poco menos que impresionantes. Desafortunadamente, a menudo se atribuye esta evolución casi únicamente al progreso tecnológico. Aunque es indiscutible

que la tecnología ha optimizado las herramientas de diagnóstico y el mantenimiento, también ha habido un cambio significativo en la filosofía de manejo de fallas. Existen nuevos métodos de producción y gestión de activos, pero también se ha desarrollado una nueva perspectiva sobre el papel de las personas, su bienestar y su calidad de vida.

2.2.9. Evolución de la gestión de mantenimiento.

Westreicher (2024) en [34] define que, la gestión es un conjunto de procedimientos y acciones que se llevan a cabo para lograr un determinado objetivo. El propósito de la gestión es alcanzar un objetivo maximizando al máximo los recursos disponibles. El término empresa se entiende como un conjunto que incluye personas, máquinas, tecnología, información, planificación y recursos financieros, que busca lograr objetivos previamente establecidos (eficacia y eficiencia) mediante el manejo adecuado de los recursos disponibles (eficiencia), al mismo tiempo que se protege el medio ambiente de manera efectiva. La gestión actúa como el elemento integrador para cumplir con estas metas.

La gestión de una empresa se refiere a su administración y está vinculada a las actividades de planificar, organizar, dirigir, coordinar, ejecutar y controlar, tal como indican las escuelas modernas de gestión.

En cuanto al mantenimiento, es fundamental reconocer dos aspectos clave: gestión y operación. La primera se relaciona con la administración de los recursos, incluyendo su planificación, organización y control, mientras que la segunda se refiere a la ejecución física del servicio de mantenimiento.

Juárez (2020) en [35] Indica que, la gestión de mantenimiento se enfoca en asegurar que los recursos de la empresa funcionen correctamente para optimizar la producción y evitar desperdicios económicos. Un jefe de mantenimiento debe conocer a fondo los procedimientos y las operaciones clave de la empresa. Este conocimiento le permite priorizar tareas de reparación y asignar recursos a las actividades de mantenimiento más críticas para el éxito organizacional.

La falta de mantenimiento puede causar averías en máquinas y fallos en la producción, lo que lleva a paradas, inactividad, desajustes operativos, mala calidad en los productos, incumplimiento de plazos de entrega y riesgos de accidentes laborales, generando costos adicionales.

Mora (2009) en [36, p. 38] Indica que, la gestión de mantenimiento contempla la planeación, la organización, la coordinación, la dirección, la ejecución y el control de todas las actividades inherentes a mantenimiento, con el fin de cumplir su misión.

Por otro lado, Reiter señala que la gestión del mantenimiento debe ofrecer un sistema que planifique, organice, dirija, controle y administre todas las actividades relacionadas con el mantenimiento. Además, debe facilitar un negocio eficaz, confiable y ágil, capaz de satisfacer las necesidades de producción, fomentar la competitividad y productividad de la empresa, y promover la participación activa de sus empleados.

Es importante destacar que las limitaciones del mantenimiento varían según el tipo de industria, pero están influenciadas por factores como la disponibilidad financiera, las políticas de uso del parque industrial, los niveles de productividad, la fiabilidad de los equipos, su vida útil, la obsolescencia tecnológica de las máquinas y la cualificación del personal de mantenimiento.

La estrecha relación entre mantenimiento y producción se evidencia en que la gestión del mantenimiento está condicionada por la tecnología de los equipos y el tipo de actividad industrial y organización a la que pertenecen.

Asimismo, es relevante mencionar que la gestión del mantenimiento abarca la planificación, organización, coordinación, dirección, ejecución y control de todas las actividades relacionadas con el mantenimiento para cumplir con su misión.

2.2.10. Porqué se debe gestionar el mantenimiento.

A continuación, examinemos las razones por las cuales es fundamental gestionar el mantenimiento:

- Una gestión eficiente del mantenimiento permite que las empresas se vuelvan más competitivas, al optimizar el uso de materiales y mano de obra, además de satisfacer las necesidades de los clientes.
- Existen diversas técnicas de mantenimiento que, cuando se implementan correctamente tras un análisis previo, mejoran la calidad de los productos y la productividad de la empresa. Algunas de estas técnicas incluyen el mantenimiento preventivo, el mantenimiento predictivo (como análisis vibracional, termografías, detección de fugas por ultrasonidos, análisis amperimétricos, entre otros), el RCM y el TPM.
- La calidad, la seguridad y las interacciones con el medio ambiente son aspectos que han cobrado gran relevancia en la gestión industrial. Es crucial gestionar estos elementos para integrarlos en las prácticas laborales de los departamentos de mantenimiento.
- Es importante evaluar cómo influye cada uno de los equipos que forman parte de las líneas de producción en las plantas industriales.
- Aumentar la disponibilidad de los equipos es esencial, no buscando el máximo posible, sino hasta un nivel donde la falta de disponibilidad no afecte el plan de producción de las empresas.
- Porque el estudio de fallas, el análisis de confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad y criticidad de los equipos que conforman las líneas de producción, conlleva a una planificación y programación del mantenimiento que conduce a incrementar la producción mejorando los beneficios económicos de las empresas.

2.2.11. Tipos de mantenimiento.

Mora (2009) en [17, p. 38] se indica los tipos de mantenimiento surgieron como consecuencia de la evolución del concepto de mantenimiento. El orden cronológico está relacionado con el nivel de complejidad y eficacia del mantenimiento. A las metodologías más básicas les siguen otras más avanzadas, aunque las primeras no desaparecen, sino que sirven de complemento a las más modernas.

Sin embargo, hay diferentes autores y normativas que clasifican el mantenimiento de diversas maneras. Por ejemplo, según la norma EN-13306 (una norma estándar europea), el mantenimiento se divide en solo dos categorías principales: mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo.

Dentro del mantenimiento preventivo, hay dos tipos: mantenimiento predictivo (o basado en condiciones) y mantenimiento preventivo sistemático (o predeterminado). En cuanto al mantenimiento correctivo, este se divide en dos subcategorías: mantenimiento diferido (o programable) y mantenimiento inmediato (o urgente). La figura 2 (anexo 2, página 49) ilustra de manera esquemática los tipos de mantenimiento según la norma EN-13306.

2.3. Marco Conceptual

Sin embargo, antes de avanzar, es esencial explorar qué se entiende por ‘fallas eléctricas, mecánicas y operacionales’, ‘horno rotativo’, ‘producción’ ‘cemento’, ‘producción de cemento’, ‘impacto’, ‘confiabilidad’, ‘impacto en la confiabilidad’, ‘confiabilidad del mantenimiento’ y ‘situación económica’. Estos términos son clave para definir el marco conceptual.

2.3.1. Fallas Eléctricas, Mecánicas y Operacionales:

Zamudio (2023) [37, p. 43] indica que, las fallas inesperadas en estas máquinas pueden tener efectos devastadores para las empresas, como paradas no programadas de la producción, costos elevados por reparaciones e inspecciones, y riesgos para la seguridad de los usuarios y los procesos. Es importante considerar que estos motores suelen ser equipos críticos en los procesos en los que se utilizan, y se han documentado pérdidas que pueden alcanzar varios millones de euros por día debido a fallos repentinos en algunas de estas máquinas.

García (2020) en [38, p. 89] En el caso de las máquinas eléctricas, las faltas más comunes que pueden producirse pueden ser tanto de tipo eléctrico como mecánico. Por un lado, las faltas de tipo eléctrico se producen debido a circuitos abiertos, cortocircuitos entre las bobinas que conforman un devanado. Por otro lado, las faltas de tipo mecánico pueden ser debido a roturas o grietas

causadas en las barras o anillos del rotor en jaula de ardilla, daños en los cojinetes, excentricidades o irregularidades en el entrehierro y desviaciones en el eje.

Sánchez (2021) en [39, p. 69] Los fallos son el resultado de aquellas situaciones en las que la carga soportada por la máquina es superior a su resistencia mecánica.

MINT (2024) en [40] indica que, las empresas no pueden permitirse el lujo de parar la producción por una falla.

Fallas mecánicas: Estas son las fallas que suceden en un componente mecánico de un equipo o una máquina. Los factores más frecuentes son: [35].

Fallas por fatiga: estas se producen cuando la pieza mecánica es sometida a un esfuerzo de manera reiterada, que debilita la estructura del material, lo que desencadena la ruptura del componente [35].

Fallas por desgaste: estas fallas son habitualmente en la superficie de las piezas mecánicas, que se desgastan por la fricción contra otras superficies. Las consecuencias pueden ser la pérdida de tolerancias y la necesidad de reemplazo de la pieza [35].

Fallas por deformación: se producen por una carga excesiva, por lo que se rompe la pieza [35].

Fallas por corrosión: los materiales se corroen por la exposición a elementos químicos o por la oxidación. Esto causa que se debilite la estructura de la pieza, al reducir su vida útil [35].

Fallas eléctricas: Conocemos por fallas eléctricas a aquellas que se refieren a problemas relacionados con el suministro de energía eléctrica a un equipo o sistema. Las causas más frecuentes de las fallas eléctricas las podemos enumerar en un breve listado: Interrupción en el suministro eléctrico, cortocircuitos, problemas de cableado, sobrecarga en el sistema eléctrico, problemas en los equipos eléctricos, descargas eléctricas, factores ambientales [35].

Fallas de proceso: Definimos como fallas de proceso a las que están relacionadas con los procesos de fabricación de los productos. Estas fallas de

proceso pueden estar causadas en diferentes puntos: Selección de materiales, Problemas en la programación de máquinas, Problemas en la configuración de los equipos [35].

Estos errores afectan a la eficiencia del proceso de fabricación, aumentan los costos económicos de la producción y reducen la calidad del producto.

2.3.2. Horno Rotativo de Cemento

Sym Yinyong Machinery (2023) [41] manifiesta que, los hornos rotatorios son equipos esenciales en la industria del cemento, ya que se utilizan para procesar el clinker a partir de materias primas. Representando una inversión significativa para una planta de cemento, estos hornos requieren una ingeniería precisa y una fabricación de alta calidad. Con la variedad de hornos rotatorios disponibles en el mercado, es fundamental esquivar posibles errores en la compra y asegurarse de hacer la elección adecuada. En esta publicación del blog, compartiremos consejos clave para ayudarle a seleccionar el horno rotatorio ideal para su planta de cemento.

Castillo (2022) en [42] define que, el horno rotatorio es, dentro de la industria cementera, un dispositivo de vital importancia, pues se constituye en un elemento esencial para la producción de cemento, además de ser un instrumento importante para la fabricación de Clinker, material necesario para la elaboración de cemento, proceso conocido como clinkerización. El control de este proceso es crucial para optimizar la eficiencia energética y sostener los niveles de producción, garantizando de este modo la calidad del producto.

2.3.3. Proceso de Producción

Según EAE Business School Barcelona (2023) en [38] establece que un proceso de producción consiste en un conjunto de actividades dirigidas a transformar recursos o factores productivos en bienes y/o servicios. Este proceso involucra la información y la tecnología, que interactúan con las personas. Su objetivo principal es satisfacer la demanda.

2.3.4. Producción de Cemento

Muñoz (2024) en [43, p. 14] indica que, el proceso comienza con la extracción de la materia prima en la cantera, siendo el principal material la piedra caliza que aporta el óxido de calcio (CaO) esencial para la obtención del Clinker. En el proceso se distinguen dos fases muy específicas: el proceso de clinkerización, también denominado “Piroproceso”, donde se produce el Clinker y el proceso de molienda de cemento donde se obtiene el producto final; ahora bien, no todas las plantas que producen cemento tienen estos dos procesos funcionando en sus instalaciones, existen plantas que solamente realizan molienda de producto final y que reciben el Clinker a partir de suministros externos, este tipo de plantas, más pequeñas en tamaño, reciben el nombre de “terminales de molienda”.

Lokolimoe (2009) en [44, p. 10] Indica que, La norma ASTM C 150 describe el cemento como un material conglomerante hidráulico que, al combinarse con agregados pétreos (grava o árido grueso, junto con arena o árido fino) y agua, produce una mezcla homogénea, moldeable y plástica que se endurece al reaccionar con el agua, volviéndose sólida y adquiriendo propiedades similares a las de la piedra; este material se conoce como hormigón o concreto.

2.3.5. Impacto

Sarukhan (2023) en [45] indica que, impacto se refiere a un cambio, y este cambio debe ocurrir fuera de nuestra esfera académica, es decir, en el “mundo real”. Aunque suena sencillo, resulta más complicado identificarlo o demostrarlo. En un escenario ideal, el cambio que surge de la investigación consiste en reconocer un problema o una necesidad, definir qué aspectos deben modificarse (los objetivos de impacto) y, una vez que se tiene claridad sobre la meta a alcanzar, establecer el camino para lograrlo: qué tipo de investigación se necesita realizar, quiénes participarán en el proceso (socios y partes interesadas), cómo se movilizará el conocimiento y qué indicadores utilizaremos para medir el éxito.

2.3.6. Confiabilidad

Macias (2021) en [46, p. 2] Indica que, la confiabilidad es la probabilidad de que un sistema produzca los resultados esperados, para sus cálculos se involucra el intervalo entre fallas en un determinado tiempo, entre menos ocurrencia de fallas más alta será la confiabilidad de un equipo.

En la presente investigación contempla el levantamiento y análisis de los componentes, elementos, partes y equipos que se encuentran en la línea de producción del horno rotativo de una fábrica de cemento, con la finalidad de proponer técnicas y mejoras a la gestión de mantenimiento y mejoras que contribuyan a aumentar la confiabilidad en el funcionamiento y por ende garantizar la producción de la empresa y evitar pérdidas económicas en la organización.

Gardella (2010) en [47] indica que, para este fin se pretende realizar un levantamiento de las instalaciones eléctricas que alimentan al equipo, y su condición actual, con lo cual se espera determinar su funcionalidad, periodo de vida útil (condición), y criticidad, esta última se basa principalmente en términos seguridad, la calidad, la producción y el mantenimiento, y los niveles de impacto están valoradas de 1 al 4.

2.3.7. Mantenimiento

Real Pérez (2021) en [48] Indica que, el mantenimiento se define como la combinación de actividades mediante las cuales un equipo o un sistema se mantienen, o se restablece a un estado en el que puede realizar las funciones designadas.

García (2006) en [49, p. 2] define que, Mantenimiento son todas las actividades que deben ser desarrolladas en orden lógico, con el propósito de conservar en condiciones de funcionamiento seguro, eficiente y económico los equipos de producción, herramientas y demás propiedades físicas de las diferentes instalaciones de una empresa. Con el avance del desarrollo tecnológico, las instalaciones industriales se están volviendo cada vez más complejas y automatizadas, con extensas cadenas de producción. La detención de estas operaciones puede generar pérdidas económicas significativas. Por lo

tanto, la relevancia del mantenimiento radica en la necesidad de tener una organización que garantice una rápida recuperación de las condiciones operativas, minimizando así las pérdidas en la producción.

2.3.8. Modelos posibles de mantenimiento de máquinas.

Como se ha indicado el mantenimiento de la infraestructura física y operativa de una empresa es importante por cuanto la operatividad de los equipos y la funcionabilidad de la industria garantizan el cumplimiento de sus objetivos estratégicos, sin embargo, para ello es preciso romper paradigmas de que el mantenimiento solo involucra gastos asociados a la contabilidad de la empresa, por lo que se presentan a continuación una serie de actividades comunes a la lista de mantenimientos que se prevé recomendar para su implementación o mejoramiento en el sistema de gestión, estas actividades comunes son: limpieza a través del soplado de las conexiones, ajuste de terminales, e inspecciones visuales y medición de voltaje y resistencia de las líneas, teniendo presente que los modelos posibles de mantenimiento para cada equipo pueden ser:

- Modelo de Mantenimiento Correctivo.
- Modelo de Mantenimiento de Baja Disponibilidad o Condicional.
- Modelo de mantenimiento de Media Disponibilidad o Sistemático.
- Modelo de Mantenimiento de Alta Disponibilidad.

2.3.9. Situación económica

Rodríguez (2023) [50] indica que, evitar las fallas por falta de mantenimiento es crucial por varias razones significativas.

Continuidad operativa: Las fallas no planificadas pueden detener por completo las operaciones, causando pérdidas financieras significativas debido a la interrupción del flujo de trabajo y la imposibilidad de cumplir con compromisos con los clientes, Rodríguez (2023) [50].

Costos imprevistos: Las reparaciones de emergencia suelen ser más costosas que el mantenimiento planificado, lo que afecta los presupuestos y puede impactar la rentabilidad de la empresa, Rodríguez (2023) [50].

Reputación y satisfacción del cliente: Las fallas que afectan la entrega o calidad de los servicios pueden dañar la reputación de la empresa y socavar la confianza del cliente, lo que podría resultar en la pérdida de negocios a largo plazo, Rodríguez (2023) [50].

Riesgos para la seguridad: Las fallas en equipos o maquinaria pueden representar riesgos para la seguridad de los empleados, causando accidentes o lesiones que podrían evitarse con un mantenimiento adecuado, Rodríguez (2023) [50].

Pérdida de vida útil de activos: La falta de mantenimiento puede acortar la vida útil de equipos y maquinaria, lo que conlleva a costos adicionales por reemplazo o reparación anticipada, Rodríguez (2023) [50].

2.3.10. Producción

Villalobos (2011) [51] define que la producción consiste en una secuencia de operaciones que transforman los materiales haciendo que pasen de una forma dada a otra que se desea obtener. La producción también se puede definir como el proceso de añadir valor a un bien o servicio a través de una transformación. Producir implica extraer y modificar bienes para hacerlos adecuados a las necesidades. Ejemplos de producción incluyen la extracción de petróleo de un pozo y el ensamblaje de un automóvil, entre otros.

