



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN
CONFIABILIDAD PARA LA EMPRESA MOLINOS
CARABOBO S.A.**

Autor (a):

Jesús Gómez

C.I: 26.804.762

Urb. Yuma II, calle n° 3. Municipio San Diego
Teléfono (0241) 8714240 (master)-Fax: (0241) 8712394



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA
LA EMPRESA MOLINOS CARABOBO S.A.**

Informe de Pasantías presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO INDUSTRIAL

Autor (a): Jesús Gómez

C.I: 26.804.762

Tutor: Ing. Fredy Barragán

C.I: 11.151.678

San Diego, Enero de 2022.



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO

ACTA DE APROBACIÓN

INFORME FINAL DE PASANTÍA

TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de INGENIERÍA para la evaluación del Informe Final de Pasantía o Trabajo de Grado titulado: PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRALIZADO EN CONFABILIZADO PARA LA EMPRESA MOLINAS CARABOBO S.A.

Realizado por el (la) Br. JESÚS GÓMEZ

C.I. N° 26.804.762 cursante de la carrera de ING. INDUSTRIAL


hace constar después de analizar su contenido y oída la exposición oral, considera que el Informe Final o Trabajo de Grado ha obtenido la calificación de:

APROBADO

NO APROBADO


Tutor Académico (Coordinador)
Nombre: FREDY BARRAGÁN
C.I.: 11.151.670

El Jurado


Jurado
Nombre: LUIS LORA
C.I.: 2.747.781

Jurado
Nombre:
C.I.:

Fecha 26 / 01 / 2022



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
DECANATO DE INGENIERÍA



FI- I -003- 2021-1CR- IP

Valencia, 23 de noviembre de 2021

Ciudadano:
Gómez Montenegro, Jesús Antonio
C.I. 26.804.762

Presente -

Cumplo con informarle que la comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 1-2021 de fecha 07/10/2021 aprobó el proyecto de grado titulado:

**Plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para la empresa
MOLINOS CARABOBO S.A.**

Presentado por usted como requisito para optar al título de Ingeniero Industrial

Se ratifica la designación del Tutor Académico que lo asesorará en el desarrollo de este proyecto a:
Ing. Fredy Barragán Suescún, titular de la cédula de identidad V-11.151.678



Atentamente

Dr. Francisco Gelanzé Sevilla.
Decano de Ingeniería

c.c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INDUSTRIAL

**CONSTANCIA DE APROBACIÓN PARA LA PRESENTACIÓN PÚBLICA DEL
TRABAJO DE GRADO**

Quien suscribe, Ing. Fredy Barragán Suescún, portador de la cédula de identidad N° 11.151.678, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por el ciudadano Jesús Antonio Gómez Montenegro, portador de la cédula de identidad N° 26.804.762, titulado **PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA LA EMPRESA MOLINOS CARABOBO S.A.**, presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Industrial, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 12 días del mes de Enero del año dos mil veintidos.

Ing. Fredy Barragán Suescún

C.I: 11.151.678.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme llegar a la etapa final de esta carrera y por darme la fuerza de voluntad para mantenerme motivado a pesar de las dificultades.

A mis padres y mi familia por ser el apoyo en todos los sentidos durante estos años.

A mis amigos y compañeros con los que tuve que compartir asignaciones por permitirme aclarar dudas y brindar ese apoyo mutuo que se necesita en muchas asignaturas.

A cada uno de los profesores de cada una de las asignaturas por sus conocimientos brindados y su esfuerzo por querer enseñar de la mejor forma posible.

A mi tutor, el Ing. Fredy Barragán por la paciencia, disposición y profesionalismo depositado al momento de asesorarme y guiarme durante la realización del informe de pasantías.

A la Universidad José Antonio Páez y cada uno de sus trabajadores que permiten recibir la educación necesaria dentro de sus instalaciones y nos permitieron ser estudiantes universitarios.

Al Ing. Edgar Estrada y Jean Morales por darme la oportunidad de realizar la pasantía en la empresa Molinos Carabobo, a todo el personal de producción, supervisores, técnicos y operarios por facilitarme la información necesaria para el desarrollo de la investigación.

A cada una de las personas que directa o indirectamente formaron parte de este recorrido y de alguna u otra forma me aconsejaron o ayudaron en algún momento para resolver inconvenientes y seguir adelante.

ÍNDICE

CONTENIDO	pp.
LISTA DE CUADROS.....	ix
LISTA DE GRÁFICOS.....	xi
RESUMEN INFORMATIVO.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO	
I LA EMPRESA	
1.1 Descripción de la Empresa.....	3
1.1.1 Ubicación de la Empresa.....	3
1.1.2 Razón Social.....	3
1.1.3 Reseña histórica.....	3
1.1.4 Estructura Organizativa.....	5
1.2 Misión, Visión, Objetivos y Valores de la Empresa.....	6
1.2.1 Misión.....	6
1.2.2 Visión.....	6
1.2.3 Objetivos.....	6
1.2.4 Valores.....	6
1.3 Descripción del Departamento donde se desarrolla la Pasantía.....	7
1.3.1 Proceso de Producción.....	7
1.3.2 Estructura Organizativa del Departamento de Producción.....	14
II EL PROBLEMA	
2.1 Planteamiento del Problema.....	15
2.2 Formulación del Problema.....	18
2.3 Objetivos de la Investigación.....	18
2.3.1 Objetivo General.....	18
2.3.2 Objetivos Específicos.....	18

2.4	Justificación.....	19
2.5	Alcance y Limitaciones.....	20
III	MARCO TEÓRICO	
3.1	Antecedentes.....	21
3.2	Bases Teóricas.....	24
3.2.1	Mantenimiento.....	24
3.2.2	Tipos de Mantenimiento.....	24
3.2.3	Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM).....	24
3.2.4	Tiempo medio entre fallas (MTBF).....	25
3.2.5	Análisis de Criticidad.....	25
3.2.6	Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF)...	26
3.2.7	Árbol Lógico de Decisiones.....	26
3.2.8	Diagrama Causa-Efecto.....	27
3.2.9	Diagrama de Pareto.....	28
3.2.10	Norma SAE JA1011.....	29
3.2.11	Norma ISO 14224.....	29
3.2.12	Taxonomía.....	29
3.2.13	Número de Prioridad de Riesgo (NPR).....	30
3.2.14	Mantenimiento Productivo Total (TPM).....	30
3.3	Bases Legales.....	31
3.4	Definición de Términos.....	33
IV	MARCO METODOLÓGICO	
4.1	Tipo de Investigación.....	35
4.2	Diseño de la Investigación.....	35
4.3	Nivel de la investigación.....	36
4.4	Población y muestra.....	36
4.5	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	37
4.5.1	Técnicas.....	37

4.5.2. Instrumentos.....	38
4.6 Técnicas de Análisis de Resultados.....	38
4.6.1 Análisis de criticidad.....	39
4.6.2 Análisis de modos y efectos de falla (AMEF).....	39
4.7 Fases metodológicas.....	39
V RESULTADOS	
5.1 Fase I: Diagnóstico de la situación actual en el departamento de producción de la empresa MOCASA.....	41
5.2 Fase II: Análisis de las fallas en función a la metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad considerando la taxonomía de las partes que componen los molinos de la empresa MOCASA.....	62
5.3 Fase III: Elaboración del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para la empresa MOCASA.....	72
5.4 Fase IV: Evaluar la factibilidad operativa, técnica, social y económica del plan de mantenimiento propuesto.....	86
CONCLUSIONES.....	90
RECOMENDACIONES.....	91
REFERENCIAS.....	92
ANEXOS.....	95

LISTA DE CUADROS

CUADRO	DESCRIPCIÓN	pp.
1	Paradas de los molinos desde 13 de mayo a 20 de octubre.....	17
2	Cuantificación de las causas del diagrama causa-efecto.....	43
3	MTBF, MTTR y disponibilidad de los molinos de la planta 1 de la empresa.....	44
4	Número de paradas no programadas desde el 13 de mayo hasta el 20 de octubre en la planta 1 de la empresa MOCASA.....	45
5	Tiempos de paro de las paradas no programadas desde el 13 de mayo hasta el 20 de octubre.....	46
6	Número de paradas no programadas y horas de paro de los equipos en estudio en la parte de molienda del molino A.....	46
7	Número de paradas no programadas y horas de paro de los equipos en estudio en la parte de molienda del molino B.....	47
8	Número de paradas no programadas y horas de paro de los equipos en estudio en la parte de molienda del molino C.....	48
9	Número de paradas no programadas y horas de paro de los equipos en estudio en la parte de molienda del molino D.....	49
10	Guía de criterios para el análisis de criticidad.....	52
11	Valores de criticidad de los equipos estudiados.....	53
12	Averías de los bancos de molienda.....	54
13	Situación actual bancos de molienda.....	55
14	Cálculo efectividad global de equipos (OEE) actual	59
15	Aplicación del guión de la entrevista.....	60
16	Condiciones operacionales.....	63
17	Análisis de modos y efectos de falla de los bancos de molienda....	64
18	Número de prioridad de riesgo (NPR) para cada modo de fallo...	71
19	Hoja de decisión RCM.....	73

20	Cronograma de actividades propuesto para los bancos de molienda.....	76
21	Repuestos requeridos en inventario y costos.....	78
22	Formato de lista de verificación para actividades de mantenimiento e inspección.....	79
23	Situación propuesta en bancos de molienda.....	83
24	Situación actual y propuesta para molino B.....	84
25	Cálculo de efectividad global de equipos (OEE) propuesto.....	84
26	Costos del plan de mantenimiento.....	86
27	Toneladas no extraídas y costos de oportunidad.....	86
28	Criterios de severidad para la asignación del NPR.....	97
29	Criterios de ocurrencia para la asignación del NPR.....	98
30	Criterios de detección para la asignación del NPR.....	98

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO	DESCRIPCIÓN	pp.
1	Estructura Organizativa de Molinos Carabobo S.A...	5
2	Tarara y Separadora.....	8
3	Despedradora y cilindro Carter Day.....	9
4	Mojadora.....	9
5	Tarara y Cepilladora.....	10
6	Bancos de Molienda.....	11
7	Sasores y Cernidores.....	12
8	Sistema de Dosificación de Aditivos.....	13
9	Estructura Organizativa del Departamento de Producción de Molinos Carabobo S.A.....	14
10	Matriz de Criticidad.....	26
11	Árbol Lógico de Decisiones.....	27
12	Diagrama Causa-Efecto general.....	28
13	Análisis Causa-Raíz con Diagrama de Pareto.....	28
14	Taxonomía de equipos con niveles taxonómicos.....	30
15	Diagrama causa-efecto de la situación actual dentro del proceso de producción.....	42
16	Ponderación de las causas del diagrama causa-efecto...	43
17	Diagrama de Pareto Molino A.....	47
18	Diagrama de Pareto Molino B.....	48
19	Diagrama de Pareto Molino C.....	49
20	Diagrama de Pareto Molino D.....	50
21	Diagrama de Pareto de averías de los subsistemas de los bancos de molienda.....	54
22	Taxonomía de los equipos críticos (bancos de molienda).....	57
23	Etiquetas para identificación de anomalías.....	82
24	Parte interna de banco de molienda.....	96
25	Parte externa de banco de molienda.....	96



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN
CONFIABILIDAD PARA LA EMPRESA MOLINOS CARABOBO
S.A.