Castillo (2009) [52] indica que un producto nace de una idea o de una necesidad descubierta en los consumidores. Cada producto tiene características que se definen en el momento de su creación. Para satisfacer mejor las necesidades del consumidor, es importante considerar en esta etapa los siguientes factores: preferencias y hábitos de los consumidores, calidad del producto, precio que están dispuestos a pagar y la duración del ciclo de vida del producto. También hay otros aspectos a tener en cuenta, como la tecnología de producción, los recursos disponibles en la empresa y las limitaciones legales, políticas y económicas. En esta fase, pueden surgir diferentes modelos del producto, cada uno con características que ofrecen ventajas y desventajas tanto para el consumidor como para la empresa. Esto generalmente lleva a seleccionar uno o varios modelos que cumplan con ciertos criterios. Primero analizaremos el

ciclo de vida de un producto y los factores técnicos y económicos que influyen en su elección.

2.3.11. Cemento

Sanjuán (2014) [53] establece que el cemento es un material básico para la edificación y la ingeniería civil. Su característica principal es la capacidad de formar masas de piedra resistentes y perdurables al mezclarse con áridos y agua. El proceso de endurecimiento de la mezcla se lleva a cabo después de un cierto período desde que se realiza, lo que permite moldear la piedra artificial resultante. Estas tres propiedades (moldabilidad, resistencia y durabilidad) hacen que los productos a base de cemento sean ampliamente utilizados en la construcción de infraestructuras y otros elementos arquitectónicos. El cemento Portland es un polvo finamente molido, compuesto mayormente por silicatos de calcio y, en menor medida, por aluminatos de calcio, que al mezclarse con agua reacciona, fragua y se endurece a temperatura ambiente, tanto en el aire como bajo el agua.

2.3.12. Proceso de Producción de Cemento

Sanjuán (2014) [53] propone, La producción de cemento es un proceso industrial que se lleva a cabo en instalaciones de gran envergadura. En esencia, la fabricación de cemento incluye los siguientes pasos:

- a) Obtención, almacenamiento y preparación de materias primas (como caliza, marga y arcilla), que son finamente molidas para producir el material crudo.
- b) Almacenamiento y preparación de combustibles.
- c) Cocción del material crudo en un horno rotatorio a temperaturas que alcanzan los 1.450°C (con picos de hasta 2.000°C en la llama) para generar clínker de cemento.
- d) Molienda del clínker junto con otros aditivos (como cenizas volantes, escoria, puzolana natural y yeso) para producir el cemento final.
- e) Almacenamiento, ensacado y distribución del cemento.

En la Figura 2 se aprecia en forma esquemática el proceso de producción de Cemento, que va desde la zona de voladura, transformación y la zona de envasado y despacho.



Fig. 2: Proceso de producción del cemento.

Nota: Fuente, <https://www.libreingenieriacivil.com/2024/07/que-es-el-cemento-y-cuales-son-sus-tipos.html>

2.3.13. Equipos de la línea de producción del horno

Oficemen [54] Agrupación de Fabricantes de Cementos en España, considera las siguientes etapas y equipos para la producción de cemento:

a. Obtención y preparación de materias primas

Las canteras se explotan mediante voladuras controladas para extraer materiales duros como calizas y pizarras, mientras que, para materiales más blandos, como arcillas y margas, se utilizan excavadoras.

b. Trituración

Una vez que el material ha sido extraído y clasificado, se tritura hasta alcanzar una granulometría adecuada para su posterior molienda. Luego, se transporta a la planta mediante cintas transportadoras o camiones para su almacenamiento en la zona de prehomogeneización.

c. Prehomogeneización

El material triturado se almacena en capas uniformes, lo que permite una selección controlada más adelante. Esta etapa ayuda a preparar la

dosificación correcta de los diferentes componentes, reduciendo así su variabilidad.

d. Molienda de crudo

Los materiales se muelen para disminuir su tamaño y facilitar su cocción en el horno. En un molino vertical, se trituran gracias a la presión ejercida por rodillos sobre una mesa giratoria. Luego, la materia prima (harina o crudo) se almacena en un silo para mejorar la uniformidad de la mezcla.

e. Precalentador de ciclones

La alimentación al horno se realiza a través de un precalentador de ciclones, que calienta la materia prima para facilitar su cocción. La materia molida ingresa por la parte superior de la torre y desciende mientras los gases del horno ascienden en sentido contrario, precalentando el crudo hasta alcanzar 1.000°C antes de entrar al horno.

f. Fabricación del Clinker: Horno

A medida que la harina avanza dentro del horno, la temperatura aumenta hasta llegar a los 1.500°C, lo que provoca las reacciones químicas necesarias para formar el Clinker. Para lograr estas altas temperaturas, el horno cuenta con una llama principal que arde a 2.000°C.

g. Fabricación del Clinker: Enfriador

Al salir del horno, el Clinker es introducido en un enfriador, donde se inyecta aire frío del exterior para bajar su temperatura de 1.400°C a 100°C. El aire caliente generado en este proceso se reutiliza en el horno para mejorar la combustión y aumentar la eficiencia energética.

h. Molienda de Clinker y fabricación de cemento

El Clinker se mezcla con yeso y otros aditivos en un molino de cemento. Estos molinos pueden ser de rodillos o de bolas; el molino de bolas consiste en un gran cilindro que gira sobre sí mismo y contiene bolas de acero en su interior. La rotación provoca colisiones entre las bolas, triturando el Clinker y los aditivos hasta obtener un polvo fino y homogéneo: el cemento.

i. Almacenamiento del cemento

El cemento se almacena en silos, organizándolo según sus diferentes clases.

j. Envasado o expedición a granel

El cemento puede ser ensacado o descargado en un camión cisterna para su transporte por carretera o ferrocarril.

2.3.14. Pérdida de Producción

Botero (2003) [55] Se entiende por conversiones a todas las acciones de transformación que modifican los materiales y la información de los productos, teniendo en cuenta las necesidades del cliente. Así, en el proceso de producción, estas actividades son las que realmente aportan valor. En cambio, las pérdidas se refieren a aquellas acciones que no añaden valor, pero que utilizan tiempo, recursos y espacio, generando costos dentro del proceso de producción (actividades de flujos).

En la fábrica de cemento, la pérdida de producción se refiere a la cantidad de cemento que se deja de producir debido a fallas en los equipos o maquinarias.

2.3.15. Pérdida Económica por Reparaciones

Moubray (2004) [56] indica que, el efecto económico global de cualquier modo de falla que tiene consecuencias operacionales depende de dos factores: Cuanto cuesta la falla cada vez que ocurre, en términos de su efecto sobre la capacidad operacional, más el costo de la reparación y también depende con qué frecuencia ocurren.

Cuando se trata de mantener operativas las máquinas y equipos, hay que tener en cuenta no solo el costo de los repuestos, sino también el costo de la mano de obra. Esto puede impactar significativamente en el presupuesto de una empresa. Además, es importante considerar un buen plan de mantenimiento preventivo que ayude a reducir las fallas y, por ende, los costos asociados.

2.3.16. Pérdida económica por paradas en la producción.

Moubray (2004) [56] indica que, la función primaria de la mayoría de los equipos en la industria está vinculada de algún modo con la necesidad de producir ingresos o de apoyar alguna actividad económica, las que afectan las funciones primarias de estos activos físicos afectan la capacidad de generación de ingresos de la compañía, la magnitud de estos efectos depende de la carga de la maquina y de la disponibilidad de alternativas, sin embargo en la mayoría

de los casos los efectos son mayores que el costo a reparar por fallas. Esto también es relevante para las empresas de servicios, como las del sector del entretenimiento, el comercio y hasta la banca.

Las pérdidas económicas derivadas de la pérdida de producción son un problema crítico que enfrentan muchas empresas, especialmente aquellas que dependen de maquinaria y equipos para llevar a cabo su operación diaria. Cuando una máquina se detiene debido a fallas o reparaciones inesperadas, la empresa no solo pierde la capacidad de producir bienes o servicios, sino que también incurre en múltiples costos adicionales que pueden afectar gravemente su rentabilidad.

2.3.17. Estadística

Salazar (2018) [57] define a Estadística como la ciencia que se encarga de la recolección, ordenamiento, representación, análisis e interpretación de datos generados en una investigación sobre hechos, individuos o grupos de los mismos, para deducir de ello conclusiones precisas o estimaciones futuras.

2.3.18. Estadística descriptiva

Salazar (2018) [57] menciona que, es la sección de la estadística que posibilita el análisis de un conjunto completo de datos, del cual se extraen conclusiones válidas solo para ese grupo específico. Para llevar a cabo este análisis, se lleva a cabo la recolección y representación de la información obtenida. Un ejemplo de estas estadísticas puede encontrarse en los deportes, en los resultados académicos de los estudiantes en una materia específica, o en el ámbito empresarial al calcular las ventas mensuales de una empresa durante un año determinado.

2.3.19. Estadística inferencial.

Salazar (2018) [57] indica que, en esta rama de la estadística, lo que se pretende es obtener conclusiones generales de una determinada población, mediante el estudio de una muestra representativa sacada de ella, dicho de otra manera, lo que se trata es que, con el valor de los estadísticos obtenidos, podamos establecer los valores de los parámetros. Podemos afirmar que la estadística inferencial se ocupa de analizar o investigar una población utilizando

los datos y resultados obtenidos de una muestra. Ejemplos claros de este tipo de estadística incluyen la implementación de nuevos tratamientos con medicamentos innovadores, así como las proyecciones que los investigadores de mercado realizan sobre el impacto de la publicidad en ciertos segmentos del mercado.

Esta característica ha propiciado un crecimiento continuo en la estadística inferencial, dado que sus aplicaciones son cada vez más efectivas en el manejo de poblaciones. Por esta razón, existen diversos métodos para generalizar los resultados obtenidos a partir del muestreo, como las pruebas de hipótesis, las predicciones futuras y otros enfoques.

2.4 Definición de términos básicos

2.4.1 Mantenibilidad de equipos (MTTR)

Rashuamán (2019) en [58, p. 120] indica que, evalúa las acciones llevadas a cabo por el área de mantenimiento en relación con las máquinas y equipos, que incluyen reparaciones y actividades preventivas, según lo planificado. Se establece a partir de la relación entre el volumen de trabajo de las reparaciones o actividades programadas y los tiempos efectivos de ejecución. El propósito es minimizar el tiempo utilizando los recursos apropiados para reducir costos.

2.4.2 Fiabilidad de equipos (MTBF)

Evalúa las actividades que lleva a cabo el área de producción en relación con la operación y gestión de las máquinas y equipos. Se determina a partir de las métricas fundamentales que se utilizan, que incluyen los tiempos y las cantidades de fallas de las máquinas y equipos. El objetivo es alargar el tiempo al máximo entre reparaciones promedio, Rashuamán (2019) en [58, p. 120] .

2.4.3 Disponibilidad

Indica el porcentaje de relación entre el tiempo útil efectivo y el tiempo total disponible de la máquina o equipo. Este componente está diseñado para tomar en cuenta sólo lo relacionado con el tiempo disponible, excluyendo los

paros programados de producción y los eventos de calidad y desempeño, Rashuamán (2019) en [58, p. 120]. Por otro lado, Moubray (2004) [56], define la disponibilidad en función del MTBF y el MTTR.

$$D = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR})$$

En la Figura 3 se aprecia en forma esquemática el tiempo de Operación de una máquina, así como el tiempo de reparación (tiempo fuera de servicio).

Se observa que TO1, TO2, TO3, representa al tiempo operativo de la máquina, en dicho estado el equipo está produciendo.

También se puede observar TFS1, TFS2, TFS3, dicho estado representa el tiempo que la máquina esta fuera de servicio, y el equipo de Mantenimiento trabaja para ponerlo operativo.

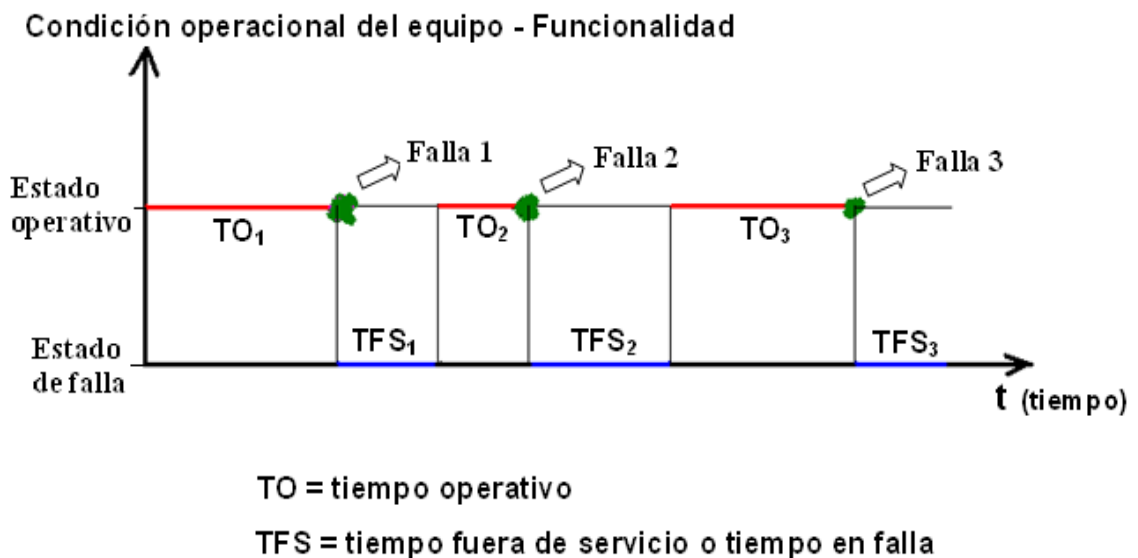


Fig. 3: Proceso de producción del cemento.

Fuente: Jony Paulino (2017)

2.4.4 Criticidad de equipo

Está basada en una fórmula que relaciona la frecuencia de falla por su consecuencia, y se estima un valor para cada máquina o equipo [58, p. 120] .

2.4.5 Frecuencia de falla

Se refiere a la cantidad de fallas que presenta cualquier componente, máquina o equipo del sistema en un periodo de tiempo determinado. La tendencia es reducir al mínimo posible, Rashuamán (2019) en [58, p. 120].

2.4.6 Inspecciones visuales

Actividad realizada por técnicos de mantenimiento y operarios capacitados y entrenados en las máquinas que van a operar, en caso del operario se debe realizar con la maquina apagada, encendida y al finalizar la labor, durante la operación de a máquina deben estar pendientes de olores y ruidos fuera de lo normal, Rashuamán (2019) [58, p. 122]

2.4.7 Mantenimiento preventivo sistemático

Actividad programada de mantenimiento que consiste en realizar tareas sistemáticas establecidas y definidas mediante el manual de máquinas o experiencia de los técnicos más experimentados, que no necesariamente tienen que ver con el tiempo que lleva operando o el estado de las partes y piezas sobre los que se trabaja, a diferencia del mantenimiento condicional que para realizar una tarea debe presentarse algunos indicios de falla, Rashuamán (2019) [58, p. 123].

2.4.8 Mantenimiento mayor

Actividad programada de mantenimiento que consiste en ejecutar tareas predictivas previas para analizar el estado de la máquina, garantizando su operatividad, y además del cambio de repuestos que les tocan durante el próximo año de tal manera que dé continuidad a la operación de la máquina y se tenga una confiabilidad alta, Rashuamán (2019) [58, p. 123] .

2.4.9 Modelo de Mantenimiento de Baja Disponibilidad o Condicional

Este modelo es aplicable a equipos de poco uso, que a pesar de ser importante en el sistema de producción tiene baja probabilidad de falla, incluye las actividades del modelo anterior y la realización de pruebas y ensayos que condicionaran un trabajo posterior, si se descubre una anomalía se programara su intervención, Rashuamán (2019) [58, p. 124].

2.4.10 Modelo de media disponibilidad o sistemático

Este modelo es aplicable a equipos de disponibilidad media, de cierta importancia en el sistema de producción, y cuyas averías causan algún trastorno, incluye las actividades del modelo anterior y un conjunto de tareas que se realizaran sin importar la condición del equipo, Rashuamán (2019) [58, p. 124]

2.4.11 Modelo de alta disponibilidad

Este modelo es el más exigente, la razón principal es el alto costo de producción que tiene una avería, para mantener estos equipos hay que usar técnicas de mantenimiento predictivo que nos permita conocer el estado del equipo en marcha con paradas programadas generalmente anuales. En estas paradas de mantenimiento mayor se cambian las piezas que posiblemente fallen en el curso de un año, se preparan con tiempo, y no necesariamente son las mismas tareas todos los años, Rashuamán (2019) [58, p. 124].

2.4.12 Procesos orientados al mejoramiento continuo

Consiste en buscar alternativas de mejora en las actividades y procesos de operación y/o mantenimiento de máquinas, mediante aplicaciones de herramientas como, kaizen, just in time, círculos de calidad, diagrama causa efecto, entre otros, llegando a obtener reducción de tiempos, numero de secuencia, que inciden en el costo del mismo, Rashuamán (2019) [58, p. 125].

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

- **Hipótesis general**

Las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento influyen en la confiabilidad del mantenimiento y en la situación económica durante los períodos 2021-2022.

- **Hipótesis específicas**

1. Las fallas mecánicas fueron las más comunes, seguidas por las eléctricas y operacionales en los equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento durante los períodos 2021-2022
2. La confiabilidad del mantenimiento en los equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento se caracteriza por una alta tasa de horas de fallas lo que denota que las prácticas son insuficientes para garantizar un funcionamiento óptimo durante los períodos 2021-2022
3. Las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales en equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento tienen impacto significativo en la mantenibilidad del mantenimiento durante los períodos 2021-2022.
4. Las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales en equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento tienen impacto significativo en la disponibilidad del mantenimiento durante los períodos 2021-2022.
5. Las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales en equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento tienen impacto significativo en la situación económica durante los períodos 2021-2022.

3.1.1 Operacionalización de variable (Definición conceptual y operacional de variables, Dimensiones, indicadores, índices/Ítems, método y técnica).

**TÍTULO: FALLAS ELÉCTRICAS, MECÁNICAS Y OPERACIONALES EN EQUIPOS DE LA
LÍNEA DEL HORNO ROTATIVO QUE PRODUCE CEMENTO Y SU IMPACTO EN LA
CONFIABILIDAD DEL MANTENIMIENTO Y EN LAS CONDICIONES ECONÓMICAS, 2021-
2022.**

VARIABLES	Definición conceptual	Definición operacional de variables	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Método y técnica
VARIABLE INDEPENDIENTE: Fallas eléctricas, mecánicas y operacionales.	Zamudio [37, p. 43] Las averías repentinas en dichas maquinas pueden acarrear consecuencias nefastas para las empresas (paradas no planificadas de la producción, costes de reparación e inspección, peligro para la seguridad de usuarios y procesos, etc.).	La variable de fallas eléctricas, mecánicas y operacionales se analizará con una Guía observación que consta de 06 ítems.	Frecuencia de las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales de equipos periodos 2021 y 2022.	-Frecuencia de fallas eléctricas. -Frecuencia de fallas mecánicas. -Frecuencia de fallas operacionales.	01, 02 y 03 ítems.	Método: Hipotético deductivo. Fuente: secundaria. Técnica: Análisis documental
			Tiempo de duración de las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales de equipos periodos 2021 y 2022.	-Tiempo de duración de fallas eléctricas. -Tiempo de duración de fallas mecánicas. -Tiempo de fallas operacionales.	04, 05 y 06 ítems.	
VARIABLE DEPENDIENTE 1: Confiabilidad del Mantenimiento.	Macias [46, p. 2] La confiabilidad es la probabilidad de que un sistema produzca los resultados esperados, para sus cálculos se involucra el intervalo entre fallas en un determinado tiempo, entre menos ocurrencia de fallas más alta será la confiabilidad de un equipo	La variable Confiabilidad del Mantenimiento se analizará con una Guía observación que consta de 08 ítems.	Tiempo promedio entre reparación (eléctricas, mecánicas y operacionales) - MTTR periodos 2021 Y 2022.	-Tiempo promedio de reparación de fallas eléctricas. -Tiempo promedio de reparaciones de fallas mecánicas. -Tiempo promedio de reparaciones de fallas operacionales.	07, 08 y 09 ítems.	Método: Hipotético deductivo. Fuente: fuente secundaria. Técnica: Análisis documental.
			Disponibilidad anual del Horno Rotativo periodos 2021 y 2022.	-Disponibilidad del horno rotativo en el 2021. -Disponibilidad del horno rotativo en el 2022.	10 y 11 ítems.	
VARIABLE DEPENDIENTE 2: Situación Económica	Rodríguez [50] Evitar las fallas por falta de mantenimiento es crucial por varias razones significativas: Las fallas no planificadas pueden detener por completo las operaciones, causando pérdidas financieras significativas debido a la interrupción del flujo de trabajo y la imposibilidad de cumplir con compromisos con los clientes, Las reparaciones de emergencia suelen ser más costosas que el mantenimiento planificado, lo que afecta los presupuestos y puede impactar la rentabilidad de la empresa.	La variable Situación Económica se analizará con una Guía observación que consta de 06 ítems.	Costo por Reparaciones (eléctricas, mecánicas y operacionales) periodos 2021 Y 2022.	-Costo por reparaciones eléctricas. -Costo por reparaciones mecánicas. -Costo por reparaciones operacionales.	13, 14 y 15 ítems.	Método: Hipotético deductivo. Fuente: fuente secundaria. Técnica: Análisis documental.
			Pérdida Económica por falta de Producción debido a fallas (eléctricas, mecánicas y operacionales) periodos 2021 Y 2022.	-Pérdida económica por falla eléctrica. - Perdida económica por falla mecánica. - Perdida económica por falla operacional.	18, 19 y 20 ítems.	

IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

4.1. Diseño Metodológico

Vargas (2009) [59] indica que la **investigación básica**, también conocida como investigación fundamental, exacta o investigación pura, que se ocupa del objeto de estudio sin considerar una aplicación inmediata, pero teniendo en cuenta que, a partir de sus resultados y descubrimientos, pueden surgir nuevos productos y avances científicos.

Hernández (2014) [12] define que el **enfoque cuantitativo** utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías.

Para Hernández (2014) [12] los **estudios explicativos** van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Tal como su nombre sugiere, su enfoque está en clarificar las razones detrás de un fenómeno y las condiciones en las que se presenta, así como la relación entre dos o más variables.

Hernández (2014) [12] Indica que la **investigación no experimental** podría definirse como la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables. En otras palabras, se refiere a investigaciones en las que no manipulamos deliberadamente las variables independientes para observar su impacto en otras variables. En la investigación no experimental, lo que hacemos es observar fenómenos tal como ocurren en su entorno natural para poder analizarlos.

La presente investigación es Básico, lo que implica que busca contribuir al conocimiento general sobre el mantenimiento de equipos industriales sin necesariamente tener una aplicación inmediata y el enfoque de la investigación es cuantitativa, ya que se centra en el análisis de registros históricos obtenidos durante los periodos 2021 y 2022, con el

objetivo de identificar patrones, relaciones y tendencias. El nivel de la investigación es explicativo, pues busca aumentar la comprensión del mantenimiento óptimo de los equipos en la línea del horno rotativo, pretende explicar las causas de las fallas en los equipos, ofreciendo una visión clara de la situación actual. Se incluirá información como la frecuencia de fallas, los tipos de fallas más comunes y su impacto en la confiabilidad del mantenimiento y también en la producción.

Adicionalmente, se considera un diseño no experimental, porque no se tiene determinación sobre las variables, se observa el desempeño de los equipos de forma natural, sin alterar los datos, se fundamenta principalmente en la observación de fenómenos tal como ocurren en su entorno natural, para luego proceder a su análisis, lo cual es fundamental para entender las interrelaciones entre las distintas variables, tales como las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales, y su relación con la confiabilidad del mantenimiento. También se analizarán los efectos económicos derivados de estas fallas, ya sea por los costos asociados a las reparaciones o por los ingresos no percibidos debido a las paradas en la producción. Esta comprensión integral permitirá establecer recomendaciones efectivas para mejorar el mantenimiento y reducir costos.

4.2. Método de Investigación

Forero (2007) [60] indica que, el método Hipotético-Deductivo es una herramienta que el estudiante puede utilizar para describir un fenómeno físico desde su perspectiva. En este proceso, debe formular una hipótesis sobre una situación que no esté directamente relacionada con su realidad inmediata, lo que se denomina “planteamiento del problema”. Este planteamiento se explica mediante la formulación de una serie de premisas a partir de las cuales se derivan conclusiones, poniendo de manifiesto sus preconcepciones y los conocimientos que adquiere en el curso de física. Así, al aplicar este método, el alumno consigue generar inferencias que son muy relevantes para su formación en Física y ciencias, lo que le permite desarrollar una visión crítica y un mejor entendimiento de los fenómenos que se estudian.

El método de investigación utilizado es el hipotético-deductivo. Este enfoque comienza con la formulación de una hipótesis, que es una afirmación o suposición destinada a explicar un fenómeno observado. Es fundamental que esta hipótesis sea falsable, lo que significa que debe ser posible demostrar su falsedad mediante evidencia empírica. A partir de la hipótesis planteada, se deducen consecuencias lógicas; es decir, se generan afirmaciones que deberían ser verdaderas si la hipótesis resulta ser correcta.

4.3. Población y muestra

Ñaupas (2018) [7] indica que, la población puede ser definida como el total de las unidades de estudio, que contienen las características requeridas, para ser consideradas como tales. Estas unidades pueden ser personas, objetos, conglomerados, hechos o fenómenos, que presentan las características requeridas para la investigación.

Ñaupas (2018) [7] indica que, la muestra es la parte seleccionada de una población y que reúne las características de la totalidad por lo que permite la generalización de los resultados.

Hernández (2014) [12] indica que, en una investigación cuantitativa se pretende generalizar los resultados encontrados en un grupo (muestra) a una colectividad mayor (población).

En la presente investigación se consideró que la población objeto de estudio está constituida por los equipos que operan en la línea de producción del horno rotativo de una fábrica de cemento. Esta población incluye todos los componentes y maquinarias involucrados en el proceso productivo, lo que permite obtener una visión integral del funcionamiento del sistema.

Para nuestro caso, la cantidad de la muestra es lo mismo que la población, vale decir los equipos de la línea de producción del horno rotativo.

4.4. Lugar de estudio

Este estudio se llevó a cabo en una planta industrial dedicada a la fabricación de cemento, ubicada en Perú. La elección de esta planta se debió a su relevancia en el sector y a su compromiso con la innovación y la sostenibilidad en los procesos productivos. Es importante mencionar que, por razones de confidencialidad y para proteger la identidad de la empresa, no se revelará el nombre específico de la planta. Este enfoque permite realizar un análisis objetivo de las prácticas industriales sin comprometer la integridad de la información sensible. Este entorno industrial proporciona un contexto adecuado para investigar los equipos en la línea de producción del horno rotativo, permitiendo observar las condiciones reales de operación y mantenimiento.

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

Ñaupas (2018) [7] indica que, la fuente es el origen de un dato o una información que permite el desarrollo de una investigación. Por lo general, se consideran fuentes a los libros o documentos escritos; sin embargo, también es importante incluir como fuentes a expertos o especialistas que, mediante entrevistas, pueden contribuir a la investigación.

García (2018) [11] indica que, la distinción entre datos primarios y secundarios se basa en quién produce los datos: cuando el investigador es la fuente primaria de los datos, es decir, produce sus propios datos, se trata de datos primarios. Un ejemplo de esto sería un investigador que entrevista a un experto sobre un tema y luego analiza el contenido de esa entrevista. Cuando el investigador utiliza datos que han sido recopilados y elaborados por otras personas o instituciones, se refiere a datos secundarios obtenidos de una fuente secundaria. Por ejemplo, si un investigador examina las estadísticas oficiales sobre el número de estudiantes matriculados en educación obligatoria en un año académico específico o las opiniones de la población sobre un tema obtenidas a través de una encuesta realizada por un instituto de opinión.

La presente investigación se llevará a cabo mediante el análisis de datos secundarios, los cuales han sido proporcionados por el personal del área de Mantenimiento de la planta cementera objeto de estudio. Esta información es esencial para la elaboración de un historial detallado que documente las fallas y reparaciones realizadas en los equipos eléctricos, mecánicos y operacionales que son fundamentales en la línea de producción del horno cementero durante los años 2021 y 2022.

El análisis de estos datos permitirá identificar patrones recurrentes en las fallas, así como evaluar la eficacia de las reparaciones realizadas. Además, se podrá establecer una relación entre las intervenciones de mantenimiento y el rendimiento general del horno cementero, lo que contribuirá a la optimización de los procesos productivos y a la reducción de tiempos de inactividad.

Este enfoque no solo facilitará una comprensión más profunda de los problemas técnicos enfrentados, sino que también ofrecerá recomendaciones prácticas para mejorar la gestión del mantenimiento en el futuro. La recopilación y análisis sistemático de esta información son pasos clave para garantizar la sostenibilidad y eficiencia operativa de la planta.

4.6. Análisis y procesamiento de datos

Ñaupas (2018) [7] plantea que, el procesamiento de datos es una actividad que se ejecuta luego de la recolección. Se entiende como un procedimiento que puede llevarse a cabo de manera manual, mecánica o electrónica. Los instrumentos que contienen los datos son la fuente para iniciar el procesamiento, que se compone fundamentalmente de tres etapas: la revisión crítica, la creación de la base de datos y la organización y reducción de los datos. En el procesamiento de datos, se busca que los resultados sean precisos, oportunos y, sobre todo, confiables. Este enfoque en el procesamiento permite convertir los datos en información valiosa para el análisis de las variables y la obtención de conclusiones sólidas.

El procesamiento de la información recopilada en esta investigación se llevará a cabo utilizando softwares estadísticos como SPSS y Excel. Estos programas son herramientas poderosas que permitirán realizar un análisis exhaustivo del historial de fallas de los equipos en la planta cementera.

El uso de SPSS facilitará el contraste de las hipótesis planteadas al aplicar técnicas estadísticas avanzadas, como análisis de regresión, correlaciones y pruebas de significancia, lo que nos permitirá obtener conclusiones robustas sobre el comportamiento de los equipos. Por su parte, Excel será útil para la organización y visualización de datos, permitiendo crear gráficos y tablas que faciliten la interpretación de los resultados.

Además, el análisis estadístico no solo se centrará en determinar la confiabilidad del accionamiento del horno rotativo durante un período específico proyectado, sino que también permitirá identificar qué tipos de fallas generan mayores pérdidas económicas en cada período evaluado. Esto es crucial para entender la relación entre las fallas operativas y su impacto financiero, lo que a su vez brindará información valiosa para desarrollar estrategias efectivas de mantenimiento preventivo y correctivo.

Al conocer los patrones de fallas más costosos, se podrán priorizar las intervenciones en los equipos más críticos, optimizando así los recursos y mejorando la rentabilidad de la operación. Este enfoque proactivo no solo contribuirá a reducir los tiempos de inactividad, sino que también mejorará la eficiencia general del proceso productivo.

4.7. Aspectos éticos en investigación

El cumplimiento de la normatividad ética es un pilar fundamental en cualquier proyecto de investigación, especialmente en el ámbito industrial donde se manipulan datos sensibles y se involucran múltiples partes interesadas. En este sentido, es esencial garantizar que la información recopilada se utilice de acuerdo con criterios éticos que respeten la integridad y los derechos de todos los involucrados.

Es crucial proteger la información sensible relacionada con la planta cementera y sus operaciones. Los datos recopilados deben ser tratados con confidencialidad para evitar cualquier posible daño a la reputación o funcionamiento de la empresa. Esto incluye asegurar que los resultados de la investigación no revelen información que pueda identificar a individuos o comprometer a la organización.

Al adherirse a estos principios éticos, la investigación no solo busca generar conocimiento valioso, sino también contribuir a un entorno más justo y responsable dentro del ámbito industrial. De esta manera, se asegura que los hallazgos sean útiles no solo para el desarrollo académico, sino también para la mejora continua de las prácticas dentro de la planta cementera.

V. RESULTADOS

5.1 Resultados descriptivos

Tabla 1
Tabla de contingencia de tipo de incidencia y fecha de fallas.

			Año		
			2021	2022	Total
Tipo de incidencia	Eléctrica	Recuento	5	7	12
		% dentro de Fecha mensual de fallas	27,8%	38,9%	33,3%
	Mecánica	Recuento	5	6	11
		% dentro de Fecha mensual de fallas	27,8%	33,3%	30,6%
	Operacional	Recuento	8	5	13
		% dentro de Fecha mensual de fallas	44,4%	27,8%	36,1%
Total	Recuento		18	18	36
	% dentro de Fecha mensual de fallas		100,0%	100,0%	100,0%

Fuente: Elaboración propia

La tabla 1 muestra que las incidencias eléctricas acumularon un total de 12 (33,3%), las mecánicas 11 (30,6%) y las operacionales 13 (36,1%). La tabla muestra que en el año 2021 se produjeron más cantidad de fallas Operacionales que representa un 44.4 %, seguidas por las fallas Mecánicas y eléctricas con un 27.8 %. Y en el año 2022 se observa que la cantidad de fallas eléctricas con un 38,9 % seguida por fallas mecánicas a un 33.3 %, y las fallas Operacionales representan un 27.8 %. También podemos observar que la cantidad de fallas eléctricas y mecánicas se incrementaron en el periodo 2022 con respecto al periodo 2021, mientras que las fallas operacionales descienden; es decir el periodo 2022 se tiene menos cantidad de fallas que el periodo 2021.

Tabla 2**Tabla de contingencia de tipo de incidencia y horas de falla**

		Tipo de incidencia*Horas de falla			
		Horas de fallas			Total
Tipo de incidencia		2021	2022		
Eléctrica	Recuento	14.68	52.96	67.64	
	% del total	3,0%	8,0%	6,0%	
Mecánica	Recuento	50.75	361,04	411.79	
	% del total	11.0%	53,0%	36.0%	
Operacional	Recuento	402.13	268.05	670.18	
	% del total	86,0%	39,0%	58,0%	
Total	Recuento	467.56	682,05	1149.61	
	% del total	100.0%	100,0%	100,0%	

Fuente: Elaboración propia

La **tabla 2 muestra** cantidad de horas de fallas son operacionales (670.18), seguida de las mecánicas (411.79) y eléctricas (67.64), haciendo un total de 1149.61 de horas fallas en el periodo 2021 – 2022.

Tabla 3**Tabla de contingencia de componente y fecha de fallas**

		Año			Total
		2021	2022		
Canaleta	Recuento	1	0	1	
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%	
Catalina	Recuento	0	1	1	
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%	
Ciclón	Recuento	1	1	2	
	% del total	2,8%	2,8%	5,6%	
Cojinete	Recuento	1	2	3	
	% del total	2,8%	5,6%	8,3%	
Colector	Recuento	0	1	1	
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%	
Elevador	Recuento	3	0	3	
	% del total	8,3%	0,0%	8,3%	
Enfriador	Recuento	1	0	1	
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%	
Externo	Recuento	1	1	2	
	% del total	2,8%	2,8%	5,6%	
Horno	Recuento	3	2	5	
	% del total	8,3%	5,6%	13,9%	
PLC	Recuento	4	0	4	
	% del total	11,1%	0,0%	11,1%	
Quemador	Recuento	2	4	6	
	% del total	5,6%	11,1%	16,7%	
Rotativa	Recuento	0	1	1	
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%	
Sensor	Recuento	0	1	1	
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%	

		Año		Total
		2021	2022	
Temperatura gas	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
Variador	Recuento	0	2	2
	% del total	0,0%	5,6%	5,6%
Ventilador	Recuento	1	1	2
	% del total	2,8%	2,8%	5,6%
Total	Recuento	18	18	36
	% del total	50,0%	50,0%	100,0%

Fuente: Elaboración propia

La tabla 3 muestra que los componentes que más han fallado en el período 2021 – 2022 son el quemador (16.7%), el horno (13.9%) y el PLC (11.1%). Asimismo, en el 2021, el componente que más fallo fue el PLC (11.1%) y en el 2022 fue el quemador (11.1%).