Autor(a): Gómez, Jesús

Tutor(a): Ing. Fredy Barragán

Fecha: Enero de 2022

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en el departamento de producción de la empresa Molinos Carabobo S.A, la cual se encarga del procesamiento de trigo para la fabricación de subproductos, en la cual se realizó un estudio para la elaboración de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad con el objeto de reducir el número de paradas no programadas en los equipos de molienda de trigo, buscando la mejora en la disponibilidad de la planta y el aumento de la confiabilidad de los equipos críticos. Se llevó a cabo un diagnóstico de la situación actual de la empresa para luego realizar un análisis de las fallas en función de la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad considerando la taxonomía de las partes que componen a los molinos de la empresa para luego proceder a la elaboración del plan de mantenimiento, cuya implementación permite aumentar el tiempo medio entre fallas, reducir el tiempo promedio para reparar y aumentar en 1% la disponibilidad del molino estudiado. El estudio se encuentra enmarcado dentro de la línea de investigación de ciencias cognitivas y aplicadas.

Descriptor: Mantenimiento, confiabilidad, equipos críticos, disponibilidad.

INTRODUCCIÓN

El rápido desarrollo de la tecnología en la industria ha obligado al desarrollo de unas tareas que en el pasado no se les prestaba mucha atención, pero que han ganado relevancia hasta convertirse en un aspecto fundamental para la productividad de las empresas hoy en día, se trata de las labores de mantenimiento.

La importancia del mantenimiento fue creciendo a medida de que el sector industrial fue entendiendo su importancia económica, ya que anteriormente esta actividad se limitaba únicamente a reparaciones de maquinaria luego de averías, es decir, mantenimiento correctivo que requería paradas de maquinaria y producción.

Para mediados del siglo XX, el desarrollo tecnológico en procesos industriales y de las líneas de producción, incrementaron el trabajo a realizar por las maquinarias y el rendimiento del proceso dependía cada día más del funcionamiento de estas. Es por ello que, partir de la revolución informática, las compañías han tenido que adaptarse a nuevas tecnologías y finalmente el mantenimiento tuvo que modernizarse hasta alcanzar el desarrollo que posee en la actualidad.

Así pues, el área de mantenimiento para un proceso de producción cada vez toma mayor importancia en la productividad de una organización, debido a la necesidad de conservar los activos físicos de la mejor manera para prolongar su vida útil y garantizar el mejor nivel de productividad y rendimiento posible para un determinado proceso de producción.

La empresa Molinos Carabobo S.A, es reconocida por la producción de harina de trigo de calidad que se obtiene del procesamiento del grano de trigo, un proceso que abarca gran cantidad de maquinaria y que se ve interrumpido con bastante frecuencia por paradas no programadas en la planta, para tener un proceso de producción eficiente se requiere garantizar el funcionamiento y la disponibilidad de las máquinas involucradas en el proceso, por lo tanto se requiere de una correcta gestión de mantenimiento industrial y es por ello que este estudio tiene el objetivo

de elaborar un plan de mantenimiento que permita mejorar el rendimiento de un proceso de producción y reducir las paradas no programadas en la planta.

Por su parte el capítulo I, explica todo lo referente a la empresa y departamento donde se realizará el estudio, su historia, valores, estructura organizativa, objetivos y otros aspectos relacionados que se requieren conocer para conocer de forma general a la organización.

Asimismo, el capítulo II, llamado el problema, consiste en plantear la problemática a tratar en la investigación, el problema encontrado durante el inicio del estudio, los objetivos del mismo, la justificación de la investigación, así como también las limitaciones y el alcance que tendrá la misma.

En este mismo contexto, el capítulo III consiste en el marco teórico, en este se presentan los antecedentes, que consisten en la revisión de estudios relacionados llevados a cabo previamente sobre la temática del estudio, también se presenta el desarrollo de la teoría relacionada al mismo y se definen los términos básicos que son necesarios conocer para un mejor entendimiento del trabajo.

En el capítulo IV, se presenta el marco metodológico, donde se define la metodología a utilizar para el cumplimiento de los objetivos, se establece el tipo y nivel de la investigación, las técnicas e instrumentos a utilizar y las fases metodológicas para la consecución de los objetivos. Adicionalmente, en el capítulo V se mencionan los recursos humanos, materiales y el tiempo con el que se dispone para el correcto desarrollo de la investigación.

CAPÍTULO I

LA EMPRESA

1.1 Descripción De La Empresa

1.1.1 Ubicación de La Empresa

Molinos Carabobo S.A. (MOCASA), ubicada en la Av.92, Zona Industrial, La Guacamaya, Edif. Mocasa Vía Tocuyito, Valencia, Edo. Carabobo.

1.1.2 Razón Social

MOCASA, MOLINOS CARABOBO, S.A.

1.1.3 Reseña Histórica

MOCASA, surge en Valencia el 21 de marzo de 1990, como una empresa dedicada a la producción y distribución de materia prima derivada del trigo, fundada por un oriundo de Italia quien con iniciativa emprendedora decidió abrirse horizontes en Venezuela y tras largos años de trabajo, esfuerzo, constancia y dedicación, decide invertir en el país construyendo una empresa al servicio del sector alimenticio procesando uno de los cereales más importante a nivel mundial, el trigo.

La empresa comenzó con un solo molino, específicamente el Molino “A” el cual trabajaba solamente con Trigo Durum (Trigo Duro) para ese entonces la empresa solo estuvo produciendo sémola para la elaboración de pastas alimenticias de alta calidad (Sémola Durum). El Molino “A” inicialmente alcanzaba una producción total de 90 toneladas por día. La sémola es la principal materia prima que se obtiene de la molienda de Trigo Durum (Trigo Duro) la cual representa el entre el 75% y

80% del producto Total, la sémola Durum es un producto de alta calidad con excelentes valores nutritivos.

Luego la empresa en miras de abarcar otros sectores del mercado y de ampliar la gama de productos en el año 1994 construye otro molino, el Molino “B” con una capacidad de producción de 160 toneladas por día, el mismo fue específicamente preparado para la molienda del Trigo Durum, del cual se obtienen productos como Sémola, Afrecho, Harinilla y el Molino “A” sufre una modificación en el diagrama de proceso de tal forma que sirviera para moler Trigo Blando (NS, HR, CWRS) y se aumentó su capacidad a 150 toneladas por día desde ese momento el molino “A” se utilizó para moler trigo blando y producir Harina para panificación o para pastas, Harinilla, Afrecho. Este fue el comienzo de la producción de harina para panificación de alta calidad.

En el año 1999, el Molino “A” se modifica y se eleva su capacidad a 180 toneladas por día, y de esta forma aumenta la capacidad de respuesta a los clientes de la compañía. Años más tarde a mediados del año 2001, la empresa fue atendiendo un sector más amplio del mercado con lo cual se vio en la necesidad de crecer y construye otro molino, el Molino “C” con el cual se produce Harina para panificación o para pastas, Afrecho y Harinilla, este molino tiene una capacidad de 300 toneladas por día. Posteriormente en el año 2006, el Molino “D” el cual tiene capacidad de 400 toneladas por día y se utiliza para producir Harina para panificación o para pastas, Afrecho y Harinilla. El último molino fue Inaugurado recientemente en el año 2018, el Molino “E” tiene una capacidad de 500 toneladas por día y se utiliza para producir Harina para panificación y Afrecho.

MOCASA se ha consolidado en el mercado como uno de los principales productores de la mejor Harina (AVEIRO) de panificación que hay en el mercado, la misma se caracteriza por su constancia cualitativa como una harina por excelencia, por lo cual tiende a ser emulada por sus competidores. Esto se logra desde la rigurosa escogencia de la materia prima, hasta la comercialización del producto terminado.

1.1.4 Estructura Organizativa

MOLINOS CARABOBO, S.A.

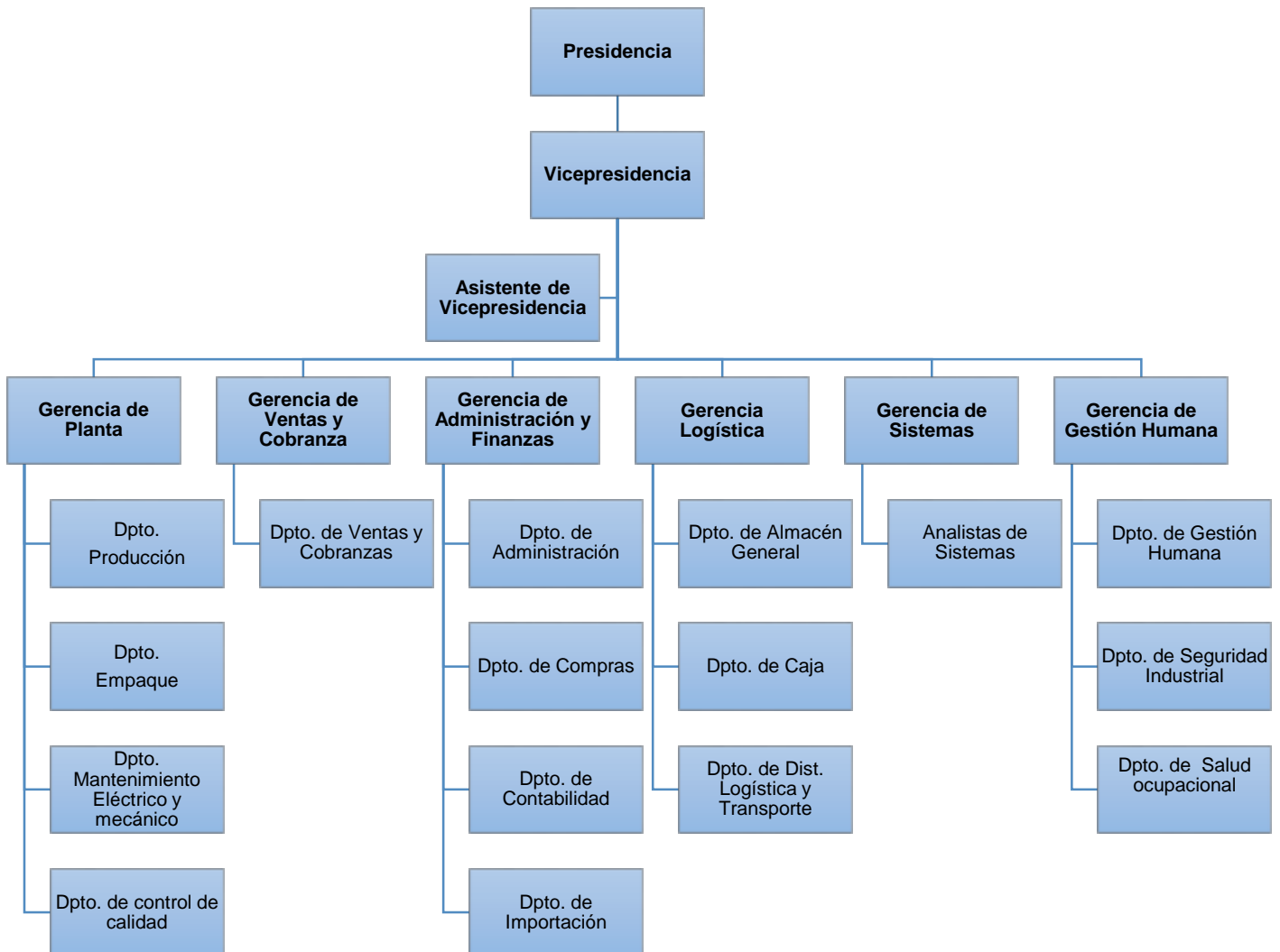


Gráfico 1: Estructura organizativa de Molinos Carabobo S.A.

Fuente: Departamento de Recursos Humanos de Molinos Carabobo S.A.

1.2 Misión, Visión, Objetivos y Valores de la Empresa

1.2.1 Misión

Somos una empresa Líder a nivel Nacional, en el procesamiento y comercialización de Harinas, Sémola y Afrecho de Trigo, superando con calidad las expectativas y necesidades de los consumidores; promoviendo y manteniendo relaciones de lealtad y compromiso con los clientes, proveedores, personal, comunidad y medio ambiente, apoyados por nuestro capital humano quienes se encuentran al servicio efectivo de los clientes.

1.2.2 Visión

Ser una empresa con tradición de calidad, innovación, tecnológico y mejora continua en la elaboración y comercialización de Harinas, Sémola y Afrecho de Trigo de primera calidad con altos estándares nutricionales; reconocida por la calidad de nuestros productos y una cultura de excelencia donde se promueve el aprendizaje, que se traducen en el liderazgo en el ámbito alimenticio en el mercado nacional y contribuyendo al desarrollo del país.

1.2.3 Objetivos

Nuestro principal objetivo es satisfacer las necesidades de nuestros consumidores brindándoles productos de primera calidad, promoviendo y manteniendo relaciones de lealtad y compromisos con los clientes.

1.2.4 Valores

- ✓ La Moral
- ✓ Prevención y seguridad en nuestros procesos de trabajo
- ✓ La Puntualidad
- ✓ La Responsabilidad
- ✓ Deseo de Superación
- ✓ La Honradez y Honestidad

- ✓ El Respeto por la Ley y los Reglamentos.
- ✓ El Respeto por el derecho de los demás.
- ✓ Amor por el trabajo.
- ✓ Ética Profesional y Mística de trabajo

1.3 Descripción del Departamento donde se desarrolla la Pasantía

El departamento de producción es el encargado de extraer los componentes del grano de trigo (materia prima) para obtener la harina y subproductos mediante la molienda de los granos.

En el proceso de producción, el trigo pasa por las siguientes etapas:

1.3.1 Proceso de Producción

Recepción

El proceso de recepción inicia con la llegada los buques de carga que traen la materia prima (trigo), generalmente trigo Estadounidense y Canadiense, al llegar a la planta el camión de transporte pasa por la romana para ser pesado y una muestra de trigo es analizada por el departamento de control de calidad para asegurar que el mismo cuenta con las características requeridas para obtener una harina de calidad. Si todo está correcto, el camión descarga el trigo en una tolva ubicada a nivel del suelo para luego ser transportado a los silos externos de almacenamiento.

Primera limpieza

Mediante elevadores cangilones el trigo (sucio) es transportado para iniciar su procesamiento, pasa por una balanza y luego a un imán para retener metales que podrían venir mezclados en los granos, seguidamente pasa a una separadora para separar impurezas, luego a una tarara (ver gráfico 1) que retira las impurezas pequeñas y grandes, como por ejemplo cáscaras sueltas y piedras, el producto pesado sigue hacia la despedradora (ver gráfico 2) para retirar los materiales pesados y separar las fracciones ligera y pesada del grano basado en el peso específico, mientras que el producto liviano pasa al separador cilíndrico Carter Day

para separar impurezas basándose en la forma y longitud de los granos, luego de eso el trigo limpio pasa a una balanza de flujo continuo para que el lote de trigo sea pesado y luego pase a la mojadora (ver gráfico 3) para humedecer el grano para ablandar el endospermo y facilitar el proceso de molienda. Luego de humedecer los granos, pasan a los silos de almacenamiento donde reposan durante 12 horas aproximadamente. Luego, el trigo pasa a un segundo proceso de mojado y descanso en silos.



Gráfico 2: Tarara y separadora.

Fuente: Departamento de producción MOCASA.



Gráfico 3: Despredadora y cilindro Carter Day.

Fuente: Departamento de producción MOCASA.



Gráfico 4: Mojadora.

Fuente: Departamento de producción MOCASA.

Segunda limpieza

Finalizado el segundo descanso, el trigo pasa a la cepilladora (ver gráfico 5) para limpiar las partículas adheridas a su superficie, como polvo, y eliminar microorganismos, seguidamente pasa a la tarara, esta es la última máquina de limpieza por la que pasa antes de ser molido para rectificar que los granos están completamente limpios antes de pasar a la molienda.

Al salir de la tarara, los granos pasan a una balanza para ser pesados ya que ahora no tienen las impurezas, continúan hacia un imán para rectificar que no queda ninguna partícula metálica en los granos, y en caso de quedar alguna, el imán se encarga de extraerla.



Gráfico 5: Tarara y cepilladora.

Fuente: Departamento de producción MOCASA.

Molienda y Cernido

Finalizada la etapa de limpieza y después de pasar por el imán, el trigo pasa a los bancos de cilindros para su trituración, los bancos de cilindros son los que se encargan de la trituración del grano, dejando el endospermo descubierto, la molienda inicia con la primera trituración, el trigo pasa al primer banco de cilindro (B1).

Luego de la respectiva trituración, mediante transporte neumático se eleva para pasar a los cernidores (plansifters) que se encargan de clasificar y separar el producto por tamaño de partículas pasándolo por tamices, de las roturas del trigo que se muele, se obtiene producto grueso, sémolas gruesas, finas y harina de rotura. El producto grueso que sale de los cernidores continúa hacia la siguiente trituración, parte del material fino avanza hacia la purificación (sasores) y al final del cernidor sale cierta cantidad de harina que siempre se obtiene durante cada trituración en los bancos, esta harina cae por gravedad a una rosca para mezclarse con la harina que se va obteniendo de cada trituración.



Gráfico 6: Bancos de molienda.

Fuente: Departamento de producción MOCASA.

Purificación

El material proveniente de los cernidores es una mezcla de salvado y endospermo, para separar el salvado que afecta la calidad de la semolina se utilizan los sasores, estos combinan los procesos de cernido y aspiración, las partículas livianas de salvado son succionadas mientras que el cernidor clasifica las partículas de endospermo.

Luego de la trituración, la mayor parte de la harina pasa por una fase intermedia de sémola que se obtiene de las trituraciones, los sasores (ver gráfico 7) se encargan de limpiarla y clasificarla por tamaño para su posterior molienda en cilindros de compresión.



Gráfico 7: Sasores y cernidores.

Fuente: Departamento de producción MOCASA.

Dosificación

Esta etapa del proceso consiste en añadir aditivos determinados a la harina obtenida.



Gráfico 8: Sistema de dosificación de aditivos.

Fuente: Departamento de producción MOCASA.

Almacenaje y Empaque

Luego de obtener harina y subproducto, se almacena en sus respectivos silos a granel que se encuentran internamente en la planta. En este mismo sentido, el

empaquetado es realizado a la harina, en sacos de 45 Kg con ayuda de maquinaria semiautomática. Por otra parte, el afrecho y sémola, subproductos del proceso, se descargan directamente a granel a los camiones para ser transportados a otras plantas de fabricación para elaborar pastas (sémola) y alimentos para animales (afrecho).

1.3.2 Estructura Organizativa del Departamento de Producción

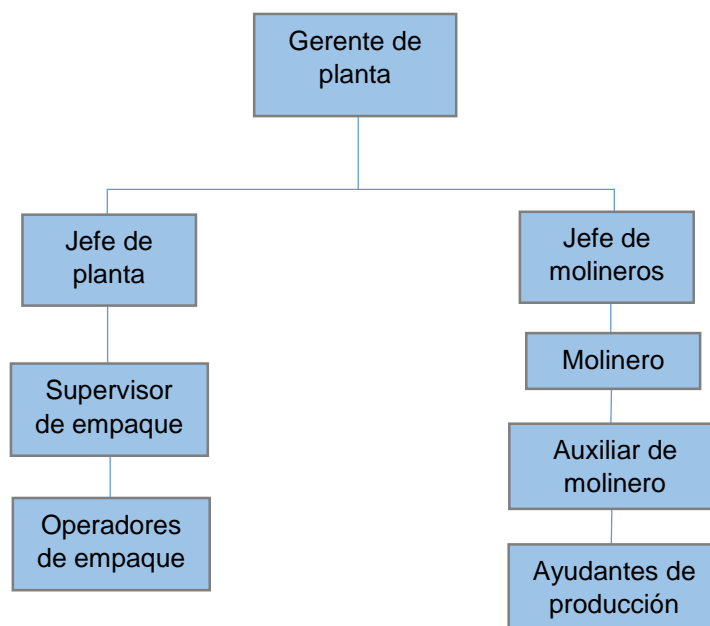


Gráfico 9: Estructura organizativa del departamento de producción de MOCASA

Fuente: Departamento de Producción de Molinos Carabobo S.A.

CAPÍTULO II

EL PROBLEMA

2.1 Planteamiento del problema

El trigo es la principal fuente de proteína vegetal en la alimentación humana, es el cereal más producido por detrás del maíz, el que mayor contenido proteínico posee y el más utilizado en el mundo para el consumo humano. Por otra parte, uno de sus productos derivados, la harina, es la base de muchos alimentos consumidos actualmente, siendo uno de los alimentos más antiguos y efectivos conocidos por la humanidad. El aumento de la demanda de productos panaderos y alimentos básicos, es el factor principal que impulsa el mercado de harina a nivel mundial.

El trigo es utilizado como harina refinada en la elaboración de cereales, desayuno, panes, pastas, que se consumen con otros alimentos de origen vegetal o animal, aporta carbohidratos, más de la mitad de la energía que consume el cuerpo humano debe provenir de ellos, es por ello que el trigo es un alimento importante dentro de una dieta balanceada. Como harina integral (incluye todas las partes de grano de trigo) es una fuente de calorías, proteínas y fibra para la dieta, por tal motivo es uno de los cereales más consumidos y demandados a nivel mundial.

El consumo per cápita mundial de trigo es el mayor de los cereales con 67.2 kg anuales en el año 2018, siendo el cereal más comercializado en el mercado internacional, mientras que un 23.8% se destina al mercado en cuestión, donde Rusia, Estados Unidos y Canadá son los principales exportadores.

Durante el ciclo comercial desde Julio del 2018 hasta Junio del 2019, se cosecharon 215.3 millones de hectáreas de trigo en todo el mundo, con una producción de 730.5 millones de toneladas. De la producción mundial, el 67.2% fue cosechado por los 5 productores principales: Unión Europea (18.7%) China (18%), India (13.7%), Rusia (9.8%) y Estados Unidos (7%).

En Sudamérica, el pronóstico para la producción de trigo fue alto para 2015, a pesar de la menor superficie que fue plantada en Argentina, el cual es el país con mayor producción y exportación de la región, 4.2 millones de hectáreas serán sembradas en dicho país, cifra por debajo del año 2014, sin embargo, el pronóstico para el año 2015 estimó una producción cercana a los 12 millones de toneladas en ese año.

Por otra parte, en Venezuela, se requiere llevar a cabo muchos cambios políticos y económicos para poder importar los insumos necesarios para poder cosechar trigo de la mejor forma posible, solo pequeños sectores han sido capaces de sembrar trigo, sin embargo, ha sido de forma experimental, es por ello que el consumo de este cereal en Venezuela, depende prácticamente de las importaciones.

En Venezuela, específicamente en el estado Carabobo, se encuentra la empresa Molinos Carabobo S.A. (MOCASA), la cual es una empresa que se encarga del procesamiento de trigo para la fabricación de subproductos, la misma cuenta con experiencia y reconocimiento en el mercado de harinas de trigo de panificación.

En la actualidad, la empresa cuenta dos plantas, la planta 1, la cual es más antigua y contiene los molinos A, B, C y D, y la planta 2, la cual es una planta más nueva donde se encuentra el molino E. Desde el año 2020 y sobre todo en la actualidad, la empresa MOCASA ha estado presentando algunos problemas en el proceso de producción de la planta 1, destacando entre ellos las paradas no programadas de los molinos, lo cual afecta al proceso de producción, ocasionando pérdidas de tiempo, interrupciones en la producción, menos rendimiento, productividad y reducción en la disponibilidad de los molinos.