En el año 2021 el equipo que más fallas se tuvo fue el PLC con un total de 04 fallas, seguida por el elevador y el horno con 03 fallas.

Y en el año 2022 más fallas se produjeron en Quemador del horno con un total de 04 fallas, seguida por fallas del cojinete y el horno con 03 fallas.

Se puede observar que el Quemador del horno falla 02 veces tanto en el año 2021 y en el 2022 falla en 04 oportunidades, esto implica que para campañas posteriores se debe realizar un mantenimiento adecuado de dicho componente.

Tabla 4

Contingencia de descripción de la incidencia y fecha de fallas

			Año		Total
			2021	2022	
Descripción de la incidencia	Aparición mancha roja en el mt. 45	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	Atoro del ciclón	Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	Atoro en descarga del elevador inclinado de clinker. (por plancha y placas del enfriador)	Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	Caída de refractario del quemador principal / calentamiento	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	Caída de tensión externa, sobrecarga y atoro del enfriador	Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	Falla controlador velocidad	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	Falla de comunicación del filtro de mangas de torre / calentamiento	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%

		Año		Total
		2021	2022	
Falla de quemador	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
Falla del transformador del plc del electrofiltro	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
Falla eléctrica en contactor del elevador inclinado de clinker	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
Falla eléctrica en el interruptor de mando plc: compresoras de alimentación. Horno se quedó sin alimentación.	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
Falla eléctrica en el up que alimenta al plc	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
Falla en señales de presión del quemador principal	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
Falla en variadores de exhaustor. (cable averiado)	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
Falla sensor de posición de descarga del ciclón	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
Falla sistema de comunicación válvula rotativa en la alimentación	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
Falta de combustible en el q.p. por falta de aire. (pulmón estrangulado)	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
Mancha en el metro 20 del horno	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
Mancha roja metro 40 horno	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
Maniobra mecánica en tren de válvulas del combustible	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
Para el horno por atoro en canaleta con lona y guante en parrilla de ingreso	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
Parada del ventilador, por rotura cable interruptor de mando al ser jalado por cargador frontal en maniobra de retroceso mientras limpiaba cubículo de punto de acopio	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
Parada por sobre corriente del Ventilador	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
Paró horno por alta temperatura del cojinete de llanta	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
Restricción de operación por agente externo ajeno	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
Revisión de catalina del horno por altas diferencias de temperatura	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
Revisión/repación de eslabón del elevador inclinado. (descarga del enfriador)	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
Revisión/repación mecánica soportes del horno. (pads)	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
Revisión/repación soporte posterior del quemador principal del horno	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
Rotura de tubería de presión en cono del ciclón	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
Rotura del anillo de retención de la Llanta del horno.	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
Se para el horno para cambio de módulos maestros-asi del plc del enfriador.	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
Simulacro, terremoto, temblor, etc	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
Temperatura alta en cojinete #04.	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	Recuento	0	1	1

		Año		Total
		2021	2022	
Temperatura alta en rodamiento/calentamiento	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
Temperatura máxima salida de gases en torre	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
Total	Recuento	18	18	36
	% del total	50,0%	50,0%	100,0%

Fuente: Elaboración propia

La tabla 4 muestra que de la lista de descripción de las 36 de incidencias, en el periodo 2021 – 2022 solo se presentaron una vez, no hubo ningún tipo de incidencia que se haya repetido.

En la Tabla se aprecia que el tipo de falla no se repite en las paradas de la línea del horno rotativo; es decir, no hay fallas recurrentes.

Tabla 5
Contingencia de tiempo de fallas hora, tipo de incidencia y fecha de fallas

		Año		Total	
		2021	2022		
Tiempo de fallas hora	,20	Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	,21	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	,31	Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	,34	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	,46	Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	,66	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	,94	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	,97	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	1,53	Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	1,68	Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	1,73	Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	1,86	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	2,28	Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	2,31	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	2,62	Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	2,77	Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%

		Año		Total
		2021	2022	
2,81	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
3,00	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
3,56	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
4,35	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
5,72	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
6,19	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
7,44	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
9,43	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
16,09	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
17,57	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
17,65	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
31,34	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
31,57	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
40,03	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
67,82	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
83,32	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
143,87	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
182,83	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
208,78	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
245,37	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
Total	Recuento	18	18	36
	% del total	50,0%	50,0%	100,0%

Fuente: Elaboración propia

La tabla 5 muestra el tiempo de duración falla en horas de los equipos de la línea de alimentación del horno rotativo, se aprecia que el menor tiempo de fallas de horas en el periodo 2021 fue de 0.20 que corresponde a una falla mecánica en el quemador y el mayor tiempo se presenta por falla en el Operacional que corresponde a las manchas presentes en el horno y el tiempo de falla fue de 245.37. hrs.

En referencia a las fallas en el periodo 2022, se aprecia que el menor tiempo de fallas de horas fue de 0.21 que corresponde falla eléctrica en el

sistema de comunicación válvula rotativa en la alimentación y el mayor tiempo se presenta por falla mecánica por incremento de temperatura en la catalina del horno y el tiempo de falla fue de 208.78 hrs.

5.2 Resultados Inferenciales

Tabla 6

Contingencia de mantenibilidad y fecha de fallas

		Año		Total	
		2021	2022		
MTTR	,20	Recuento	1	0	1
		% del total	5,6%	0,0%	2,8%
	,21	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	5,6%	2,8%
	,31	Recuento	1	0	1
		% del total	5,6%	0,0%	2,8%
	,34	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	5,6%	2,8%
	,46	Recuento	1	0	1
		% del total	5,6%	0,0%	2,8%
	,47	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	5,6%	2,8%
	,66	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	5,6%	2,8%
	,70	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	5,6%	2,8%
	,76	Recuento	1	0	1
		% del total	5,6%	0,0%	2,8%
	,77	Recuento	1	0	1
		% del total	5,6%	0,0%	2,8%
	,93	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	5,6%	2,8%
	,97	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	5,6%	2,8%
	1,68	Recuento	1	0	1
		% del total	5,6%	0,0%	2,8%
	1,73	Recuento	1	0	1
		% del total	5,6%	0,0%	2,8%
	2,06	Recuento	1	0	1
		% del total	5,6%	0,0%	2,8%
	2,18	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	5,6%	2,8%
	2,31	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	5,6%	2,8%
	2,62	Recuento	1	0	1
		% del total	5,6%	0,0%	2,8%
	2,77	Recuento	1	0	1
		% del total	5,6%	0,0%	2,8%
	2,86	Recuento	1	0	1
		% del total	5,6%	0,0%	2,8%
	3,00	Recuento	1	0	1
		% del total	5,6%	0,0%	2,8%
	3,56	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	5,6%	2,8%

		Año		Total
		2021	2022	
3,72	Recuento	1	0	1
	% del total	5,6%	0,0%	2,8%
4,39	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	5,6%	2,8%
4,72	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	5,6%	2,8%
8,83	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	5,6%	2,8%
13,34	Recuento	1	0	1
	% del total	5,6%	0,0%	2,8%
16,09	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	5,6%	2,8%
31,34	Recuento	1	0	1
	% del total	5,6%	0,0%	2,8%
31,57	Recuento	1	0	1
	% del total	5,6%	0,0%	2,8%
41,66	Recuento	1	0	1
	% del total	5,6%	0,0%	2,8%
67,82	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	5,6%	2,8%
71,94	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	5,6%	2,8%
122,69	Recuento	1	0	1
	% del total	5,6%	0,0%	2,8%
182,83	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	5,6%	2,8%
208,78	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	5,6%	2,8%
Total	Recuento	18	18	36
	% del total	100,0%	100,0%	100,0%

Fuente: Elaboración propia

La tabla 6 muestra los valores de mantenibilidad (MTTR) que varían desde 0,20 hasta 208.78, lo que refleja una amplia gama de estabilidad en el periodo 2021 -2022.

Se aprecia que el MTTR para el periodo 2021 es como sigue, el menor valor es de 0.2 producto y el mayor es de 122.69.

Y para el periodo 2022 el menor valor es de 0.21 producto y el mayor es de 208.78.

Esto implica que un mejor comportamiento de la mantenibilidad para el periodo 2021, toda vez que sus valores son menores que en el periodo 2022; es decir, los equipos que están en la línea de producción del horno fueron reparados o puestos en servicio más rápidamente.

Tabla 7

Contingencia de disponibilidad y fecha de fallas

		Fecha de fallas		Total	
		2021	2022		
Disponibilidad	,14	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	5,6%	2,8%
	,25	Recuento	0	2	2
		% del total	0,0%	11,1%	5,6%
	,37	Recuento	1	0	1
		% del total	5,6%	0,0%	2,8%
	2,25	Recuento	1	0	1
		% del total	5,6%	0,0%	2,8%
	2,60	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	5,6%	2,8%
	4,57	Recuento	1	0	1
		% del total	5,6%	0,0%	2,8%
	4,63	Recuento	1	0	1
		% del total	5,6%	0,0%	2,8%
	5,42	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	5,6%	2,8%
	6,08	Recuento	1	0	1
		% del total	5,6%	0,0%	2,8%
	6,47	Recuento	1	0	1
		% del total	5,6%	0,0%	2,8%
	8,82	Recuento	1	0	1
		% del total	5,6%	0,0%	2,8%
	9,17	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	5,6%	2,8%
	10,34	Recuento	1	0	1
		% del total	5,6%	0,0%	2,8%
	20,24	Recuento	1	0	1
		% del total	5,6%	0,0%	2,8%
	21,17	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	5,6%	2,8%
	29,43	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	5,6%	2,8%
	35,64	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	5,6%	2,8%
	43,74	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	5,6%	2,8%
	55,41	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	5,6%	2,8%
	58,53	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	5,6%	2,8%
	58,82	Recuento	1	0	1
		% del total	5,6%	0,0%	2,8%
	60,81	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	5,6%	2,8%
	64,14	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	5,6%	2,8%
	69,22	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	5,6%	2,8%
	70,08	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	5,6%	2,8%
	73,91	Recuento	1	0	1

	% del total	5,6%	0,0%	2,8%
81,19	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	5,6%	2,8%
81,89	Recuento	1	0	1
	% del total	5,6%	0,0%	2,8%
85,34	Recuento	1	0	1
	% del total	5,6%	0,0%	2,8%
88,87	Recuento	1	0	1
	% del total	5,6%	0,0%	2,8%
89,40	Recuento	1	0	1
	% del total	5,6%	0,0%	2,8%
95,76	Recuento	1	0	1
	% del total	5,6%	0,0%	2,8%
99,42	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	5,6%	2,8%
99,61	Recuento	1	0	1
	% del total	5,6%	0,0%	2,8%
99,62	Recuento	1	0	1
	% del total	5,6%	0,0%	2,8%
Total	Recuento	18	18	36
	% del total	100,0%	100,0%	100,0%

Fuente: Elaboración propia

La tabla 7 muestra los valores de disponibilidad de mantenimiento que varían desde 0.14 hasta 99.62, lo que refleja una amplia gama de estabilidad en el periodo 2021 -2022. El menor puntaje se registró en el 2022 y el mayor en el 2021.

Tabla 8

Contingencia de costo de reparaciones por fallas soles y fecha de fallas

		Año		Total	
		2021	2022		
Costo de reparaciones por fallas soles	156,00	Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	163,80	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	241,80	Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	265,20	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	358,80	Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	514,80	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	733,20	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	756,60	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	1193,40	Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	1310,40	Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	1349,40	Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	1450,80	Recuento	0	1	1

	Año		Total	
	2021	2022		
1778,40	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	Recuento	1	0	1
1801,80	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	Recuento	0	1	1
2043,60	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	Recuento	1	0	1
2160,60	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	Recuento	1	0	1
2191,80	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	Recuento	0	1	1
2340,00	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	Recuento	1	0	1
2776,80	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	Recuento	0	1	1
3393,00	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	Recuento	0	1	1
4461,60	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	Recuento	1	0	1
4828,20	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	Recuento	1	0	1
5803,20	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	Recuento	1	0	1
7355,40	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	Recuento	0	1	1
12550,20	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	Recuento	0	1	1
13704,60	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	Recuento	0	1	1
13767,00	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	Recuento	0	1	1
24445,20	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	Recuento	1	0	1
24624,60	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	Recuento	1	0	1
31223,40	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	Recuento	1	0	1
52899,60	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	Recuento	0	1	1
64989,60	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	Recuento	1	0	1
112218,60	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	Recuento	0	1	1
142607,40	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	Recuento	0	1	1
162848,40	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	Recuento	0	1	1
191388,60	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	Recuento	1	0	1
Total	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	Recuento	18	18	36
	% del total	50,0%	50,0%	100,0%

Fuente: Elaboración propia

La tabla 8 muestra los costos de reparaciones que varían desde 156.00 hasta 191388,60, lo que refleja una amplia gama de costos en el periodo 2021 - 2022. El menor costo y el mayor se registraron en el 2021.

Tabla 9

Contingencia de cemento no producida por fallas (toneladas) y fecha de fallas

		Año		Total	
		2021	2022		
Cemento no producido por fallas (Toneladas)	41,67	Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
43,75		Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
64,58		Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
70,83		Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
95,83		Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
137,50		Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
195,83		Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
202,08		Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
318,75		Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
350,00		Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
360,42		Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
387,50		Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
475,00		Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
481,25		Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
545,83		Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
577,08		Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
585,42		Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
625,00		Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
741,67		Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
906,25		Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
1191,67		Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
1289,58		Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
1550,00		Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
1964,58		Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
3352,08		Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
3660,42		Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
3677,08		Recuento	0	1	1

		Año		Total
		2021	2022	
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
6529,17	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
6577,08	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
8339,58	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
14129,17	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
17358,33	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
29972,92	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
38089,58	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
43495,83	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
51118,75	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
Total	Recuento	18	18	36
	% del total	50,0%	50,0%	100,0%

Fuente: Elaboración propia

La tabla 9 muestra el cemento no producido por fallas (Toneladas) que varían desde 41.67 hasta 51118,75, lo que refleja una amplia gama de no producción en el periodo 2021 - 2022. La menor cantidad cemento no producido y la mayor cantidad se registraron en el 2021.

Tabla 10
Contingencia de pérdida económica por fallas soles y fecha de fallas

		Año		Total	
		2021	2022		
pérdida económica por fallas soles	19791,67	Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	20781,25	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	30677,08	Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	33645,83	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	45520,83	Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	65312,50	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	93020,83	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	95989,58	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	151406,25	Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	166250,00	Recuento	1	0	1

		Año		Total
		2021	2022	
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
171197,92	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
184062,50	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
225625,00	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
228593,75	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
259270,83	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
274114,58	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
278072,92	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
296875,00	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
352291,67	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
430468,75	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
566041,67	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
612552,08	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
736250,00	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
933177,08	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
1592239,58	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
1738697,92	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
1746614,58	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
3101354,17	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
3124114,58	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
3961302,08	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
6711354,17	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
8245208,33	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
14237135,42	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
18092552,08	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
20660520,83	Recuento	0	1	1
	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
24281406,25	Recuento	1	0	1
	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
Total	Recuento	18	18	36
	% del total	50,0%	50,0%	100,0%

Fuente: Elaboración propia

La tabla 10 muestra la pérdida económica por fallas que varían desde 19791,67 hasta 24281406,25, lo que refleja una amplia gama de pérdidas en el periodo 2021 - 2022. La menor cantidad pérdidas y la mayor cantidad se registraron en el 2021.

Tabla 11

Contingencia de impacto económico por fallas soles y fecha mensual de fallas

		Año		Total	
		2021	2022		
Impacto económico por fallas soles	19947,67	Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	20945,05	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	30918,88	Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	33911,03	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	45879,63	Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	65827,30	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	93754,03	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	96746,18	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	152599,65	Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	167560,40	Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	172547,32	Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	185513,30	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	227403,40	Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	230395,55	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	261314,43	Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	276275,18	Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	280264,72	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	299215,00	Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	355068,47	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	433861,75	Recuento	0	1	1
		% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	570503,27	Recuento	1	0	1
		% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	617380,28	Recuento	1	0	1

	Año		Total	
	2021	2022		
742053,20	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	Recuento	1	0	1
940532,48	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	Recuento	0	1	1
1604789,78	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	Recuento	0	1	1
1752402,52	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	Recuento	0	1	1
1760381,58	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	Recuento	0	1	1
3125799,37	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	Recuento	1	0	1
3148739,18	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	Recuento	1	0	1
3992525,48	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	Recuento	1	0	1
6764253,77	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	Recuento	0	1	1
8310197,93	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	Recuento	1	0	1
14349354,02	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	Recuento	0	1	1
18235159,48	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	Recuento	0	1	1
20823369,23	% del total	0,0%	2,8%	2,8%
	Recuento	0	1	1
24472794,85	% del total	2,8%	0,0%	2,8%
	Recuento	1	0	1
Total	Recuento	18	18	36
	% del total	50,0%	50,0%	100,0%

Fuente: Elaboración propia

La tabla 11 muestra el impacto económico por fallas que varían desde 19947,67 hasta 24472794,85 en el periodo 2021 - 2022. El mayor impacto económico y el mayor impacto se registraron en el 2021.