Cuadro 1. Paradas de los molinos desde 16 de mayo a 20 de octubre.

Número de paradas desde 13 de mayo a 20 de octubre					
Paradas	Molinos				Totales
	A	B	C	D	
Programadas	21	14	17	11	63
No programadas	97	71	75	40	283
Total paradas					346
% Paradas programadas					18%
% Paradas no programadas					82%

Fuente: Gómez, J. (2021).

Con los datos que se visualizan en la cuadro (ver cuadro 1), es importante destacar que estos abarcan el período de dos (5) meses y siete (7) días, desde el 16 de mayo hasta el 20 de octubre, por otra parte las operaciones del molino D se reanudaron el 29 de mayo luego de estar varios meses parado, en la cuadro se puede apreciar que las paradas no programadas constituyen el 82% de las paradas de la planta, por lo tanto, como se mencionó anteriormente, es evidente que se presenta un problema para el proceso de producción y para la empresa.

Asimismo, la empresa no lleva un registro cuantificado de los problemas relacionados a los tiempos de parada de los molinos, se requiere analizar las toneladas de trigo que se dejan de moler debido a las paradas no programadas, el nivel de criticidad de las máquinas y las causas de las paradas, asimismo, no posee una planificación o propuesta de mejora que le permita la reducir las paradas no programadas de la planta a corto, medio y largo plazo, es por ello que, el proceso de producción se mantendrá con una elevada frecuencia de paradas si no se traza un plan de mejora lo más pronto posible que le permita mejorar la eficiencia del proceso.

Por lo mencionado anteriormente, es conveniente realizar una evaluación del proceso de producción para diagnosticar las causas de las paradas no programadas

que se han estado presentando en los molinos de la planta 1, realizar un análisis e interpretación de información recopilada para realizar una propuesta con ayuda de las herramientas de ingeniería industrial, que permita solucionar o reducir el problema mencionado anteriormente.

2.2 Formulación del problema

Ante la problemática se plantea la siguiente interrogante:

¿Cómo se puede reducir el número de paradas no programadas de los molinos de la empresa Molinos Carabobo S.A. (MOCASA) para optimizar el proceso de producción?

2.3 Objetivos de la investigación

2.3.1 Objetivo General

Elaborar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad en la empresa Molinos Carabobo S.A. (MOCASA), para la reducción de las paradas no programadas de los molinos de la planta 1 y aumento de la productividad del proceso de producción.

2.3.2 Objetivos Específicos

- Diagnóstico de la situación actual en el departamento de producción de la empresa MOCASA.
- Analizar las fallas en función a la metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad considerando la taxonomía de las partes que componen los molinos de la empresa MOCASA.
- Elaborar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad a los molinos de la planta 1 de la empresa MOCASA.
- Evaluar la factibilidad operativa, técnica, social y económica del plan de mantenimiento propuesto.

2.4 Justificación de la Investigación

Desde su descubrimiento hasta la actualidad, el trigo ha formado parte de la base de la alimentación en distintas civilizaciones, su consumo abarca a una gran cantidad de población incluso hoy en día, donde la industrialización de la sociedad ha permitido sacarle el mayor de los provechos al grano de trigo. El aumento de la demanda de productos panaderos y alimentos básicos, es el factor principal que impulsa el mercado de harina a nivel mundial.

Es por ello que, dentro de una empresa procesadora de trigo, debido a la importancia que este representa en la dieta de la población, es importante que la empresa cuente con un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad que le permita aumentar la disponibilidad de los molinos para atender a la demanda y requerimientos de sus clientes de la forma más eficiente posible.

El desarrollo de la investigación es importante ya que las paradas no programadas afectan la producción, interrumpiéndola y reduciendo la productividad, eficiencia y disponibilidad de la planta, así como también los costos y el rendimiento general del proceso de producción.

El desarrollo de la investigación se justifica desde el punto de vista empresarial de tal forma que una mejora en la disponibilidad de los molinos y en la optimización del proceso de producción, le permitirá tener una reducción de costos, obtener mayores beneficios, mayor productividad y mayor disponibilidad en cada uno de los molinos para ajustarse a las demandas del mercado y mantener la competitividad. Para los dueños y accionistas de la empresa puede suponer una mayor rentabilidad de la empresa.

En lo referente al contexto universitario, esta investigación se justifica ya que este tipo de estudios demuestran la capacidad que poseen sus estudiantes para resolver o proponer mejoras a problemas que se presentan en el campo laboral, es por ello que la realización de una buena investigación y trabajo de grado permite mejorar la imagen y marca de la empresa a nivel nacional.

En cuanto al contexto social, el estudio permitirá visualizar a otras empresas y trabajadores del mismo sector, la importancia de reducir las paradas no programadas en un proceso de producción, y la importancia de reducirlas un mejor funcionamiento del proceso, para lograr aumentar la productividad, rentabilidad y eficiencia de sus procesos de producción.

Para el autor de la investigación, esta representa un desafío que le permitirá entrar en el mundo laboral y visualizar el funcionamiento de una empresa en general, específicamente el proceso de producción, por lo tanto el desarrollo del trabajo de investigación le permitirá aplicar los conocimientos adquiridos en los años de estudio, brindando un soporte a la línea de investigación de ciencias cognitivas y aplicadas.

2.5 Alcance

La investigación incluye la evaluación del proceso de producción de la empresa MOCASA, específicamente en la planta 1, la cual posee los molinos A, B, C, D, para realizar un diagnóstico de la situación actual del proceso de producción en la misma, y analizar los factores que afectan al funcionamiento normal del proceso producción. A partir del análisis en cuestión, se elaborará un plan de acción y se plantearán propuestas que permitan optimizar y mejorar el proceso de producción, donde la implementación de la misma queda sujeta a decisión de la empresa.

2.6 Limitaciones

La información proporcionada por la empresa está sujeta a la disponibilidad de registros y reportes que esta tenga disponibles.

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes

Según Arias (2012) los antecedentes “reflejan los avances y el estado actual del conocimiento en un área determinada y sirven de modelo o ejemplo para futuras investigaciones”.

Fustamante, Luis. (2020) realizó un trabajo de grado titulado: **“Propuesta de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad en la en la planta chancadora de la empresa Astaldi-Piura”**, para optar al título de Ingeniero Mecánico Eléctrico en la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, ubicada en Chiclayo, Perú. El objetivo general del trabajo era proponer un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad en la planta chancadora de la empresa Astaldi-Piura. Se trató de un trabajo tipo proyecto factible donde luego de aplicar el análisis modal de fallos y efectos y análisis de criticidad, se elaboró una propuesta de mantenimiento cuya implementación sería capaz de aumentar la eficiencia general de los equipos, la producción y disminuir los costos de mantenimiento.

Esta investigación constituye un aporte importante para el análisis modal de efectos y fallas, cálculo de criticidad la maquinaria, vida útil de las máquinas y efectividad global de los equipos.

Otra investigación de interés, fue la desarrollada por Holmquist, Yyalu y Ventura, Nelson. (2017) en su trabajo de grado titulado **“Desarrollo de un plan de mantenimiento a los equipos pertenecientes al área de chasis en el departamento de TCF en la empresa FCA Venezuela L.C.C.”**, para optar al título de Ingeniero Industrial en la Universidad José Antonio Páez, Carabobo. El objetivo general de la investigación consistió en el desarrollo de un plan de mantenimiento para los equipos pertenecientes al área de chasis en el departamento

TCF, con la finalidad de eliminar las paradas no planificadas y garantizar el correcto funcionamiento de la empresa FCA Venezuela L.L.C. Se trató de una investigación tipo proyecto factible donde los autores lograron analizar las causas encontradas mediante técnicas de priorización de fallas.

En ese mismo sentido, constituye un aporte destacado por la aplicación del diagrama causa-efecto, diagrama de Pareto y técnica del grupo nominal, para la detección de las principales fallas que afectaban el funcionamiento de los equipos en el área de chasis.

Por otro lado, Ramírez, Julio y Moreno, Hugo. (2017). realizaron un trabajo de grado titulado: **“Elaboración de un análisis de criticidad y disponibilidad para la atracción X-Treme del Parque Mundo Aventura, tomando como referencia las normas SAE JA1011 y SAE JA1012”**, para optar al título de Ingeniero Eléctrico e Ingeniero Mecánico en la Universidad Distrital Francisco José De Caldas Facultad Tecnológica, Bogotá. El objetivo general del estudio fue elaborar un análisis de criticidad y disponibilidad de los componentes y partes que conforman los sistemas eléctricos y mecánicos de la atracción X-Treme. En el trabajo los autores concluyeron que la atracción del parque tenía un déficit de disponibilidad en los meses de octubre y noviembre durante todos los años de estudio debido a la larga duración del mantenimiento programado, es por ello que tuvieron que replantear las actividades de tal procedimiento.

Este trabajo proporciona un gran aporte ya que demuestra la metodología del RCM basada en las normas SAE JA1011 y SAE JA1012, la clasificación taxonómica de componentes de acuerdo a la norma ISO 14224, el análisis de disponibilidad, los cálculos de criticidad de equipos y el análisis modal de efectos y fallas con el número de prioridad de riesgo para cada equipo estudiado.

Siguiendo el orden de ideas, Sánchez, Argenis. (2017) realizó un trabajo de grado titulado: **“Propuesta de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad, en las bombas G-4204 A/B de la unidad THDA”**, para optar al título de Magíster en Ingeniería Mecánica en la Universidad de Carabobo. El

objetivo general del trabajo consistió en proponer un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad, en las bombas G-4204 A/B de la Unidad de THDA de la Planta BTX, de la Refinería El Palito. Se trató de una investigación descriptiva ya que tenía la finalidad de caracterizar los modos de fallas de las bombas en estudio y los efectos que estos modos de falla pueden generar. En el estudio se concluyó que el 36,4% de los modos de falla podían ser prevenidos o mitigados con una misma tarea de mantenimiento preventivo.

Este estudio posee un aporte importante para la elaboración de un plan de mantenimiento tomando en consideración la realización del análisis de modo y efectos de falla (AMEF) y matriz de criticidad como elementos básicos antes de la elaboración del plan de mantenimiento propuesto.

Salcedo, Jorge. (2016) realizó un trabajo de grado titulado: **“Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para la llenadora rotativa de la línea de producción de salsa a base de tomate y ketchup de la empresa Alimentos Garmi C.A”**, para optar al título de Ingeniero de Procesos Industriales en la Universidad de Central de Venezuela, Cagua. El objetivo general del trabajo en cuestión era proponer un plan de mantenimiento para la llenadora rotativa de la línea de producción de salsa de tomate y ketchup de la empresa Alimentos Garmi C.A. Consistió en una investigación proyectiva donde se logró encontrar el componente crítico con mayor probabilidad de sufrir una avería en la máquina estudiada y se establecieron actividades de mantenimiento basadas en el análisis de criticidad categorizando los componentes más críticos con ayuda del análisis modal de fallos y efectos (AMEF).

En tal sentido, este estudio representa un aporte interesante ya que utilizó herramientas probabilísticas y gráficas para conocer la ocurrencia de las fallas con su respectiva probabilidad de que ocurriesen, además posee también el análisis de criticidad de componentes y el análisis modal de efectos y fallas.

3.2 Bases Teóricas

3.2.1 Mantenimiento

Hernández (2001), establece que el mantenimiento “es una disciplina integradora que garantiza la disponibilidad, funcionalidad y conservación del equipamiento, siempre que se aplique correctamente, a un costo competitivo. Esto significa un incremento importante en la vida útil de los equipos y sus prestaciones.”