5.3 Otro tipo de resultados estadísticos, de acuerdo a la naturaleza del problema y la Hipótesis.

Tabla 12

Consolidados de periodo de tiempo y cantidad de fallas, mantenibilidad, costo de reparaciones, cemento no producido, pérdidas e impacto económico 2021 - 2022

Categorías	Periodo		
	2021	2022	Total

Tiempo de falla horas (anual)	467,56	682,05	1149,61
Cantidad de fallas (anual)	29	30	59
Mantenibilidad (MTTR)	16,12	22,74	19,48
Fiabilidad (MTBF)	285.95	269.27	277.46
Disponibilidad (D)	94.66 %	92.21 %	93.44 %
Costo de reparaciones por fallas soles	364696,80	531999,00	896695,80
Cemento no producido por fallas (toneladas)	97408,33	142093,75	239502,08
Pérdida económica por fallas (soles)	46268958,33	67494531,25	113763489,58
Impacto económico por fallas (soles)	46633655,13	68026530,25	114660185,38

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4, se muestra el tiempo de falla en horas periodos 2021 y 2022:

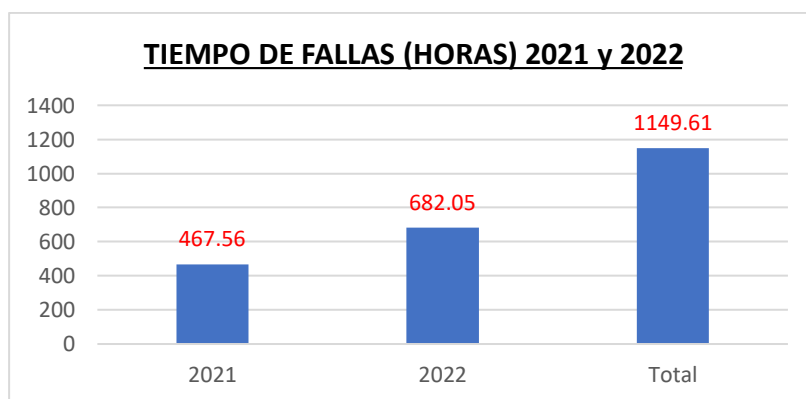


Fig. 4: tiempo de fallas hrs.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 5, se muestra la cantidad de fallas, en total 59 fallas, en los años 2021 y 2022:

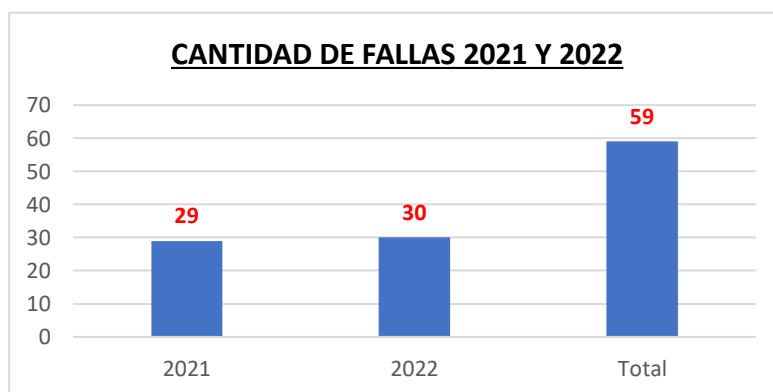


Fig. 5: cantidad de fallas años 2021 y 2022.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 6, se muestra la mantenibilidad (MTTR) en los años 2021 y 2022:

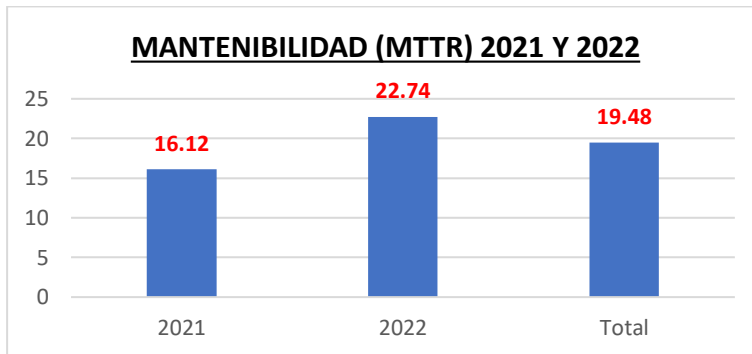


Fig. 6: Mantenibilidad periodos 2021 y 2022.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 7, se muestra el tiempo medio entre fallas (MTBF) en los años 2021 y 2022:

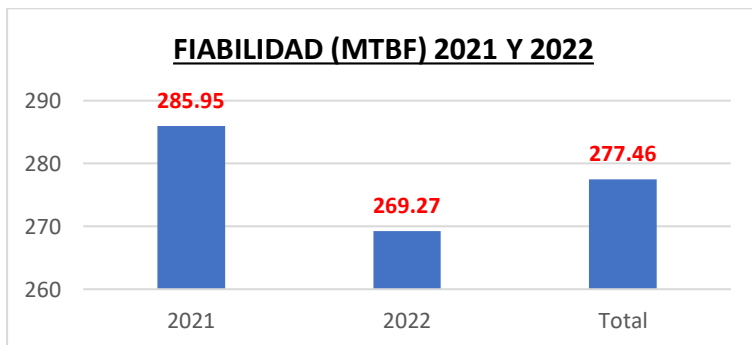


Fig. 7: Tiempo medio entre fallas (MTBF) periodos 2021 y 2022.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 8, se muestra la Disponibilidad en los años 2021 y 2022:

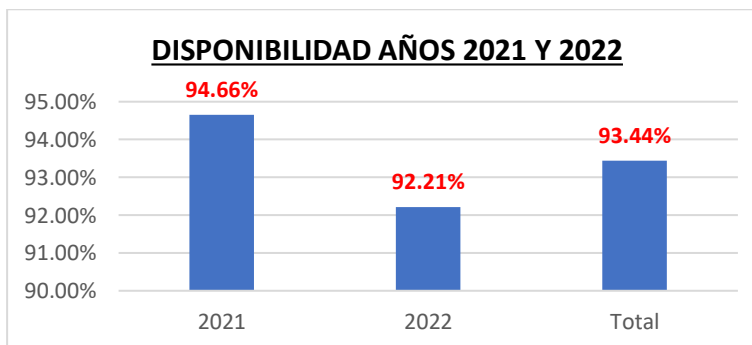


Fig. 8: Disponibilidad periodos 2021 y 2022.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 9, se muestra el costo de reparaciones en los años 2021 y 2022:

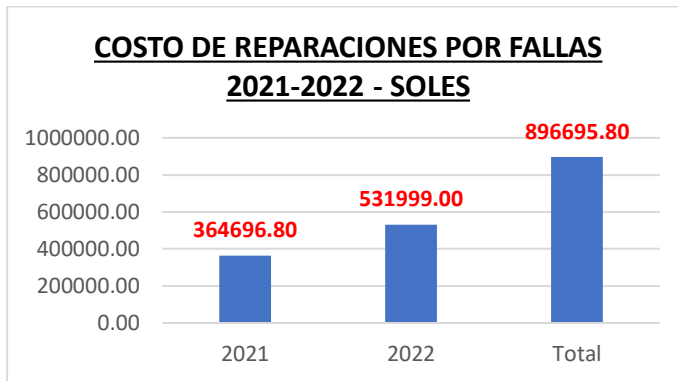


Fig. 9: Costo de reparaciones 2021 y 2022.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 10, se muestra el cemento no producido (Ton.) en los años 2021 y 2022:

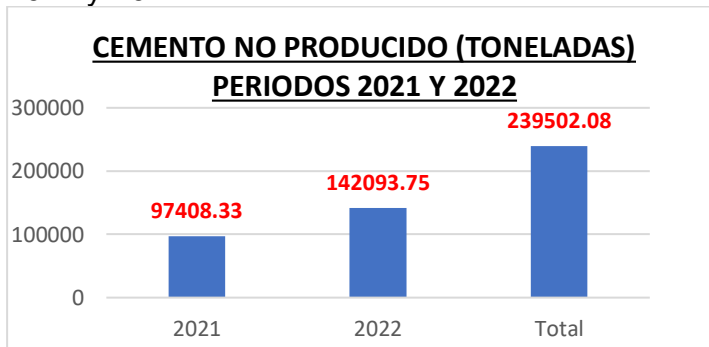


Fig. 10: Cemento no producido 2021 y 2022.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 11, Impacto económico por fallas (soles) en los años 2021 y 2022:

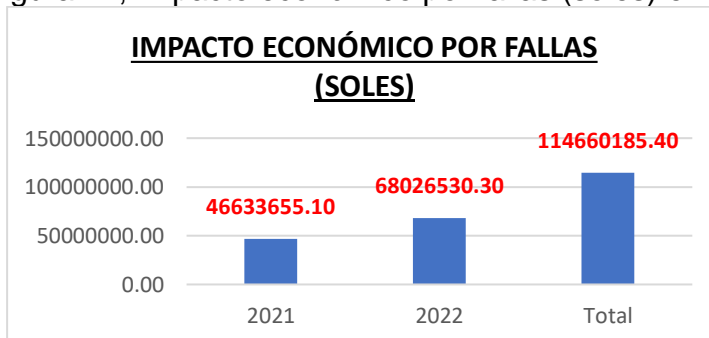


Fig. 11: Impacto económico por fallas periodos 2021 y 2022.

Fuente: Elaboración propia

La tabla 12 consolidada del periodo 2021 - 2022 muestra valores totales del tiempo de fallas (1149,61), cantidad de fallas (59), MTTR (19.48), costo de reparaciones soles (896695,80), cemento no producido ton. (239502,08), pérdidas económicas soles (113763489,58) e impacto económico soles (114660185,38),

Tabla 13

Consolidado de hora y cantidad de fallas según el tipo de incidencia 2021 - 2022

Tipo Incidencia	Horas de falla				Cantidad de fallas				Totales 2021 - 2022			
	2021		2022		2021		2022		Horas de fallas		Cantidad de fallas	
Eléctrica	14,68	3,0%	52,96	8,0%	10	34,0%	17	57,0%	67,64	6,0%	27	46,0%
Mecánica	50,75	11,0%	361,04	53,0%	8	28,0%	8	27,0%	411,79	36,0%	16	27,0%
Operacional	402,13	86,0%	268,05	39,0%	11	38,0%	5	17,0%	670,18	58,0%	16	27,0%
Total	467,56	100,0%	682,05	100,0%	29	100,0%	30	100,0%	1149,61	100,0%	59	100,0%

Fuente: Elaboración propia

La tabla 13 consolidada del periodo 2021 - 2022 muestra que las horas de fallas eléctricas acumularon un total de 67,64 (6,0%), las mecánicas 411,79 (36,6%) y las operacionales 670.18 (58,0%). Por otra parte, en lo que respecta a cantidad de fallas, las eléctricas acumularon un total de 27 (46,0%), las mecánicas 16 (27,0%) y las operacionales 16 (27,0%).

En la figura 12, se muestra las horas totales de fallas (1149.61 hrs.), se aprecia las horas totales de fallas en la parte eléctrica (67.64), mecánica (411.79) y operacional (670.58) para los periodos 2021 y 2022.

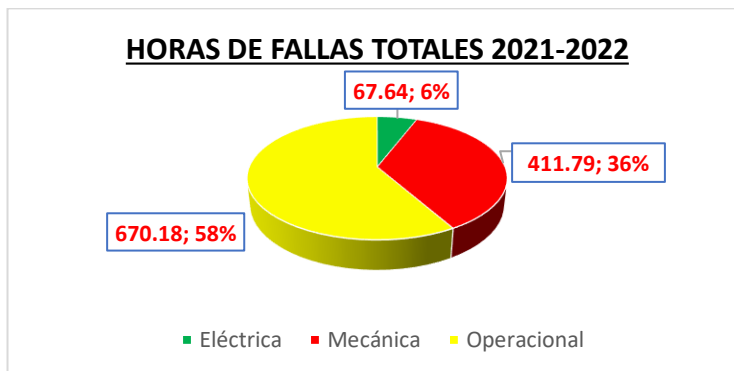


Fig. 12: Horas totales por fallas periodos 2021 y 2022.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 13, se muestra la cantidad total de fallas (59 fallas) periodos 2021 y 2022, tanto en la parte eléctrica (16), como en mecánica (16) y operacional (27).

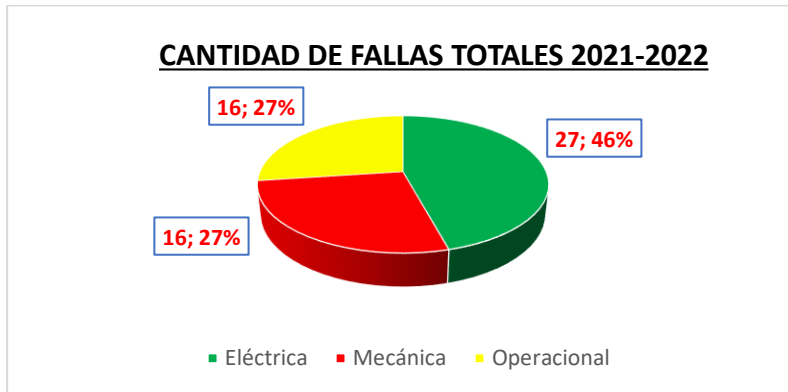


Fig. 13: Cantidad total por fallas periodos 2021 y 2022.

Fuente: Elaboración propia.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados.

Para la presente investigación, se desarrollaron las hipótesis, considerando como centro la hipótesis general.

6.1.1 Contrastación de Hipótesis general

H₀ Las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales en equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento no influyen en la confiabilidad del mantenimiento y en la situación económica durante los períodos 2021-2022

H₁ Las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales en equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento influyen en la confiabilidad del mantenimiento y en la situación económica durante los períodos 2021-2022.

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Disponibilidad	,866	36	,000
Mantenibilidad	,525	36	,000
Impacto económico por fallas soles	,562	36	,000

Para analizar la distribución de los datos se realizó la prueba de Shapiro-Wilk debido a que la cantidad de datos (36), que es menor a 50. Las variables presentan una distribución no normal. Por lo tanto, corresponde utilizar una prueba no paramétrica, en este caso prueba de Friedman que correlaciona las variables materia del presente estudio.

N	36
Chi-cuadrado	79,033
gl	3
Sig. asintótica	,000

a. Prueba de Friedman

El p-valor de 0.000 indica que los resultados son estadísticamente significativos ($p < 0.05$). Esto demuestra que la hipótesis nula se rechaza. Por lo tanto, la hipótesis alterna es asumida, lo que indica que las fallas mecánicas y operacionales en equipos de la línea del horno rotativo influyen significativamente en la confiabilidad del mantenimiento y la situación económica durante los periodos 2021-2022.

6.1.2 Contrastación Hipótesis específica 1

H₀ Las fallas mecánicas no son las más comunes, seguidas por las eléctricas y operacionales en los equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento durante los periodos 2021-2022.

H₁ Las fallas mecánicas son las más comunes, seguidas por las eléctricas y operacionales en los equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento durante los periodos 2021-2022.

En la tabla 1, el análisis descriptivo demuestra que las fallas más comunes son las operacionales con un 36.1%, seguidas de las eléctricas con un 33.3% y las mecánicas con un 30.6%. Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa. Las fallas mecánicas no fueron las más comunes, seguidas por las eléctricas y operacionales en los equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento durante los periodos 2021-2022. Sin embargo, hay que recalcar que en el año 2021 las fallas más comunes fueron las operacionales (44.4%) y en el 2022 fueron las eléctricas (38.9%).

6.1.3 Hipótesis específica 2

H₀ La confiabilidad del mantenimiento en los equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento no se caracteriza por una alta tasa de horas de fallas lo que denota que las prácticas no son insuficientes para garantizar un funcionamiento óptimo durante los periodos 2021-2022.

H₁ La confiabilidad del mantenimiento en los equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento se caracteriza por una alta tasa de horas de fallas lo que denota que las prácticas son insuficientes para garantizar un funcionamiento óptimo durante los periodos 2021-2022.

De la tabla 2, el análisis descriptivo demuestra que mayor cantidad de horas de fallas son operacionales (670.18), seguida de las mecánicas (411.79) y eléctricas (67.64) haciendo un total de 1149.61 de horas fallas en el periodo 2021 – 2022. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. La confiabilidad del mantenimiento en los equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento se caracteriza por una alta tasa de horas de fallas lo que indica que las prácticas son insuficientes para garantizar un funcionamiento óptimo durante los periodos 2021-2022. Sin embargo, hay que recalcar que en el año 2021 las fallas que presentaron mayor cantidad de horas fueron las operacionales (402.13) y en el 2022 fueron las mecánicas (361.04)

6.1.4 Contrastación de la Hipótesis específica 3

H₀ Las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales en equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento no tienen impacto significativo en mantenibilidad durante los periodos 2021-2022.

H₁ Las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales en equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento tienen impacto significativo en la mantenibilidad durante los periodos 2021-2022

Pruebas de normalidad

Impacto de Mantenibilidad por fallas	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
	,525	36	,000

Para analizar la distribución de los datos se realizó la prueba de Shapiro-Wilk debido a que la cantidad de datos es menor a 50. La variable presenta una distribución no normal. Por lo tanto, se trabajará con la prueba de Friedman

Estadísticos de prueba^a

N	36
Chi-cuadrado	1,000
gl	1
Sig. asintótica	,317

a. Prueba de Friedman

El p-valor de $0.317 > 0.05$, demuestra la aceptación de la hipótesis nula y el rechazo de la hipótesis alternativa. Por lo tanto, las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales en equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento no tienen impacto significativo en la mantenibilidad durante los períodos 2021-2022. En los periodos analizados la mantenibilidad (MTTR) toma valores pequeños, por lo que infiere que el equipo de mantenimiento eléctrico, mecánico y operacional rápidamente recuperaron la operatividad del horno, en la tabla 6 se observa que en el año 2021 el MTTR tiene un valor máximo de 182,93 hrs, esto significa que la línea de producción del horno fue puesto en operación luego de 5 días de estar parado ($122.69 \text{ hrs}/24 \text{ hrs-día}$) y en el año 2022 el MTTR tiene un valor máximo de 208.78 hrs, esto significa que la línea de producción del horno fue puesto en operación luego de 8.7 días de estar parado ($208 \text{ hrs}/24 \text{ hrs-día}$).

6.1.5 Contrastación de hipótesis específica 4

H₀ Las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales en equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento no tienen impacto significativo en disponibilidad de mantenimiento durante los períodos 2021-2022.