3.2.2 Tipos de mantenimiento

Mantenimiento preventivo

Según la Norma COVENIN 3049-43, el mantenimiento preventivo “es el que utiliza todos los medios disponibles, incluso los estadísticos para determinar la frecuencia de las inspecciones, revisiones, sustitución de piezas claves, portabilidad de aparición de averías, vida útil y otras. Su objetivo es adelantarse a la aparición o predecir la presencia de las fallas.”

Mantenimiento correctivo

Según la Norma COVENIN 3049-43, el mantenimiento correctivo es el que “comprende las actividades de todo tipo encaminadas a tratar de eliminar la necesidad de mantenimiento corrigiendo las fallas de una manera integral a mediano plazo.”

Mantenimiento predictivo

Según Moubrey (1997), las tareas de mantenimiento predictivo “implican controlar si algo está fallando” (p.159). En otras palabras, el mantenimiento predictivo se aplica con el objetivo de conocer y monitorear el estado de los equipos más indispensables de una empresa, con el fin de saber su estado actual de funcionamiento.

3.2.3 Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)

Según Huggett (2005), el mantenimiento centrado en confiabilidad “es una metodología de análisis sistemático, objetivo y documentado, que puede ser

aplicado a cualquier tipo de instalación industrial, útil para el desarrollo u optimización de un plan eficiente de mantenimiento” (p.36).

El RCM es una metodología para elaborar planes de mantenimiento, desarrollado durante 1960 y 1970 para mejorar la seguridad y confiabilidad de sus equipos de las organizaciones y determinar las políticas para mejorar el desempeño de sus activos físicos y manejar las consecuencias de sus fallas, ha sido utilizada para determinar estrategias de mantenimiento en la mayoría de áreas de trabajo de los países industrializados.

Es una técnica de organización de actividades para la gestión del mantenimiento mediante el desarrollo de programas que se basan en la confiabilidad de los equipos.

Actualmente es utilizado tanto para identificar tareas de mantenimiento como para analizar el riesgo de los equipos, clasificar la importancia de componentes para el mantenimiento o detectar áreas de mejora para equipos complejos.

3.2.4 Tiempo medio entre fallas (MTBF)

Es uno de los principales indicadores de disponibilidad de un equipo, indica el promedio de tiempo transcurrido entre una falla y la siguiente en un determinado equipo o sistema. Mientras más alto sea el MTBF, más confiable será el equipo o sistema en cuestión.

3.2.5 Análisis de criticidad

El análisis de criticidad es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones, direccionando el esfuerzo y los recursos a las áreas donde se requiera mejorar la fiabilidad operacional.

Gutiérrez (2007) afirma que “cuando se habla de análisis de criticidad se hace referencia a la gestión del riesgo asociado a la ocurrencia de un evento o falla.”



Gráfico 10: Matriz de criticidad

Fuente: Aprendizaje virtual Pemex.

3.2.6 Análisis de modos y efectos de fallo (AMEF)

Es una metodología que fue desarrollada con el propósito de evaluar la confiabilidad de equipos, en la medida en que determina los efectos de las fallas de los mismos.

Según la ISO 22301, el análisis de modo y efectos de fallo es una herramienta que permite determinar acciones de prevención a partir de la identificación de riesgos en el análisis de potenciales fallas en: productos, servicios, procesos o sistemas, con el fin de establecer los controles adecuados que eviten la ocurrencia de las mismas.

3.2.7 Árbol Lógico de Decisiones

El árbol lógico de decisión RCM es una herramienta que permite seleccionar actividades adecuadas de mantenimiento con el objeto de evitar la ocurrencia de cada modo de fallo o disminuir sus posibles efectos. Generalmente se aplica una vez finalizado el análisis AMEF, para escoger las tareas de mantenimiento.

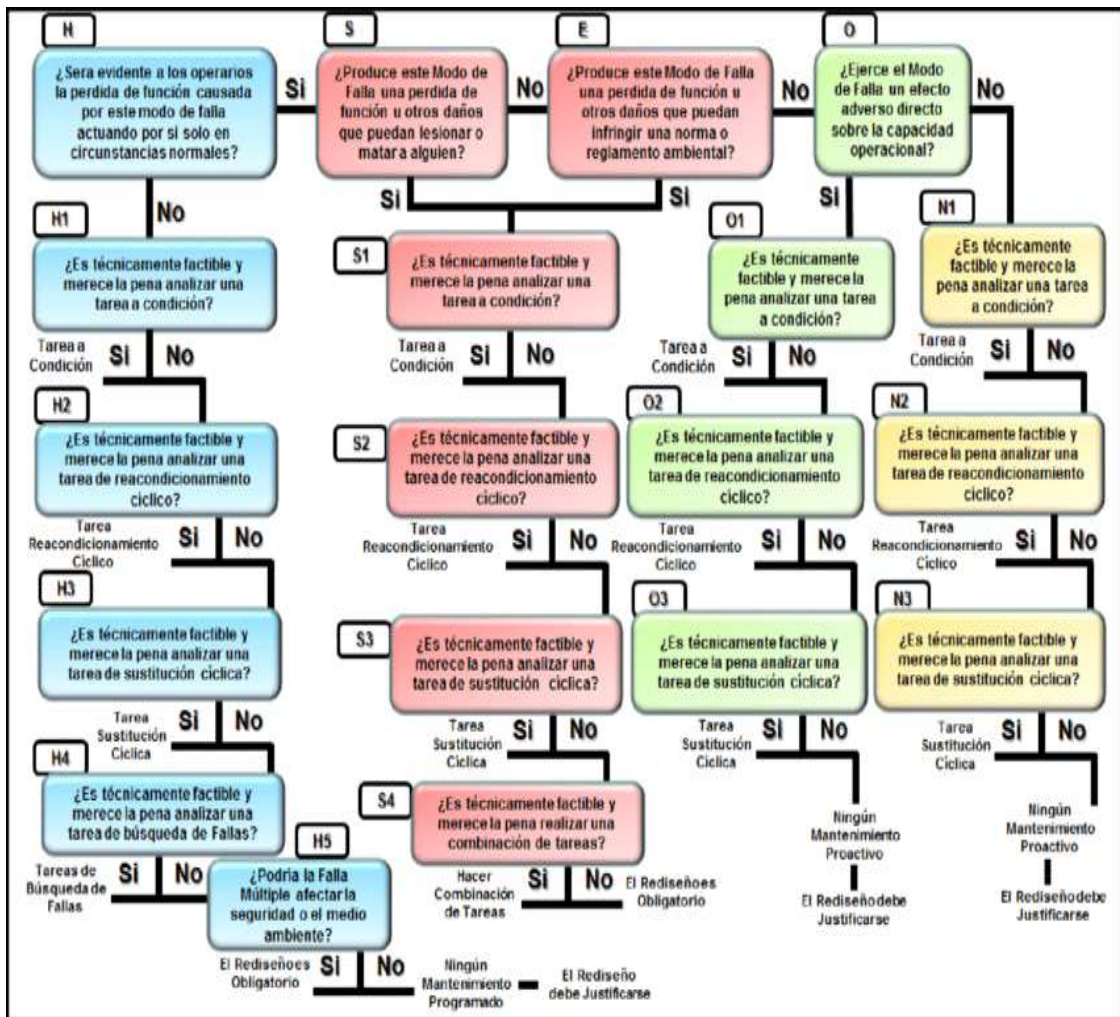


Gráfico 11: Árbol lógico de decisiones

Fuente: SAE JA 1011

3.2.8 Diagrama Causa – Efecto

Gutiérrez (2011) define el diagrama causa-efecto como “una herramienta que ubica y esquematiza todas las causas potenciales que generan la falla o el defecto en el servicio de mantenimiento o de producción”.

Este diagrama es una herramienta que facilita el análisis de la causa raíz de un determinado problema.

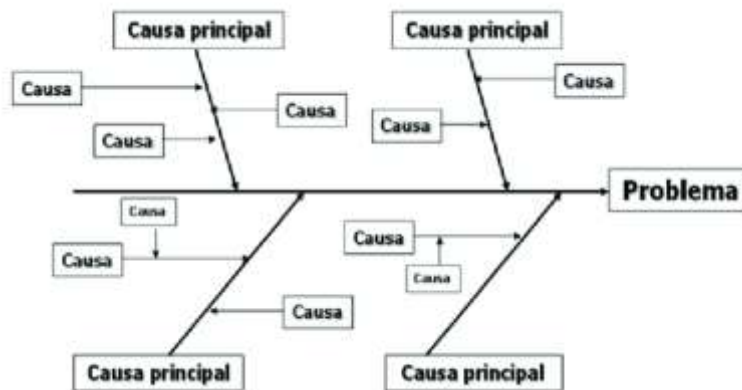


Gráfico 12: Diagrama causa-efecto general

Fuente: ResearchGate

3.2.9 Diagrama de Pareto

Es una gráfica que organiza diversas clasificaciones de datos por orden descendente, de izquierda a derecha, mediante barras simples luego de haber recolectado los datos para calificar las causas. Es una distribución de frecuencias ordenadas por orden de frecuencia. La gráfica permite establecer prioridades y detectar los problemas más relevantes.

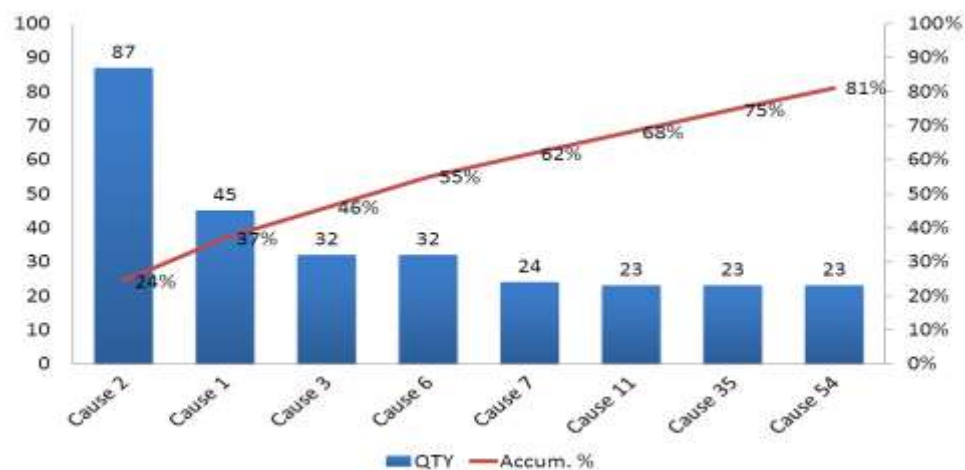


Gráfico 13: Análisis causa-raíz con Diagrama de Pareto

Fuente: Consultoría procesos

3.2.10 Norma SAE JA1011

La norma SAE JA1011 especifica los requerimientos que debe cumplir un proceso para poder ser denominado un proceso RCM.

Según la norma, las 7 preguntas básicas del proceso RCM son:

1. ¿Cuáles son las funciones deseadas para el equipo en estudio?
2. ¿Cuáles son las fallas funcionales asociadas con estas funciones?
3. ¿Cuáles son las posibles causas de cada falla funcional?
4. ¿Cuáles son los efectos de cada una de las fallas?
5. ¿Cuál es la consecuencia de cada falla?
6. ¿Qué se puede hacer para evitar o minimizar la consecuencia de la falla?
7. ¿Qué se hace si no se encuentra ninguna tarea para evitar o minimizar la consecuencia de la falla?

3.2.11 Norma ISO 14224

Es una norma internacional que ofrece una base para la recopilación y estructuración de datos de confiabilidad y mantenimiento para equipos de instalaciones en industrias de petróleo, gas natural y petroquímica, datos que sirven para la gestión de los activos durante su ciclo de vida.

3.2.12 Taxonomía

La norma ISO 14224 define la taxonomía como la clasificación sistemática de equipos o sistemas en grupos genéricos basada en sus características comunes (localización, uso, tipo de equipo, etc.), la taxonomía es representada en forma de pirámide como se observa en el gráfico y representa la ubicación del equipo o activo dentro de la organización. Para realizar el RCM, se puede utilizar como insumo la taxonomía, el diagrama de límites de equipo y la subdivisión de equipo que recomienda esta norma.

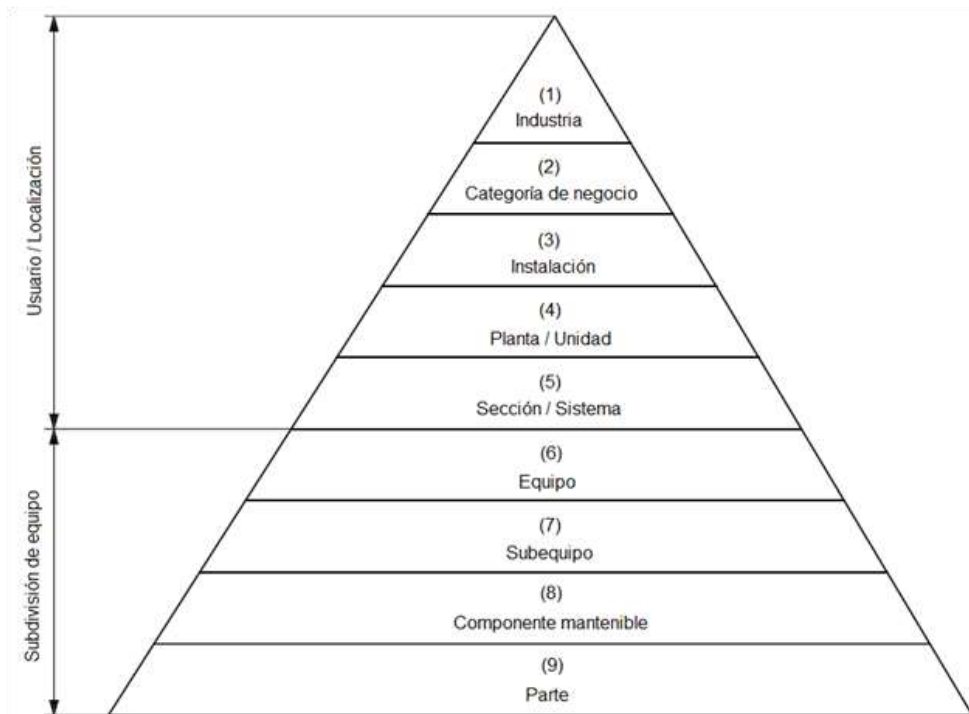


Gráfico 14: Taxonomía de equipos con niveles taxonómicos

Fuente: Redalyc.org

3.2.13 Número de prioridad de riesgo (NPR)

Es un cálculo utilizado para cuantificar el riesgo que conlleva un fallo de una maquina o instalación, es un valor que establece una jerarquización de las fallas mediante la multiplicación del grado de ocurrencia, severidad y detección, para obtener la prioridad con la que debe atacarse cada modo de falla, siendo los NPR más altos los que tendrán mayor prioridad.

$$\text{NPR} = \text{Gravedad} * \text{Ocurrencia} * \text{Detección}$$

3.2.14 Mantenimiento productivo total (TPM)

También conocido como TPM, defiende la idea de que todos los trabajadores de la fábrica deben ser parte del mantenimiento diario, en lugar de que esta responsabilidad se atribuya totalmente a los técnicos de mantenimiento, su objetivo es no detener la producción, eliminar tiempos de paro imprevistos, eliminando defectos buscando alcanzar los cero defectos.

Es una metodología que permite aumentar disponibilidad y confiabilidad de las operaciones, equipos y sistemas aplicando conceptos de prevención, cero defectos, cero accidentes y participación total de las personas. Uno de sus objetivos es la mejora en la eficiencia de los equipos mediante la reducción de las fallas.

3.3 Bases Legales

Pérez (2009) define las bases legales como “el conjunto de leyes, reglamentos, normas, decretos, etc, que establecen el basamento jurídico sobre el cual se sustenta la investigación”.

En este mismo contexto, ya que se está realizando pasantías en horario tiempo completo, la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999) en el capítulo V sobre los derechos sociales y de las familias, el artículo 90 establece que el horario tiempo completo no puede sobrepasar las 8 horas diarias, así como también las horas extraordinarias no son obligatorias.

Artículo 90. La jornada de trabajo diurna no excederá de ocho horas diarias ni de cuarenta y cuatro horas semanales. En los casos en que la ley lo permita, la jornada de trabajo nocturna no excederá de siete horas diarias ni de treinta y cinco semanales. Ningún patrono o patrona podrá obligar a los trabajadores o trabajadoras a laborar horas extraordinarias. Se propenderá a la progresiva disminución de la jornada de trabajo dentro del interés social y del ámbito que se determine y se dispondrá lo conveniente para la mejor utilización del tiempo libre en beneficio del desarrollo físico, espiritual y cultural de los trabajadores y trabajadoras.

En otro orden de ideas, al tratarse de una empresa de alimentos, existen muchas normativas a tomar en cuenta, el reglamento general de alimentos establece una serie de condiciones que se deben tener en cuenta cuando se tratan alimentos. Tomando en consideración el Reglamento general de alimentos, en su capítulo I, que habla sobre los alimentos en general, se tienen una serie de condiciones.

Artículo 3. Se entiende por alimento, a los efectos de este Reglamento, no solamente las sustancias destinadas a la nutrición del organismo humano, sino también, las que forman parte o se unen en su preparación composición y

conservación; las bebidas de todas clases y aquellas otras substancias, con excepción de los medicamentos, destinados a ser ingeridos por el hombre.

Artículo 4. Todo alimento debe ser de la naturaleza y calidad que solicita el comprador u ofrezca el vendedor; y no podrá ofrecerse a la venta cuando se encuentre en malas condiciones, contravenga lo dispuesto en este Reglamento, o cuando por cualquier otro motivo pueda ser nocivo a la salud.

Artículo 5. Para que un alimento sea considerado como nocivo a la salud, y por consiguiente no sea permitido ofrecerlo al consumo, bastará con que la autoridad sanitaria abrigue dudas acerca de su inocuidad, ya sea en sus efectos mediatos o inmediatos.

Artículo 6. Se prohíbe la importación, depósito y venta de alimentos alterados, entendiéndose por tales, aquellos que por la acción de causas naturales hayan sufrido averías, deterioros o perjuicios que, a juicio de la autoridad sanitaria, modifiquen su aspecto, calidad, composición o condición higiénica.

Artículo 7. Se prohíbe la importación, depósito y venta de alimentos adulterados, entendiéndose por tales, aquellos que por hechos imputables a sus fabricantes, importadores, almacenistas, expendedores o a cualquier otra persona, no presenten características idénticas a las que sirvieron de base para la autorización sanitaria, si se trata de alimentos registrados, o no reúnen los requisitos exigidos por el Ministerio de Sanidad y Asistencia Social, si se trata de alimentos no registrados.

Artículo 8. Los productos fabricados a semejanza de los genuinos deberán responder a las características propias de los tipos originales, y serán distinguidos con la calificación de "estilo" o "tipo".

Artículo 9. Los productos de apariencia semejante a la de los productos genuinos pero de composición distinta, serán distinguidos con la calificación de "imitación".

Artículo 10. Se prohíbe la importación, fabricación, depósito y expendio de alimentos cuyo aspecto externo imite o se asemeje a objetos que contengan substancias tóxicas o peligrosas.

Por otra parte, en el capítulo IV, que trata de los utensilios, se tienen también una serie de consideraciones para la manipulación de alimentos.

Artículo 16. La manipulación y expendio de alimentos requiere el uso de utensilios adecuados, a juicio de la autoridad sanitaria.

Artículo 17. Los utensilios usados en la preparación, conservación o expendio de alimentos no deben contener sustancias capaces de alterarlos.

Artículo 18. Los sistemas y materiales empleados en la confección, revestimiento, soldadura, unión y cierre de recipientes, deberán ser expresamente autorizados por el Ministerio de Sanidad y Asistencia Social

Artículo 19. No podrán utilizarse envoltorios que por haber sido usados o por cualquier otra causa, puedan hacer impropios los alimentos para el consumo humano, a juicio de la autoridad sanitaria

Artículo 20. Los equipos y utensilios empleados en la elaboración, depósito y expendio de alimentos serán sometidos a una rigurosa limpieza y tratamiento bactericida mediante procedimientos aprobados por la autoridad sanitaria local, salvo en el caso en que tales equipos y utensilios sean de un material destinado a ser usado una sola vez.

Artículo 21. Los tubos, canutillos, vasos, recipientes y otros envases de papel, cartón o materiales similares, empleados para servir alimentos, deben mantenerse a prueba de toda contaminación y ser inutilizados inmediatamente después de su uso.

3.4 Definición de Términos Básicos

Confiabilidad: Es la probabilidad de que un equipo o sistema opere sin falla por un determinado período de tiempo bajo unas condiciones operativas previamente establecidas.

Criticidad: Nivel de impacto e importancia que tiene una máquina o equipo en los procesos de una organización.

Disponibilidad: Se refiere a la proporción de tiempo que un equipo ha estado en disposición de producir, independientemente de que finalmente lo haya hecho o no por razones ajenas a su estado técnico.

Efecto de falla: Es la manera en que una falla se manifiesta, se produce después de que el activo falla.

Falla: Evento inesperado que implica el mal funcionamiento o el cese en las funciones de los equipos antes del fin de su vida útil, lo que impacta en la productividad de la empresa.

Falla funcional: Evento que ocurre cuando se presenta una falla que impide al sistema en conjunto cumplir con su función principal.

Mantenibilidad: Característica de un elemento o sistema, asociada a la capacidad de ser recuperado para el servicio cuando se realiza una tarea de mantenimiento necesaria. En otras palabras, se refiere a la facilidad con que se pueden ejecutar tareas de mantenimiento a un equipo o activo.

Modos de falla: Son las posibles formas en que un sistema puede fallar, en otras palabras, la forma en que un activo presenta una falla funcional.

Sistema: Conjunto de elementos relacionados entre sí que funcionan como un todo con un mismo propósito.

Subsistema: Conjunto de partes e interrelaciones que se encuentran estructuralmente y funcionalmente dentro de un sistema mayor.

CAPÍTULO IV

MARCO METODOLÓGICO

El marco metodológico se refiere a la explicación de los mecanismos utilizados para el análisis de la problemática del estudio. Es el resultado de la aplicación sistemática de los conceptos expuestos en el marco teórico. En este mismo sentido, Arias (2012) afirma que el marco metodológico “incluye el tipo o tipos de investigación, las técnicas y los instrumentos que serán utilizados para llevar a cabo la indagación. Es el “cómo” se realizará el estudio para resolver el problema planteado” (p.110).

Por otra parte, se establece que el marco metodológico es el conjunto de procedimientos lógicos, tecno operacionales implícitos en todo proceso de investigación, con el objeto de ponerlos de manifiesto y sistematizarlos; a propósito de permitir descubrir y analizar los supuestos del estudio y de reconstruir los datos, a partir de los conceptos teóricos convencionalmente operacionalizados (Balestrini, 2006, p.125). En resumen, el marco metodológico busca precisar mediante un lenguaje sencillo, los métodos, procedimientos e instrumentos utilizados por el investigador para cumplir con los objetivos del estudio.