H₁ Las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales en equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento tienen impacto significativo en la disponibilidad de mantenimiento durante los períodos 2021-2022.

Pruebas de normalidad

Impacto de disponibilidad por falla	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
	,866	36	,000

Para analizar la distribución de los datos se realizó la prueba de Shapiro-Wilk debido a que la cantidad de datos es menor a 50. La variable presenta una distribución no normal. Por lo tanto, se trabajará con la prueba de Friedman.

N	36
Chi-cuadrado	21,778
gl	1
Sig. asintótica	,000

a. Prueba de Friedman

El p-valor de 0.00 ($0.00 < 0.05$) demuestra el rechazo de la hipótesis nula y la aceptación de la hipótesis alternativa. Por lo tanto, las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales en equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento tienen impacto significativo en la disponibilidad de mantenimiento durante los períodos 2021-2022. En síntesis, la disponibilidad es un indicador que determina si las máquinas podrán operar sin inconvenientes en un período determinado, en consecuencia, a mayores horas de fallas la disponibilidad se ve afectada y a menor cantidad de fallas la disponibilidad se incrementa, como resultado de dicho incremento mejora la confiabilidad de los equipos.

6.1.6 Contrastación de hipótesis específica 5

H₀ Las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales en equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento no tienen impacto significativo en la situación económica durante los períodos 2021-2022.

H₁ Las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales en equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento tienen impacto significativo en la situación económica durante los períodos 2021-2022.

Pruebas de normalidad

Impacto económico por fallas soles	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
	,562	36	,000

Para analizar la distribución de los datos se realizó la prueba de Shapiro-Wilk debido a que la cantidad de datos es menor a 50. La variable presenta una distribución no normal. Por lo tanto, se trabajará con la prueba de Friedman

N	36
Chi-cuadrado	36,000
gl	1
Sig. asintótica	,000

a. Prueba de Friedman

El p-valor de 0.00 ($0.00 < 0.05$) demuestra el rechazo de la hipótesis nula y la aceptación de la hipótesis alternativa. Por lo tanto, las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales en equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento tienen impacto significativo en la situación económica durante los períodos 2021-2022, en la tabla 12 se muestra el cemento no producido por dichas fallas que equivale a 97408,33 toneladas en el año 2021 y a 142093,75 toneladas en el año 2022; es decir en el año 2022 se generó mayor impacto económico, si consideramos que cada tonelada está considerado en el mercado a 125.00 \$/ton según ASOCEM [10, p. 3], haciendo una multiplicación a cada pérdida de producción podemos ver las ingentes cantidades de dinero que se pierde por estas causas.

6.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares.

La hipótesis general de esta investigación se apoya en un p-valor de 0.000, lo que indica que los resultados son estadísticamente significativos ($p < 0.05$). Esto sugiere que las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales en los equipos de la línea del horno rotativo tienen un impacto directo en la confiabilidad del mantenimiento y en la situación económica de la empresa durante los períodos 2021-2022.

Los cálculos realizados confirman que estas fallas afectan negativamente tanto la confiabilidad del mantenimiento como el rendimiento económico de la empresa. Según se muestra en la tabla 12, el cemento no producido a causa de dichas fallas alcanzó las 97408,33 toneladas en 2021 y 142093,75 toneladas en 2022. Este aumento en el año 2022 representa un impacto económico mayor, considerando que el costo por tonelada de

cemento es de 125 \$; esto evidencia que las fallas en los equipos de la línea de producción del horno rotativo ocasionan pérdidas significativas a la empresa aproximadamente de 625,000 \$/día.

Los equipos presentes en la línea de producción del horno rotativo pueden ser visto como una máquina de múltiples etapas, ya que cualquier avería en uno de sus componentes interrumpe inmediatamente la producción, motivo por el cual cualquier avería impacta negativamente en la confiabilidad. Para mitigar estas interrupciones, es fundamental implementar un programa de mantenimiento que prevenga paradas no planificadas, en el mismo sentido Álvarez (2012) [13] señala que en máquinas multietapa, las operaciones están interconectadas, lo cual resalta la necesidad de que cada etapa funcione adecuadamente para asegurar el correcto funcionamiento de las siguientes. La adopción del mantenimiento predictivo resulta clave para identificar las causas subyacentes de los fallos en los componentes, facilitando así el establecimiento de una estrategia de mantenimiento preventivo y la detección temprana de posibles defectos de diseño en los equipos y concluye que las fallas en los equipos ocasionan tiempos de inoperatividad altos, en consecuencia, la confiabilidad de la máquina estudiada decrece.

Por otro lado, Sierra (2018) [21] en su investigación, determino que las pérdidas económicas en la industria cerámica de 112000 \$/día ocasionado por el paro de sus equipos, y concluye que, la empresa debe tener una bitácora de mantenimiento en el que se debe registrar la información diaria de las órdenes de trabajo de mantenimiento, así como los hechos sobresalientes relacionados con la preservación y conservación de la maquinaria e instalaciones. A su vez, los registros de la bitácora deben ser analizados, jerarquizados y clasificados considerando los tiempos de paro que ocasiona cada falla. De esta manera se podrán atender con prontitud las fallas que causen mayor impacto económico en las líneas de producción a consecuencia de tiempos improductivos.

De acuerdo con la hipótesis específica 1, que indica que las fallas mecánicas fueron las más comunes en los equipos de la línea del horno rotativo de producción de cemento durante los años 2021-2022, seguidas por las fallas eléctricas y operacionales, se ha evaluado la recopilación de datos. Esta evaluación revela que las fallas operacionales son, en realidad, las más frecuentes en la operación de dicha línea de producción. Estas fallas pueden surgir por una operación inadecuada de los equipos, a menudo atribuida a la falta de capacitación del personal o a la incapacidad para detectar oportunamente los problemas en las máquinas.

Entre los factores que contribuyen a este fenómeno se destacan los errores humanos y la falta de una planificación adecuada, por tanto, la empresa debe implementar capacitación en temas mantenimiento y operacionales, en este sentido.

Por lo tanto, al detectar fallas recurrentes, el equipo de mantenimiento debe llevar a cabo una evaluación exhaustiva e incorporar rutinas necesarias en su programa para prevenir paros no planificados. Por su parte, Aguirre (2015) [23] enfatiza la importancia del compromiso gerencial con el personal técnico del área de mantenimiento para estimular y mejorar el nivel de capacitación y especialización en mantenimiento preventivo. En consonancia con esta afirmación, los directivos de la planta cementera deberían priorizar la capacitación del personal, lo cual podría traducirse en una significativa reducción en las horas de inactividad de los equipos.

Por otro lado, Ninatanta (2022) [25] en su investigación realizada en la empresa Molino San Francisco S.A.C., logró identificar las principales causas que originan la baja confiabilidad en las máquinas, entre ellas estaban la falta de compromiso por parte de la mano de obra, la ausencia de capacitaciones, con un 73.35%, falta de indicadores para el mantenimiento de las máquinas de producción con un 67.14%, la falta de una supervisión para el personal con un 55.43%, las constantes paradas con una participación del 43.18% y la mala programación de mantenimiento con un 22.12%.

En base a la hipótesis específica 2, que subraya que la confiabilidad del mantenimiento en los equipos de la línea del horno rotativo utilizado para la producción de cemento está marcada por una alta tasa de horas de fallas, se evidencia que las prácticas de mantenimiento asegurar un funcionamiento óptimo de la línea de producción del horno rotativo ya que durante los períodos de 2021 a 2022 las horas totales de parada en ambos periodos fue de 1149.61 hrs. La investigación y evaluación de los datos revelan que en 2021 se registraron un total de 467.56 horas de parada, cifra que aumentó a 682.05 horas en 2022. Este incremento en las fallas de los equipos impacta negativamente en la confiabilidad del mantenimiento, ya que un mayor tiempo de inactividad reduce la efectividad operativa del horno. Por otro lado, los resultados Alavedra (2016) [26], determino, que el MTBF para el 2010 fue de 119 horas, para el 2011 de 108.5 horas, para el 2012 de 86.2 horas y para el 2013 de 52.15 horas, dicha tendencia evidencia que la empresa tendrá que parar la producción para poder hacer el mantenimiento correctivo; así mismo, Sánchez (2021) [14] concluye que el resultado inmediato de implementar este método dinámico para determinar el periodo entre mediciones es el incremento observado en la disponibilidad de las máquinas, En este contexto, es importante destacar que más del 60% de los equipos analizados presentaban, en mayor o menor medida, algún tipo de problema resonante relacionado directamente con su funcionamiento habitual, lo que explicaba los fallos inesperados que ocurrían con frecuencia en estos equipos.

La hipótesis específica 3, se establece que las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales en los equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento tienen un impacto significativo en la mantenibilidad del mantenimiento durante los períodos 2021-2022. Sin embargo, los resultados de la investigación determinan que estas fallas no afectan de manera significativa la mantenibilidad en dichos períodos. Aunque se registraron fallas en los equipos durante 2021 y 2022, los datos reflejados en la Tabla 12 muestran que el tiempo medio de reparación (MTTR) fue de 16.12 horas en 2021 y aumentó a 22.74 horas en 2022, estas horas representan el tiempo que los equipos de la línea de producción del horno rotativo dejan de producir

y a su vez el equipo de mantenimiento pone operativo al horno para continuar con su producción, en esa dirección, Fernández (2015) [20] en su investigación, determino que el indicador Tiempo Medio Para la Reparación (MTTR) ascendió en 1,29 y 3,89 horas/falla en los años 2010 y 2011, respectivamente, al compararse con el año 2009. Este alcanzó valores medios anuales de $13,95 \pm 0,59$; $15,24 \pm 1,07$, y $17,84 \pm 0,77$ h/falla durante los años 2009, 2010 y 2011, respectivamente, lo que implica que poner operativo la maquina toma un tiempo de 15.67 hrs en promedio.

Alavedra (2016) [26] determino que, El MTBF del año 2011 tuvo una caída con respecto al año anterior, aproximadamente de 9,68 %, con una varianza de 11,59 horas. Se aprecia que el MTBF del 2012, en comparación con el del año 2011, toleró una caída de 20,20 %, con una varianza de 21,83 horas. Asimismo, el MTBF del 2013 con respecto al del año 2012 sufrió una caída del 39,51 %, con una varianza de 34,07 horas. Por lo tanto, la línea de tendencia expresa una caída en el tiempo si se continúa con el proceso. Se pudo observar que en el MTTR también existe una tendencia en ascenso, es decir, que los tiempos de las reparaciones se están haciendo cada vez más crecientes. Por ende, se concluye que los problemas se vienen agravando día a día, lo que implica que la confiabilidad no es buena para el cliente, por otro lado, Barberá (2014) [18] planteo un método analítico que permite medir el grado de mantenibilidad de equipos industriales a través del desarrollo de indicadores de mantenibilidad basados en atributos específicos. Este análisis de mantenibilidad puede ser muy útil para comparar o seleccionar un sistema sobre otro, optimizar el diseño de un dispositivo conforme a las exigencias de un programa de mantenibilidad, mejorar el soporte técnico de un dispositivo en un entorno industrial particular, o anticipar problemas de mantenibilidad ante posibles cambios.

Con base a **la hipótesis específica 4** se base en un p-valor de 0.000, lo que indica que los resultados son estadísticamente significativos ($p < 0.05$) establece que, las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales en los equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento tienen un impacto significativo en la disponibilidad del mantenimiento durante los períodos

2021-2022. Tras realizar la prueba de hipótesis, se determinó que efectivamente estas fallas afectan la disponibilidad de mantenimiento. Esto implica que un mayor número de fallas disminuye la disponibilidad, mientras que una menor cantidad de fallas la incrementa, situación que se observa en ambos períodos analizados. De acuerdo con los datos presentados en la Tabla 13, la disponibilidad fue del 94.66% en 2021 y del 92.21% en 2022. En el año 2021, las fallas acumuladas fueron de 467.56 horas, mientras que en 2022 ascendieron a 682.05 horas. Esta tendencia refleja una disminución en la disponibilidad, lo que confirma que un aumento en las fallas se traduce en una reducción de la disponibilidad. Ronceros (2023) [16], en su investigación, destaca que para realizar comparaciones se consideró la disponibilidad total de la planta de compresión y la disponibilidad de cada unidad motocompresora durante ese período. Para los meses de mayo y junio, se registró una disponibilidad real del 96.02% y del 94.16%, respectivamente, lo cual sitúa el comportamiento entre escenarios optimistas y moderados.

Finalmente, **de acuerdo con la hipótesis específica 5**, con un p-valor de 0.000, lo que indica que los resultados son estadísticamente significativos ($p < 0.05$), en consecuencia, las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales en los equipos de la línea del horno rotativo para la producción de cemento tienen un impacto significativo en la situación económica durante los períodos 2021-2022. La evaluación de esta hipótesis revela que un mayor número de horas de falla se traduce en un impacto negativo más considerable en la economía de la empresa, generando pérdidas financieras. Por lo tanto, es fundamental que los programas de mantenimiento de la organización aseguren la operatividad continua de los equipos en la línea de producción del horno rotativo. Por otro lado, Sotomayor (2022) [24] en su investigación determinó que, con la prueba de Spearman el p-valor es < 0.05 , afirma que existe relación muy alta o muy fuerte, inversa y significativa entre la eficacia de los procesos y la efectividad en los servicios realizados en las empresas de mantenimiento, en consecuencia, un mal mantenimiento afecta directamente a la producción. Asimismo, Arroyo Vaca, C. S., & Obando Quito, R. F., (2022) [19], en su investigación determinó, que el mantenimiento

preventivo mejora la productividad hasta en 25%, reduce 30% los costos de mantenimiento y alarga la vida de la maquinaria y equipo hasta en un 50 por ciento. Lo que permite concluir que la aplicación del mantenimiento preventivo disminuye los costos de mantenimiento, minimiza el reproceso, productos defectuosos y las pérdidas económicas derivadas, lo cual incrementará los indicadores de producción, los económicos y optimiza los procesos. Por otro lado Alavedra (2016) [26] en su investigación indica que la disponibilidad tiene un descenso durante el tiempo de evaluación (dic 12: 91.1 %, ene 13: 90.30 %, feb 13: 84.6 %, mar: 89.5 %, abr 13: 88.2 %, mar 13: 88.2 %, lo que indica que los mantenimientos preventivos no se están realizando de forma correcta y adecuada. Esto afecta la producción de extracción del material estéril (sin valor económico) que permite extraer, a su vez, el mineral útil que necesita el cliente. Por lo tanto, aumentan los costos y se generan pérdidas en la operación, por otro lado, Zamudio (2023) [32] menciona que los fallos imprevistos en motores eléctricos pueden provocar paradas repentinas en el proceso de producción en el que están involucrados, lo que puede generar altos costos económicos, incluyendo gastos de reparación o reemplazo, así como pérdidas debido a la interrupción de la producción. Finalmente podemos mencionar que, una parada del horno rotativo paraliza el 100 % de la producción de cemento, lo que impacta directamente en la economía empresarial, motivo por el cual, es imperativo enfocar esfuerzos en mejorar los planes de mantenimiento y operacionales.

6.3 Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes

La presente investigación titulado “FALLAS ELÉCTRICAS, MECÁNICAS Y OPERACIONALES EN EQUIPOS DE LA LÍNEA DEL HORNO ROTATIVO QUE PRODUCE CEMENTO PARA DETERMINAR SU IMPACTO EN LA CONFIABILIDAD DEL MANTENIMIENTO Y EN LA SITUACIÓN ECONÓMICA (2021-2022)”, El autor respeta el derecho de autor, las citas según la norma IEEE y asume la responsabilidad por el contenido presentado, en cumplimiento de las normas establecidas por la Universidad Nacional del Callao.

VII. CONCLUSIONES

Primera: El análisis de los datos reveló que las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales en los equipos de la línea del horno rotativo para la producción de cemento tienen un impacto significativo en la confiabilidad del mantenimiento y en la situación económica durante los períodos 2021-2022, con un nivel de significancia estadística de ($\text{sig.} = 0.00$). Estos resultados contundentes validan la influencia positiva de la variable independiente sobre las variables dependientes. Por lo tanto, es fundamental implementar estrategias de mejora en el mantenimiento que aborden estas fallas, optimizando así la operación y contribuyendo a una mayor estabilidad económica de la Empresa.

Segunda: Se determinó que las fallas más comunes en los equipos de la línea del horno rotativo para la producción de cemento durante los períodos 2021-2022 son las operacionales, con un 36.1%, seguidas de las eléctricas con un 33.3% y las mecánicas con un 30.6%. Es importante destacar que, en 2021, las fallas predominantes fueron las operacionales, alcanzando un 44.4%, mientras que, en 2022, las eléctricas se convirtieron en las más frecuentes, con un 38.9%. A la luz de estos resultados, la empresa debe centrar sus esfuerzos en mejorar sus políticas operativas para prevenir paros en los equipos y garantizar una operación más eficiente.

Tercera: La data analizada, revela que la mayor cantidad de horas de fallas corresponde a las operacionales, con un total de 670.18 horas, seguidas por las mecánicas con 411.79 horas y las eléctricas con 67.64 horas, alcanzando un total de 1149.61 horas de fallas en el período 2021-2022. En consecuencia, la empresa debería implementar métodos para identificar las fallas operacionales recurrentes y, en función de esos hallazgos, realizar las mejoras necesarias en la operación. Además, los datos evaluados indican que en 2021 se registraron un total de 467,56 horas de fallas, mientras que en 2022 este número aumentó a 682,05 horas. Al observar estos valores, se puede concluir que el desempeño de la línea de producción del horno rotativo

fue superior en 2021 en comparación con 2022, dado que en dicho periodo la línea de producción del horno rotativo tiene menos paros.

Cuarto: El análisis de los datos reveló que las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales en los equipos de la línea del horno rotativo para la producción de cemento no tienen un impacto significativo en la mantenibilidad, con un nivel de significancia estadística de ($\text{sig.} = 0.317 > 0.05$). Los resultados indican que el Tiempo Medio de Reparación (MTTR) fue de 16.12 horas y el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) alcanzó las 285.95 horas en 2021. Sin embargo, en 2022, el MTTR aumentó a 22.74 horas y el MTBF disminuyó a 269.27 horas. Al calcular la relación MTTR/MTBF, se observa que en 2021 fue de $(16.12/285.95 = 0.05$, equivalente al 5%) y en 2022 fue de $(22.74/269.27 = 0.08$, equivalente al 8%). En ambos casos, esta relación se mantiene por debajo del 10%, lo que determina que las fallas no afectan a la mantenibilidad.

Quinto: El análisis de los datos ha puesto de manifiesto que las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales en los equipos de la línea del horno rotativo para la producción de cemento tienen un impacto significativo en la disponibilidad del mantenimiento, con un nivel de significancia estadística de ($\text{sig.} = 0.00 < 0.05$). En 2021, las horas acumuladas de fallas fueron de 467.56, mientras que en 2022 este número se incrementó a 682.05 horas. Este aumento en las fallas indica una notable disminución en la disponibilidad; así, se observa que la disponibilidad en 2021 fue del 94.66 %, mientras que en 2022 descendió al 92.21 %. Por lo tanto, el incremento en las horas de fallas afecta directamente no solo la disponibilidad de la línea de producción de cemento, sino también la confiabilidad del mantenimiento.

Sexto: El análisis de los datos reveló que las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales en los equipos de la línea del horno rotativo para la producción de cemento han tenido un impacto significativo en la situación económica de la empresa durante los periodos 2021-2022, ocasionando un perjuicio económico notable, con un nivel de significancia estadística de ($\text{sig.} = 0.00 < 0.05$), las fallas han resultado en pérdidas económicas considerables.

Según los datos evaluados, el cemento no producido debido a estas fallas alcanzó las 43,495.83 toneladas en 2021 y 51,118.75 toneladas en 2022. Al considerar un costo de 125 \$ por tonelada, las pérdidas económicas se vuelven alarmantes.

VIII. RECOMENDACIONES

Primera: Se recomienda a las Superintendencias de Mantenimiento y de Operaciones, implementar estrategias de mejora en el mantenimiento que aborden estas fallas, para optimizar la operación y asegurar la estabilidad económica de la empresa.

Segunda: Se recomienda a la Superintendencia de Operaciones centrar sus esfuerzos en mejorar sus políticas operativas para prevenir paros en los equipos y garantizar una operación más eficiente, también identificar cuellos de botella o ineficiencias que puedan estar contribuyendo a las fallas. Esto puede incluir desde el flujo de trabajo hasta el uso de equipos.

Tercera: Se recomienda a las Superintendencias de Mantenimiento y Operaciones, implementar RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad) para mejorar las estrategias de mantenimiento que aborden la criticidad de los equipos, analizando las fallas recurrentes y evaluar la efectividad de sus programas de mantenimiento.

Cuarto: Se recomienda a la Superintendencia de Mantenimiento, Implementar un sistema de análisis de datos, para detectar patrones y problemas, permitiendo tomar decisiones informadas sobre las mejoras necesarias. Además, fomentar una cultura de retroalimentación y comunicación abierta puede facilitar que los empleados compartan sus observaciones sobre las operaciones diarias.

Quinto: La Superintendencia de Mantenimiento, debe implementar el Mantenimiento Predictivo o el Análisis de Causa Raíz (RCA), para identificar y resolver problemas antes de que se conviertan en fallas significativas. Debería implementar un proceso sistemático para identificar las causas subyacentes de las fallas, esto no solo ayudará a resolver problemas actuales, sino que también proporcionará información valiosa para prevenir futuros incidentes.

Sexto: Se recomienda a la Superintendencias de Mantenimiento y de Operaciones a realizar un análisis detallado del costo total asociado con las

fallas y desarrollar estrategias para minimizar su ocurrencia. Esto podría incluir mejoras en los programas de mantenimiento, capacitación para el personal y la implementación de tecnologías avanzadas para monitorear el estado del equipo.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] E. Fernández Álvarez, *Gestión de Mantenimiento: Lean Maintenance y TPM*, Oviedo - España: Tesis, 2018.
- [2] B. Martinez Reyna, «Optimización en la reparación y mantenimiento de hornos de fabricación de cemento.» Universidad San Pablo-CEU, 2023. [En línea]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=327325>. [Último acceso: 22 Agosto 2024].
- [3] J. M. Salavert Fernández y R. D. Ramos Ciprián, *Reducción de costes de mantenimiento mediante análisis de fiabilidad en activos del sector azucarero*, República Dominicana: 24th International Congress on Project Management and Engineering, 2020.
- [4] M. Gardella González, *Mejora de Metodología RCM a partir de la implantación de mantenimiento Preventivo y Predictivo en Plantas de proceso*, España, 2010.
- [5] C. Alavedra Flores, Y. Gastelu Pinedo y G. Mendez Orellana, *Gestión de Mantenimiento Preventivo y su relación con la Disponibilidad de la Flota de Camiones 730e Komatsu*, Lima: Universidad de Lima, 2013.
- [6] E. P. Galarza Curisinche, *Implementación de un Programa de Mantenimiento Preventivo en la línea de producción de moldes de panetón para el incremento de la productividad en la Empresa Multimoldes SAC*, Lima, 2018.
- [7] H. Ñaupas Paitán, M. R. Valdivia Dueñas, J. J. Palacios Vilela y H. E. Romero Delgado, *Metodología de la Investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis*, Colombia: Ediciones de la U, 2018.
- [8] J. Heijs, *Justificación de la Política de Innovación desde un enfoque teórico y metodológico*, España: Instituto de Análisis Industrial y Financiero - Universidad Complutense de Madrid, 2001.
- [9] L. Blank y A. Tarquin, *Ingeniería Económica*, México : McGrawHill Companies, 2002.
- [10] ASOCEM - Asociación de productores de Cemento , *Reporte estadístico mensual*, Lima: ASOCEM, Julio 2024.
- [11] L. Garcia Faroldi, *La utilización de fuentes de datos secundarios*, España: University of Málaga, 2018.

- [12] R. Hernández Sampieri, *Metodología de la Investigación*, México: McGrawHill - McGraw-Hill / Interamericana Editores S.A., 2014.
- [13] F. J. ÁLVAREZ GARCÍA, *Estudio, análisis y desarrollo de estrategias de mantenimiento en maquinaria y sistemas industriales. evaluación de riesgos, fiabilidad, disponibilidad*, España: Tesis Doctoral - Universidad de Extremadura, 2022.
- [14] J. Sánchez Robles, *Mejora del plan de mantenimiento predictivo de equipos dinámicos en Plantas de Síntesis Química, adaptado a la Industria 4.0 y basado en valoración multiparamétrica de la condición funcional*, España: Tesis Doctoral - Universidad de Murcia, 2021.
- [15] J. Suardiáz Gargallo, *Planificación operativa del mantenimiento de material rodante ferroviario de alta velocidad*, España: Tesis Doctoral - Universidad de la Rioja, 2019.
- [16] C. Ronceros y R. Pomblas, «Modelo de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad Operacional para una Planta Compresora de Gas,» *Revista Politécnica*, vol. 51, nº 1, pp. 117-129, 2023.
- [17] M. Gasca, L. Camargo y B. Medina , «Sistema para Evaluar la Confiabilidad de Equipos Críticos en el Sector Industrial,» *Información Tecnológica*, vol. 28, nº 4, pp. 111-124, 2017.
- [18] L. Barberá Martínez, *Técnicas y métodos avanzados para la toma de decisiones en la gestión de activos y mantenimiento.*, España: Universidad de Sevilla, 2014.
- [19] C. S. Arroyo Vaca y R. F. Obando Quito, «Importancia de la implementación de mantenimiento preventivo en las plantas de producción para optimizar procesos.,» *Journal of Engineering Science*, vol. 4, nº 10, pp. 59-69, 2022.
- [20] M. Fernández Sánchez, «Cálculo de indicadores de mantenimiento de los tractores Belarus-892,» *Revista La Técnica*, vol. 1, nº 15, pp. 38-45, 2015.
- [21] J. Sierra Acosta, F. García Mora y L. B. Bañuelos Romo, «Mantenimiento para bienes de capital,» *Ciencia*, vol. 69, nº 2, pp. 56-63, 2018.
- [22] F. D. Siles Nates, *Evaluación de factores del entorno en Ingeniería del mantenimiento de Activos Físicos, propuesta de modelo estratégico*, Arequipa: Tesis Doctoral - Universidad Católica de Santa María, 2019.
- [23] R. C. Aguirre Parra, *Gestión del Mantenimiento mediante six sigma para la optimización de la productividad de las maquinarias y equipos diversos de la Empresa REMAP S.A.C - Lima*, Lima: Tesis Doctoral-Universidad Nacional del Centro del Perú-Huancayo, 2015.

- [24] C. R. Sotomayor Sancho Dávila, *Modelo de indicadores de eficacia en los procesos técnicos de gestión del Mantenimiento de Equipos Pesados*, Lima: Tesis Doctoral- Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2022.
- [25] Y. J. Ninatanta Medina y Y. Vásquez Tejada, «Confiability en el rendimiento de las máquinas de producción gracias al plan de mantenimiento preventivo,» *Criterio*, vol. 2, nº 3, pp. 35-47, 2022.
- [26] C. Alavedra Flores, Y. Gastelu Pinedo, G. Méndez Orellana, C. Minaya Luna, B. Pineda Ocas, K. Prieto Gilio y K. Ríos Mejía, «Gestión de mantenimiento preventivo y su relación con la disponibilidad de la flota de camiones 730e Komatsu-2013,» *Ingeniería Industrial*, nº 34, pp. 11-26, 2016.
- [27] 2013 - 2024 7Graus - Todos los derechos reservados., «Enciclopedia Significados,» "Ontología". En: Significados.com, 11 12 2023. [En línea]. Available: <https://www.significados.com/ontologia/>. [Último acceso: 18 Setiembre 2024].
- [28] Significados, Equipo (19/08/2024), «Enciclopedia Significados,» 7Graus, 19 Agosto 2024. [En línea]. Available: <https://www.significados.com/ontologico/>. [Último acceso: 18 Setiembre 2024].
- [29] J. Aguirre Castellanos, S. Colorado Gómez y C. Patricia Mercado, *La Danza Folclórica como estrategia para el uso adecuado del tiempo libre*, Cali - Colombia: Fundación Universitaria Católica Lumen Gentium, 2013.
- [30] J. W. Choque Medrano, «Actualidad de la epistemología y enseñanza de la ciencia en postgrado,» *Delectus*, vol. 2, nº 1, 2019.
- [31] E. (. Significados, «Enciclopedia Significados,» 7Graus -, 11 Diciembre 2023. [En línea]. Available: <https://www.significados.com/axiologia/>. [Último acceso: 18 Setiembre 2024].
- [32] Editorial, Equipo (16/11/2023), «Enciclopedia Significados,» 7Graus, 16 Noviembre 2023. [En línea]. Available: <https://www.significados.com/etica/>. [Último acceso: 18 Setiembre 2024].
- [33] A. J. Pistarelli, «Pistarelli,» 26 Octubre 2016. [En línea]. Available: <https://pistarelli.com.ar/cuan-importantes-son-en-mantenimiento-los-aspectos-no-tecnicos/>. [Último acceso: 11 Setiembre 2024].
- [34] G. Westreicher, «Economipedia,» Jose Antonio Ludeña, 19 Febrero 2024. [En línea]. Available: <https://economipedia.com/definiciones/gestion.html>. [Último acceso: 31 Agosto 2024].

- [35] R. Juárez, «Linkedin,» 2 Octubre 2020. [En línea]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/qu%C3%A9-es-la-gesti%C3%B3n-de-mantenimiento-ross-ju%C3%A1rez>. [Último acceso: 31 Agosto 2024].
- [36] A. M. Mora Gutierrez, *Mantenimiento, Planeación-ejecución y control*, Mexico: Algaomega, 2009.
- [37] I. Zamudio Ramírez , *Diagnóstico de fallos electromecánicos en motores eléctricos mediante el análisis avanzado de flujo magnético y su implementación en el hardware*, España: Tesis Doctoral - Universidad politécnica de Valencia, 2023.
- [38] P. Garcia Entrambasaguas, *Mejoras en la eficiencia y la fiabilidad de máquinas eléctricas multifásicas con multiples conjuntos de devanados trifásicos*, España: Tesis Doctoral - Universidad de Málaga, 2020.
- [39] J. Sánchez Robles, *Mejora del Plan de Mantenimiento predictivo de equipos dinámicos en Plantas de Síntesis Química, adoptado a la Industria 4.0y basado en valoración multiparamétrica de la condición funcional*, España: Tesis Doctoral - Universidad de Murcia, 2021.
- [40] MINT RETHINKING THE FUTURE, «MINT,» MINT RETHINKING THE FUTURE, 27 Febrero 2023. [En línea]. Available: <https://mintforpeople.com/noticias/tipos-fallas-mantenimiento-industrial/>. [Último acceso: 13 Setiembre 2024].
- [41] SYM YINGONG MACHINERY, «Horno de Cemento,» SYM YINGONG MACHINERY, 30 Octubre 2023. [En línea]. Available: <https://es.shyychina.com/news/product-news/como-elegir-el-horno-rotatorio-perfecto-para-su-fabrica-de-cemento/>. [Último acceso: 06 Setiembre 2024].
- [42] J. L. Castillo Tirado, M. A. Ospina Alarcón y P. A. Ortiz Valenzuela, «Horno cementero rotatorio: una revisión al control mediante sistemas expertos,» *Tecnologías*, vol. 25, nº 55.e2391, pp. 1-27, 2022.
- [43] J. O. Muñoz Cornejo, *Gestión y desarrollo de un producto ecoeficiente para reducir la huella de Carbono en la Molienda de Cemento de la Planata Viacha de Soboce S.A.*, Bolivia: Universidad Mayor de San Andres, 2024.
- [44] P. Lokolimoe, *Evaluación de las Tecnologías de Producción de Cemento*, Cuba- Moa: Ministerio de la Educacion - Dr. Antonio Núñez Jiménez, 2009.
- [45] A. Sarukhan, «ISGlobal,» Instituto de Salud Global de Barcelona - España, 06 Julio 2023. [En línea]. Available: <https://www.isglobal.org/healthisglobal/>

/custom-blog-portlet/what-do-we-mean-when-we-talk-about-impact-.
[Último acceso: 12 Setiembre 2024].

- [46] A. Macias Barbaran, A. Arteaga Linzan y P. Rodriguez Ramos, «Análisis de los indicadores de la caldera de una planta procesadora de conservas de atún,» *Ingeniería Mecanica - Cuba*, vol. 24(3):e630. , nº ISSN 1815-5944, p. 2, 2021.
- [47] M. Gardella González, *Mejora de Metodología RCM a partir del AMFEC e implantación de Mantenimiento Preventivo y Predictivo en plantas de procesos*, España: Tesis Doctoral - UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA, 2010.
- [48] G. L. Real Pérez, «Confiabilidad operacional en el proceso de soldadura de mantenimiento.,» *Dominio de las Ciencias*, vol. 7, nº 4, pp. 1396 - 1412, 2021.
- [49] O. García Palencia, *El Mantenimiento General*, Colombia: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2006.
- [50] G. Rodrigues, «Auvo,» Auvo Tecnología, 12 Diciembre 2023. [En línea]. Available: <https://www.blog.auvo.com/latam/fallas-por-falta-de-mantenimiento>. [Último acceso: 13 Setiembre 2024].
- [51] N. Caba Villalobos, O. Chamorro Altahona y T. J. Fontalvo Herrera, «Gestión de la Producción y las Operaciones,» Corporación para la Gestión del Conocimiento Asesores del 2000, Colombia, 2011.
- [52] J. Castillo, «Administración de la Producción y Operaciones,» Centro de estudios avanzados de las Américas, México, 2009.
- [53] M. Á. Sanjuán Barbudo y S. Chinchón Yepes, *Introducción a la Fabricación y Normalización del Cemento Portland*, España: Publicaciones Universidad de Alicante, 2014.
- [54] OFICEMEN, «Agrupacion de Fabricantes de Cemento de España,» Oficemen, [En línea]. Available: <https://www.oficemen.com/el-cemento/proceso-de-fabricacion/>. [Último acceso: 13 Octubre 2024].
- [55] L. F. Botero Botero y M. E. Álvarez Villa, «Identificación de Pérdidas en el Proceso Productivo de la Construcción,» *Universidad EAFIT*, vol. 1, nº 130, pp. 65-78, 2003.
- [56] J. Moubray, *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*, Estados Unidos: Aladon LLC, 2004.

- [57] C. Salazar y S. Del Castillo, *Fundamentos Básicos de Estadística*, Ecuador: Del Castillo Galarza, Raúl Santiago, 2018.
- [58] R. Rashuamán Flores, *Modelo de Gestión de Mantenimiento para el incremento de Disponibilidad de las máquinas en una Planta de Fabricación de Bombas Centrífugas*, Callao - Lima: Tesis de maestría - Universidad Nacional del Callao, 2019.
- [59] Z. R. Vargas Cordero, «La Investigación aplicada: Una forma de conocer las realidades con evidencia científica,» *Revista de Educación - Unioversidad de Costa Rica*, vol. 33, nº 1, pp. 155-165, 2009.
- [60] L. A. Forero Quintero, «La Importancia del uso de ejemplos Hipotético - Deductivos en la enseñanza de las Ciencias,» *Gondola - Universidad Distrital Francisco José de Caldas*, vol. 2, nº 1, pp. 1-4, Colombia.
- [61] D. G. Rios Gutierrez y L. N. Sanchez Espinoza, *Aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) para incrementar la Productividad en la empresa Lift Rental Solutionssac*, Lima 2020, Lima, 2022.
- [62] R. Salazar Moreno, A. Rojano Aguilar, E. Figueroa Hernandez y F. Pérez Soto, «Aplicaciones de la distribución weibull en ingeniería de la confiabilidad,» *XXI Coloquio Mexicano de Economía Matemática y Econometría*, vol. Universidad Autónoma de Nayarit, nº 1ra edición, pp. 148 - 161, 2011 .
- [63] EAE Institución Superior de Formación Universitaria, S.L., «EAE Business School Barcelona,» Registro Mercantil de Barcelona , Tomo 38782, 31 Agosto 2023. [En línea]. Available: <https://retos-operaciones-logistica.eae.es/proceso-de-produccion-como-desarrolla/>. [Último acceso: 11 Setiembre 2024].
- [64] C. A. Sánchez Alzate, «Impacto de las Averías e Interrupciones en los Procesos un Análisis de la Variabilidad en los Procesos de Producción,» *Dyna*, vol. Año 72, nº 145, pp. 67 - 75, 2004.