4.1 Tipo de Investigación

La investigación se encuentra dentro del marco de proyecto factible, ya que consiste en una propuesta operativa viable para la solución de un determinado problema a partir de un diagnóstico.

Por su parte, la UPEL (2016) define el proyecto factible como “un estudio que consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales” (p.21).

4.2 Diseño de la Investigación

El diseño metodológico consiste en el establecimiento de un plan, con estrategias y procedimientos que permitirán la recolección de datos, su procesamiento, análisis e interpretación con el fin de dar respuesta a los problemas planteados.

Tamayo y Tamayo (2003) establece que el diseño de la investigación “es un planteamiento de una serie de actividades sucesivas y organizadas, que pueden adaptarse a las particularidades de cada investigación y nos indican los pasos y técnica a utilizar para recolectar y analizar los datos” (p.108).

Entonces, se trata de una investigación de campo y documental ya que se utilizarán métodos de recolección directa para la obtención de datos en el mismo lugar donde se producen. También, se buscará obtener y analizar información con ayuda de fuentes documentales como libros, archivos de documentos, registros, entre otros.

En este mismo contexto, Tamayo y Tamayo (2003) establece que la investigación de campo “cuando los datos se recogen directamente de la realidad, por lo cual los denominamos primarios, su valor radica en que permiten cerciorarse de las verdaderas condiciones en que se han obtenido los datos, lo cual facilita su revisión o modificación en caso de surgir dudas” (p.110).

Arias (2012) afirma que la investigación documental “es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas” (p.27).

4.3 Nivel de la Investigación

La investigación se encuentra situada dentro del nivel descriptivo y explicativo, ya que se trata de la búsqueda de las características del fenómeno estudiado y el porqué de los hechos. Según Arias (2012) la investigación descriptiva consiste “en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento”. Por su parte también establece que la

investigación explicativa “se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto”. Al momento de realizar el diagnóstico de la situación actual se caracterizan los hechos, mientras que para la realización del análisis de modos y efectos de fallas se establecen las relaciones causa-efecto de la investigación explicativa.

4.4 Población y Muestra

4.4.1 Población

Según Risquez, Fuenmayor y Pereira (1999) la población es “el conjunto total finito o infinito de elementos o unidades de observación que se consideran en un estudio, o sea que es el universo de la investigación sobre el cual se pretende generalizar los resultados” (p.48).

Entonces, la población se refiere a un todo, al universo, al conjunto total de elementos sobre los que se hace un estudio. Es por ello que, para esta investigación la población abarca los 4 molinos de la planta 1 y el molino de la planta 2 del departamento de producción de la empresa MOCASA.

4.4.2 Muestra

Por otra parte, la muestra representa un subconjunto, una selección de una parte de ese universo donde se llevará a cabo la investigación. En este orden de ideas, Balestrini (2006) afirma que la muestra “es una parte de la población, o sea, un número de individuos u objetos seleccionados científicamente, cada uno de los cuales es un elemento del universo” (p. 121). En este orden de ideas, la muestra para la realización del estudio constituye a los molinos A, B, C y D de la planta 1 del departamento de producción de la empresa MOCASA.

4.5 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

4.5.1 Técnicas

Arias (2012) define las técnicas de recolección de datos como “el conjunto de procedimientos y métodos que se utilizan durante el proceso de investigación, con

el propósito de conseguir la información pertinente a los objetivos formulados en una investigación” (p.376).

Observación directa

Esta técnica, según Palella y Martins (2012) “es cuando el investigador se pone en contacto personalmente con el hecho o fenómeno que trata de investigar”. De este modo, la observación directa se aplica sobre un individuo, fenómeno o situación particular para recopilar datos mientras que el investigador se encuentra en el lugar de los hechos, sin alterar el ambiente que lo rodea.

Entrevista semi-estructurada

Arias (2012) establece que se trata de una entrevista semi-estructurada “aun cuando existe una guía de preguntas, el entrevistador puede realizar otras no contempladas inicialmente. Esta técnica se caracteriza por su flexibilidad”.

Revisión documental

Hurtado (2008) afirma que la revisión documental “es una técnica en la cual se recurre a la información escrita, ya sea bajo la forma de datos que pueden haber sido productos de mediciones hechas por otros, o como textos que en sí mismos constituyen los eventos de estudio”.

4.5.2 Instrumentos

Los instrumentos son los recursos o herramientas con las cuales se logrará recopilar la información, para la observación directa se utilizará cámara fotográfica y cuaderno de notas para recopilar y organizar la información, para las entrevistas semi-estructuradas se utilizará también un cuaderno de notas y para la revisión documental se contará con una computadora para tener los documentos almacenados en formato digital o en su defecto, se tendrán en físico.

4.6 Técnicas de Análisis de Resultados

Finalizada la etapa de recolección de datos, se requiere sintetizarlos para realizar un análisis de los mismos con ayuda de tablas y gráficos para la organización e

interpretación de los mismos, para relacionarlos con los objetivos del estudio y establecer conclusiones.

Arias (2012) establece que en las técnicas de procesamiento y análisis de datos “se describen las distintas operaciones a las que serán sometidos los datos que se obtengan: clasificación, registro, tabulación y codificación si fuese el caso”.

4.6.1 Análisis de criticidad

El análisis de criticidad permitirá identificar los equipos críticos del proceso en estudio tomando en consideración la frecuencia de las fallas y sus consecuencias o impacto, de esta manera se podrán clasificar los equipos en estudio dentro de un valor de criticidad alta, media y baja.

4.6.2 Análisis de modos y efectos de falla (AMEF)

El análisis de modos y efectos de falla se realizará para identificar las fallas de los equipos en estudio y las consecuencias de las mismas, para poder evaluar el nivel de criticidad de los efectos de cada una de las fallas y poder establecer el número de prioridad de riesgo (NPR) y en base a ello tomar decisiones.

4.7 Fases metodológicas

FASE I: Diagnóstico de la situación actual en el departamento de producción de la empresa MOCASA.

En esta fase se llevó a cabo un diagnóstico de la situación actual en el proceso de producción, para identificar las causas del problema en estudio, fue necesario el uso de la observación directa y entrevistas no estructuradas para la recopilación de información necesaria para el entendimiento del proceso de producción y las maquinarias presentes en el mismo, para así tener una mejor visualización de la situación actual de la empresa.

FASE II: Análisis de las fallas en función a la metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad considerando la taxonomía de las partes que componen los molinos de la empresa MOCASA.

En esta fase se procedió a identificar las causas de las fallas en los equipos, se realizó el análisis de modos y efectos de falla (AMEF), análisis de criticidad, unificación de información sobre equipos críticos con ayuda de bases de datos y la definición de los números de prioridad de riesgo (NPR) para luego llevar a cabo la categorización. En esta fase se utilizaron las técnicas de análisis de datos.

FASE III: Elaboración del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para la empresa MOCASA.

Con la información recopilada en la fase anterior, se procedió a realizar el plan de mantenimiento centrado en confiabilidad con los procedimientos generales a través de un cronograma semanal, mensual y anual de las actividades a realizar para mejorar la confiabilidad de los equipos, así como también la elaboración de formatos de reportes de mantenimiento en caso de ser necesario.

FASE IV: Evaluar la factibilidad operativa, técnica, social y económica del plan de mantenimiento propuesto.

En esta última fase, se evaluará la factibilidad del plan de mantenimiento propuesto desde el aspecto operativo, técnico, social y económico, a través de una simulación o pronóstico que permita visualizar el comportamiento de estos factores en función de la propuesta realizada.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

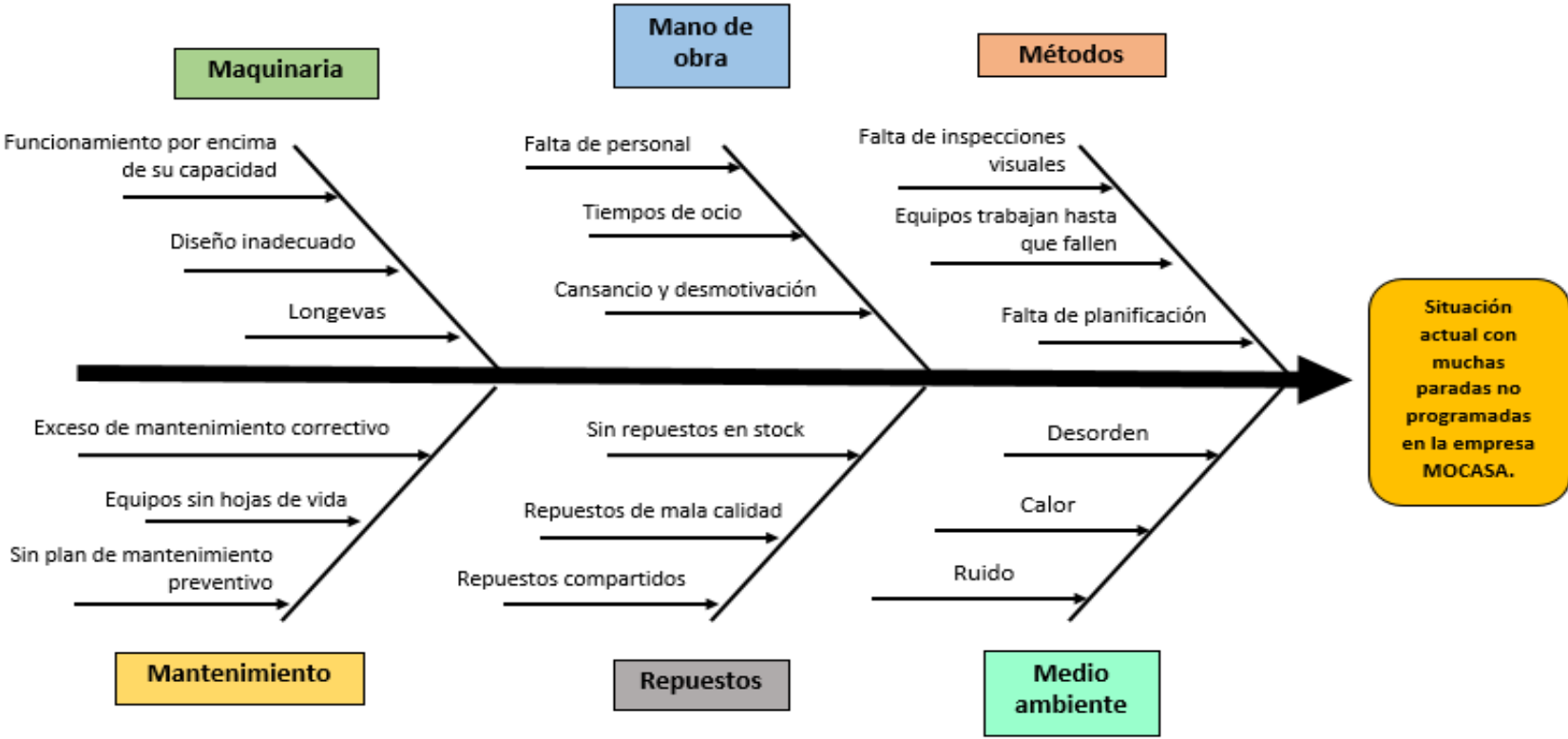
En el siguiente capítulo se presentan los resultados obtenidos en el desarrollo de las fases metodológicas del presente trabajo de grado con el objetivo de proponer un plan de mantenimiento basado en confiabilidad para la empresa Molinos Carabobo S.A.