ANEXOS:

Anexo 1. Matriz de consistencia

Anexo 2.

Anexo 3.

Anexo 4. Base de datos

Anexo 5. Otros anexos

ANEXO 1. Matriz de Consistencia Esquema tentativo de la tesis.

8. TÍTULO: FALLAS ELÉCTRICAS, MECÁNICAS Y OPERACIONALES EN EQUIPOS DE LA LÍNEA DEL HORNO ROTATIVO QUE PRODUCE CEMENTO Y SU IMPACTO EN LA CONFIABILIDAD DEL MANTENIMIENTO Y EN LA SITUACIÓN ECONÓMICA, 2021-2022.				
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	MÉTODOLOGÍA
<p>PROBLEMA GENERAL</p> <p>¿Cuál es el efecto de las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales de equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento en la confiabilidad del mantenimiento y en la situación económica durante los periodos 2021-2022</p>	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Determinar el efecto de las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento en la confiabilidad del mantenimiento y en la situación económica durante los periodos 2021-2022</p>	<p>HIPÓTESIS GENERAL</p> <p>Las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales de equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento influyen en la confiabilidad del mantenimiento y en la situación económica durante los periodos 2021-2022</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE. Fallas de componentes</p> <p>DIMENSIONES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fallas eléctricas • Fallas mecánicas • Fallas operacionales 	<p><i>Enfoque de investigación:</i> Cuantitativo.</p> <p><i>Tipo de investigación:</i> Básico.</p> <p><i>Nivel de investigación:</i> Explicativo</p>
<p>PROBLEMA ESPECÍFICO</p> <p>1. ¿Cuáles son las fallas más comunes en equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento durante los periodos 2021-2022?</p> <p>2. ¿Cómo es la confiabilidad del mantenimiento en equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento durante los periodos 2021-2022?</p> <p>3. ¿Cuál es el impacto de las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales en equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento, en la mantenibilidad durante los periodos 2021-2022?</p> <p>4. ¿Cuál es el impacto de las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales en equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento, en la disponibilidad del mantenimiento durante los periodos 2021-2022?</p> <p>5. ¿Cuál es el impacto de las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales en equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento, en la situación económica durante los periodos 2021-2022?</p>	<p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS:</p> <p>1. Determinar cuáles son las fallas más comunes en equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento durante los periodos 2021-2022.</p> <p>2. Identificar la confiabilidad del mantenimiento en equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento durante los periodos 2021-2022.</p> <p>3. Analizar el impacto de las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales en equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento, en la mantenibilidad durante los periodos 2021-2022.</p> <p>4. Analizar el impacto de las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales en equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento, en la disponibilidad del mantenimiento durante los periodos 2021-2022.</p> <p>5. Precisar el impacto de las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales en equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento, en la situación económica durante los periodos 2021-2022.</p>	<p>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS:</p> <p>1. Las fallas mecánicas son las más comunes, seguidas por las eléctricas y operacionales en los equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento durante los periodos 2021-2022.</p> <p>2. La confiabilidad del mantenimiento en los equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento se caracteriza por una alta tasa de horas de fallas lo que denota que las prácticas son insuficientes para garantizar un funcionamiento óptimo durante los periodos 2021-2022</p> <p>3. Las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales en equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento tienen impacto significativo en la mantenibilidad del mantenimiento durante los periodos 2021-2022.</p> <p>4. Las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales en equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento tienen impacto significativo en la disponibilidad del mantenimiento durante los periodos 2021-2022.</p> <p>5. Las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales en equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento tienen impacto significativo en la situación económica durante los periodos 2021-2022.</p>	<p>VARIABLE DEPENDIENTE 1:</p> <p>Confiabilidad del Mantenimiento.</p> <p>DIMENSIONES:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tiempo promedio entre reparación (eléctricas, mecánicas y operacionales) –(Mantenibilidad) MTTR periodos 2021 Y 2022. • Disponibilidad anual del Horno Rotativo periodos 2021 y 2022. <p>VARIABLE DEPENDIENTE 2</p> <p>Situación Económica</p> <p>DIMENSIONES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Costo por Reparaciones (eléctricas, mecánicas y operacionales) periodos 2021 Y 2022. • Pérdida económica por falta de Producción por fallas (eléctricas, mecánicas y operacionales) periodos 2021 Y 2022. 	<p><i>Diseño de investigación:</i> no experimental.</p> <p><i>Método:</i> Hipotético deductivo.</p> <p><i>Técnica:</i> Análisis documental.</p> <p><i>Instrumentos:</i> Matriz comparativa</p> <p><i>Población y Muestra:</i></p> <p>Población Equipos de la línea del horno rotativo que produce cemento.</p> <p>Muestra Muestra Censal (La cantidad de la muestra es lo mismo que la población)</p>

Anexo 2: Operacionalización de variables

TÍTULO: FALLAS ELÉCTRICAS, MECÁNICAS Y OPERACIONALES EN EQUIPOS DE LA LÍNEA DEL HORNO ROTATIVO QUE PRODUCE CEMENTO Y SU IMPACTO EN LA CONFIABILIDAD DEL MANTENIMIENTO Y EN LAS CONDICIONES ECONÓMICAS, 2021-2022.

VARIABLES	Definición conceptual	Definición operacional de variables	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Método y técnica
VARIABLE INDEPENDIENTE: Fallas eléctricas, mecánicas y operacionales.	Zamudio [37, p. 43] Las averías repentinas en dichas maquinas pueden acarrear consecuencias nefastas para las empresas (paradas no planificadas de la producción, costes de reparación e inspección, peligro para la seguridad de usuarios y procesos, etc.).	La variable de fallas eléctricas, mecánicas y operacionales se analizará con una Guía observación que consta de 06 ítems.	Frecuencia de las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales de equipos periodos 2021 y 2022.	-Frecuencia de fallas eléctricas. -Frecuencia de fallas mecánicas. -Frecuencia de fallas operacionales.	01, 02 y 03 ítems.	Método: Hipotético deductivo. Fuente: secundaria. Técnica: Análisis documental
			Tiempo de duración de las fallas eléctricas, mecánicas y operacionales de equipos periodos 2021 y 2022.	-Tiempo de duración de fallas eléctricas. -Tiempo de duración de fallas mecánicas. -Tiempo de fallas operacionales.	04, 05 y 06 ítems.	
VARIABLE DEPENDIENTE 1: Confiabilidad del Mantenimiento.	Macias [46, p. 2] La confiabilidad es la probabilidad de que un sistema produzca los resultados esperados, para sus cálculos se involucra el intervalo entre fallas en un determinado tiempo, entre menos ocurrencia de fallas más alta será la confiabilidad de un equipo	La variable Confiabilidad del Mantenimiento se analizará con una Guía observación que consta de 08 ítems.	Tiempo promedio entre reparación (eléctricas, mecánicas y operacionales) - MTTR periodos 2021 Y 2022.	-Tiempo promedio de reparación de fallas eléctricas. -Tiempo promedio de reparaciones de fallas mecánicas. -Tiempo promedio de reparación de fallas operacionales.	07, 08 y 09 ítems.	Método: Hipotético deductivo. Fuente: fuente secundaria. Técnica: Análisis documental.
			Disponibilidad anual del Horno Rotativo periodos 2021 y 2022.	-Disponibilidad del horno rotativo en el 2021. -Disponibilidad del horno rotativo en el 2022.	10 y 11 ítems.	
VARIABLE DEPENDIENTE 2: Situación Económica	Rodríguez [50] Evitar las fallas por falta de mantenimiento es crucial por varias razones significativas: Las fallas no planificadas pueden detener por completo las operaciones, causando pérdidas financieras significativas debido a la interrupción del flujo de trabajo y la imposibilidad de cumplir con compromisos con los clientes, Las reparaciones de emergencia suelen ser más costosas que el mantenimiento planificado, lo que afecta los presupuestos y puede impactar la rentabilidad de la empresa.	La variable Situación Económica se analizará con una Guía observación que consta de 06 ítems.	Costo por Reparaciones (eléctricas, mecánicas y operacionales) periodos 2021 Y 2022.	-Costo por reparaciones eléctricas. -Costo por reparaciones mecánicas. -Costo por reparaciones operacionales.	13, 14 y 15 ítems.	Método: Hipotético deductivo. Fuente: fuente secundaria. Técnica: Análisis documental.
			Pérdida Económica por falta de Producción debido a fallas (eléctricas, mecánicas y operacionales) periodos 2021 Y 2022.	-Pérdida económica por falla eléctrica. - Pérdida económica por falla mecánica. - Pérdida económica por falla operacional.	18, 19 y 20 ítems.	

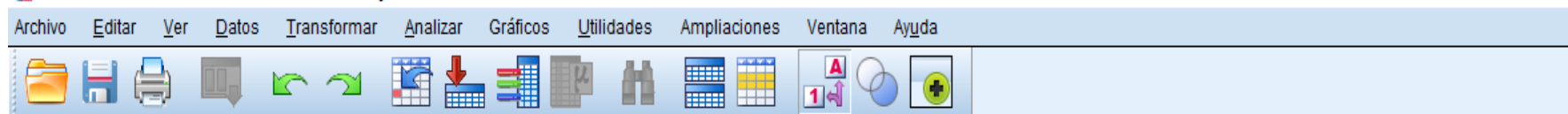
Anexo 3. Base de datos editable, exportado del SPSS – Tipo de Incidencia 2021 - 2022

FECHA MENSUAL DE FALLAS	TIPO INCIDENCIA	COMPONENTE	TIEMPO DE FALLA HORAS	CANTIDAD DE FALLAS	MATERIALES MANTENIMIENTO	DISPONIBILIDAD	COSTO DE REPARACIONES POR FALLAS SOLES	CEMENTO NO PRODUCIDA POR FALLAS TONELADAS	PÉRDIDA ECONÓMICA POR FALLAS SOLES	IMPACTO ECONÓMICO POR FALLAS SOLES
1	3	HORNO	2.62	1.0	2.62	0.98	2043.60	545.83	259270.83	261314.43
1	2	QUEMADOR	0.20	1.0	0.20	10.26	156.00	41.67	19791.67	19947.67
1	3	CANALETA	1.73	1.0	1.73	88.73	1349.40	360.42	171197.92	172547.32
1	1	PLC	2.28	3.0	0.76	6.15	1778.40	475.00	225625.00	227403.40
1	3	ENFRIADOR	31.34	1.0	31.34	84.52	24445.20	6529.17	3101354.17	3125799.37
1	1	PLC	3.00	1.0	3.00	32.99	2340.00	625.00	296875.00	299215.00
1	2	ELEVADOR	0.31	1.0	0.31	3.41	241.80	64.58	30677.08	30918.88
1	3	CICLON	5.72	2.0	2.86	62.91	4461.60	1191.67	566041.67	570503.27
1	1	PLC	1.68	1.0	1.68	17.40	1310.40	350.00	166250.00	167560.40
1	2	ELEVADOR	7.44	2.0	3.72	77.06	5803.20	1550.00	736250.00	742053.20
1	3	VENTILADOR	0.46	1.0	0.46	4.76	358.80	95.83	45520.83	45879.63
1	1	ELEVADOR	1.53	2.0	0.77	0.11	1193.40	318.75	151406.25	152599.65
1	2	HORNO	40.03	3.0	13.34	2.98	31223.40	8339.58	3961302.08	3992525.48
1	3	HORNO	245.37	2.0	122.69	18.29	191388.60	51118.75	24281406.25	24472794.85
1	2	COJINETE	2.77	1.0	2.77	98.94	2160.60	577.08	274114.58	276275.18
1	1	PLC	6.19	3.0	2.06	4.64	4828.20	1289.58	612552.08	617380.28
1	3	QUEMADOR	83.32	2.0	41.66	62.49	64989.60	17358.33	8245208.33	8310197.93
1	3	EXTERNO	31.57	1.0	31.57	41.68	24624.60	6577.08	3124114.58	3148739.18

2	2	HORNO	2.31	1.0	2.31	70.14	1801.80	481.25	228593.75	230395.55
2	3	QUEMADOR	0.97	1.0	0.97	29.45	756.60	202.08	95989.58	96746.18
2	1	VENTILADOR	17.65	2.0	8.83	0.65	13767.00	3677.08	1746614.58	1760381.58
2	2	CATALINA	208.78	1.0	208.78	7.68	162848.4 0	43495.83	20660520.83	20823369.23
2	1	VARIADOR	0.94	2.0	0.47	0.26	733.20	195.83	93020.83	93754.03
2	2	COJINETE	143.87	2.0	71.94	40.16	112218.6 0	29972.92	14237135.42	14349354.02
2	3	TEMPERATURA GAS	0.34	1.0	0.34	9.00	265.20	70.83	33645.83	33911.03
2	1	VARIADOR	2.81	4.0	0.70	44.02	2191.80	585.42	278072.92	280264.72
2	2	COJINETE	3.56	1.0	3.56	55.76	2776.80	741.67	352291.67	355068.47
2	1	SENSOR	9.43	2.0	4.72	33.45	7355.40	1964.58	933177.08	940532.48
2	3	EXTERNO	16.09	1.0	16.09	57.10	12550.20	3352.08	1592239.58	1604789.78
2	1	ROTATIVA	0.21	1.0	0.21	0.10	163.80	43.75	20781.25	20945.05
2	2	CICLON	1.86	2.0	0.93	1.83	1450.80	387.50	184062.50	185513.30
2	3	QUEMADOR	67.82	1.0	67.82	66.79	52899.60	14129.17	6711354.17	6764253.77
2	1	COLECTOR	17.57	4.0	4.39	2.76	13704.60	3660.42	1738697.92	1752402.52
2	2	QUEMADOR	0.66	1.0	0.66	0.10	514.80	137.50	65312.50	65827.30
2	3	HORNO	182.83	1.0	182.83	28.74	142607.4 0	38089.58	18092552.08	18235159.48
2	1	QUEMADOR	4.35	2.0	2.18	99.33	3393.00	906.25	430468.75	433861.75

Anexo 4. Base de datos – Tipo de Incidencia 2021 - SPSS

*DÁVILA, CARLOS - BASE DE DATOS 3_1.sav [ConjuntoDatos1] - IBM SPSS Statistics Editor de datos



18 :

	FECHAM ENSUAL DEFALLA	TIPOINCIDEN CIA	COMPONE NTE	C E	TIEMPOD EFALLAH ORAS	CANTID ADDEF ALLAS	MATE NIBIL DAD	Dsponi bilidad	COSTODEREP ACIONESPORF ALLASSOLES	CEMENTONOPF ODUCIDAPORF LLASTONELADA	PÉRDIDAECON ÓMICAPORFALL ASSOLES	IMPACTOECONÓ MICOPORFALLS SOLES
1	2021	Operacional	HORNO	...	2,62	1,0	2,62	,98	2043,60	545,83	259270,83	261314,43
2	2021	Mecánica	QUEMADOR	...	,20	1,0	,20	10,26	156,00	41,67	19791,67	19947,67
3	2021	Operacional	CANALETA	...	1,73	1,0	1,73	88,73	1349,40	360,42	171197,92	172547,32
4	2021	Eléctrica	PLC	...	2,28	3,0	,76	6,15	1778,40	475,00	225625,00	227403,40
5	2021	Operacional	ENFRIADOR	...	31,34	1,0	31,34	84,52	24445,20	6529,17	3101354,17	3125799,37
6	2021	Eléctrica	PLC	...	3,00	1,0	3,00	32,99	2340,00	625,00	296875,00	299215,00
7	2021	Mecánica	ELEVADOR	...	,31	1,0	,31	3,41	241,80	64,58	30677,08	30918,88
8	2021	Operacional	CICLON	...	5,72	2,0	2,86	62,91	4461,60	1191,67	566041,67	570503,27
9	2021	Eléctrica	PLC	...	1,68	1,0	1,68	17,40	1310,40	350,00	166250,00	167560,40
10	2021	Mecánica	ELEVADOR	...	7,44	2,0	3,72	77,06	5803,20	1550,00	736250,00	742053,20
11	2021	Operacional	VENTILADOR	...	,46	1,0	,46	4,76	358,80	95,83	45520,83	45879,63
12	2021	Eléctrica	ELEVADOR	...	1,53	2,0	,77	,11	1193,40	318,75	151406,25	152599,65
13	2021	Mecánica	HORNO	...	40,03	3,0	13,34	2,98	31223,40	8339,58	3961302,08	3992525,48
14	2021	Operacional	HORNO	...	245,37	2,0	122,69	18,29	191388,60	51118,75	24281406,25	24472794,85
15	2021	Mecánica	COJINETE	...	2,77	1,0	2,77	98,94	2160,60	577,08	274114,58	276275,18
16	2021	Eléctrica	PLC	...	6,19	3,0	2,06	4,64	4828,20	1289,58	612552,08	617380,28
17	2021	Operacional	QUEMADOR	...	83,32	2,0	41,66	62,49	64989,60	17358,33	8245208,33	8310197,93
18	2021	Operacional	EXTERNO	...	31,57	1,0	31,57	41,68	24624,60	6577,08	3124114,58	3148739,18