5.1 Fase I: Diagnóstico de la situación actual en el departamento de producción de la empresa MOCASA.

Durante el ingreso al proceso de producción, se observó cada una de las fases del proceso productivo, las máquinas que son parte del mismo y las paradas que estos ocasionan en el proceso de producción durante las jornadas de trabajo. Es por ello que, en las primeras semanas se conoció la planta, el proceso de producción y mediante la observación directa se pudo identificar un problema, las constantes paradas de los equipos, esta técnica también permitió visualizar la ubicación de las máquinas de cada parte del proceso, las condiciones de trabajo y los procedimientos que se realizan dentro del proceso de producción.

Para comenzar, se realizó el diagrama de causa-efecto para facilitar el diagnóstico de la situación actual dentro del proceso y las posibles causas que podrían estar ocasionando la problemática identificada. Esta situación problemática hace referencia a las averías o paradas no programadas de los equipos dentro del proceso que ocasionan con bastante frecuencia las paradas de los molinos.

Gráfico 15. Diagrama causa-efecto de la situación actual dentro del proceso de producción.



Fuente: Gómez, J. (2021).

Cuadro 2. Cuantificación de las causas del diagrama causa-efecto.

Causa	Cuantificación	Frecuencia	Frecuencia acumulada
Mantenimiento	40	24,39%	24,39%
Métodos	36	21,95%	46,34%
Repuestos	35	21,34%	67,68%
Maquinaria	25	15,24%	82,93%
Mano de obra	20	12,20%	95,12%
Medio ambiente	8	4,88%	100,00%

Fuente: Gómez, J. (2021).

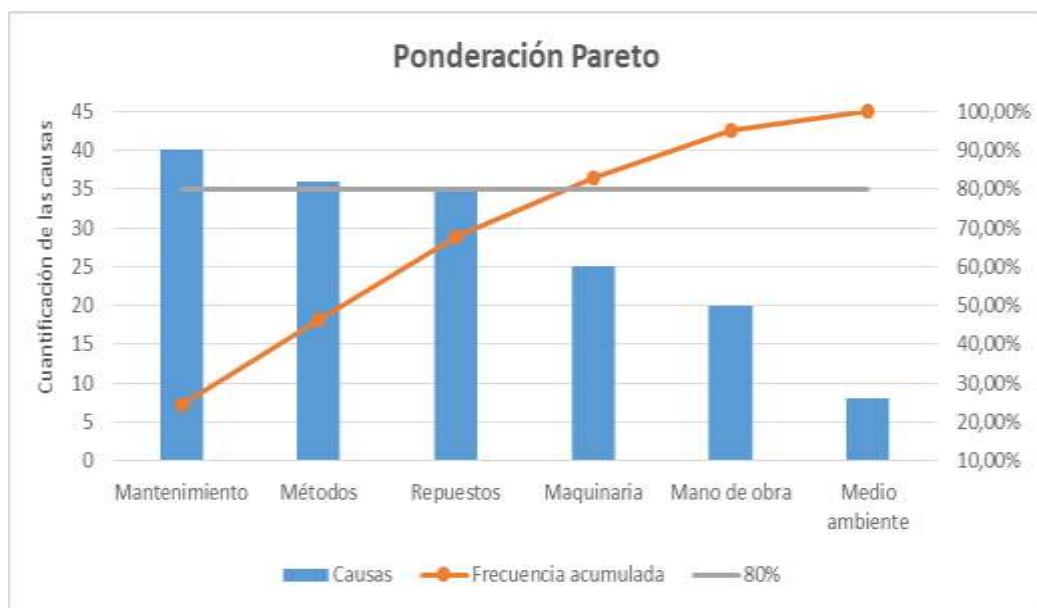


Gráfico 16. Ponderación de las causas del diagrama causa-efecto.

Fuente: Gómez, J. (2021).

Tal como puede verse en el gráfico, con la ponderación obtenida de las causas se puede identificar que las causas que se encuentran a la izquierda de la intersección de la curva de frecuencia acumulada y la línea del 80% son las que deben priorizarse para resolver el 80% de la problemática, estas causas son las referidas a mantenimiento, métodos y repuestos, las cuales pueden visualizarse en el diagrama causa-efecto (ver gráfico 15).

Cuadro 3. MTBF, MTTR y disponibilidad de los molinos de la planta 1 de la empresa MOCASA.

Molino	MTBF (hr)	MTTR (hr)	Disponibilidad
A	23,59	0,66	97,28%
B	21,14	0,73	96,67%
C	27,25	0,59	97,90%
D	27,52	0,98	96,57%

Fuente: Gómez, J. (2021).

Para el cálculo del MTBF (tiempo medio entre fallas) y MTTR (tiempo medio para reparar) y disponibilidad se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$\mathbf{MTBF} = (\textit{Tiempo total disponible} - \textit{tiempo de avería})/\textit{número de fallos}$$

$$\mathbf{MTTR} = \textit{Tiempo total de mantenimiento}/ \textit{número de reparaciones}$$

$$\mathbf{Disponibilidad} = \textit{MTBF}/\textit{MTBF}+\textit{MTTR}$$

Como se puede visualizar (ver cuadro 3), el molino D es el que tuvo una menor disponibilidad durante los meses de estudio y el mayor tiempo promedio para reparar, el molino B tuvo el menor tiempo medio entre fallas y fue el segundo molino con menos disponibilidad.

Cuadro 4. Número de paradas no programadas desde el 13 de mayo hasta el 20 de octubre en la planta 1 de la empresa MOCASA.

Paradas no programadas de mayo a octubre 2021				
Mes	Molino			
	A	B	C	D
Mayo	11	11	15	3
Junio	16	24	14	7
Julio	12	9	16	3
Agosto	15	10	16	1
Septiembre	28	9	2	12
Octubre	15	8	12	14
TOTAL	97	71	75	40

Fuente: Gómez, J. (2021).

Cuadro 5. Tiempos de paro de las paradas no programadas desde el 13 de mayo hasta el 20 de octubre.

Tiempos de paro no programado 2021 (horas)				
Mes	Molino			
	A	B	C	D
Mayo	6,5	6,25	3,5	0,5
Junio	8,6	16,5	11,2	7,8
Julio	10,4	5,45	8,72	1,25
Agosto	5,25	7,55	6,75	0,6
Septiembre	17,56	4,75	1,25	12,27
Octubre	15,6	11,25	12,5	16,66
TOTAL	63,91	51,75	43,92	39,08

Fuente: Gómez, J. (2021).

Cuadro 6. Número de paradas no programadas y horas de paro de los equipos en estudio en la parte de molienda del Molino A.

Molino A				
Maquinas	Nro de paradas no programadas	Horas de paro	% del total	% acumulado
Molinos de cilindros	22	17,45	49,64%	49,64%
Plansifter	6	8,5	24,18%	73,83%
Filtros	6	3,25	9,25%	83,07%
Sasores	3	3	8,53%	91,61%
Cepilladora de salvado	2	1	2,84%	94,45%
Balanza	2	0,6	1,71%	96,16%
Soplador	2	0,6	1,71%	97,87%
Disgregador	1	0,5	1,42%	99,29%
Vibros	1	0,25	0,71%	100,00%
TOTAL	45	35,15	100,00%	

Fuente: Gómez, J. (2021).

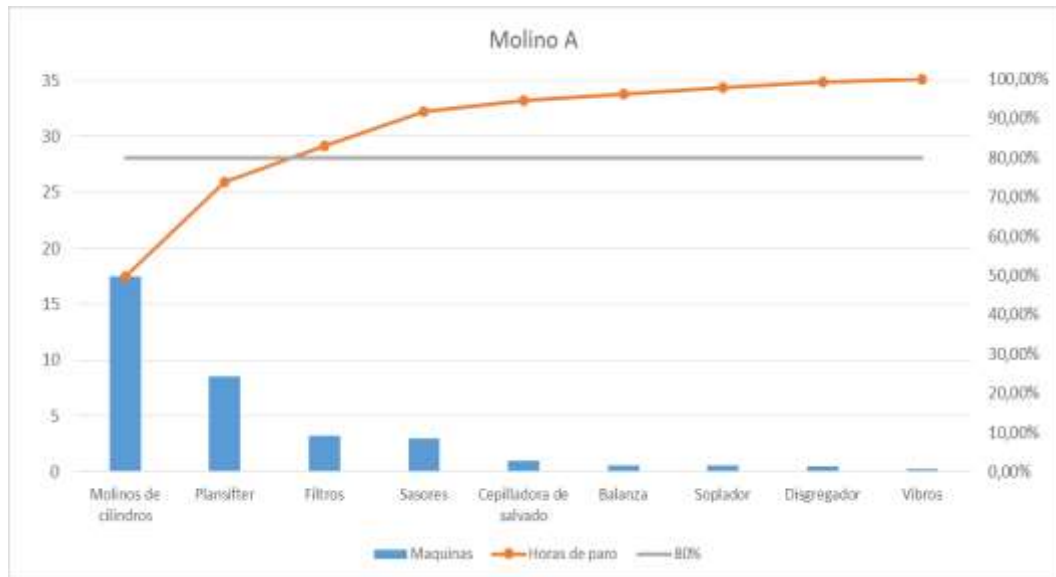


Gráfico 17. Diagrama de Pareto molino A.

Fuente: Gómez, J. (2021).

Cuadro 7. Número de paradas no programadas y horas de paro de los equipos en estudio en la parte de molienda del Molino B.

Molino B				
Maquinas	Nro de paradas no programadas	Horas de paro	% del total	% acumulado
Molinos de cilindros	32	24,25	62,34%	62,34%
Plansifter	4	4,5	11,57%	73,91%
Sasores	3	2,5	6,43%	80,33%
Soplador	4	2,2	5,66%	85,99%
Filtros	4	2	5,14%	91,13%
Balanza	3	1,8	4,63%	95,76%
Cepilladora de salvado	3	0,75	1,93%	97,69%
Vibros	2	0,5	1,29%	98,97%
Disgregador	1	0,4	1,03%	100,00%
TOTAL	56	38,9	100%	

Fuente: Gómez, J. (2021).

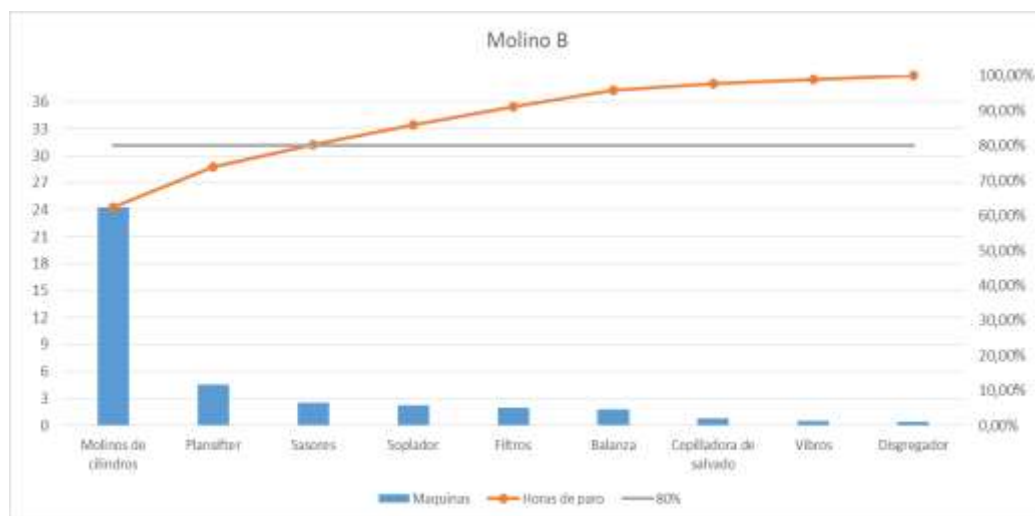


Gráfico 18. Diagrama de Pareto molino B.

Fuente: Gómez, J. (2021).

Cuadro 8. Número de paradas no programadas y horas de paro de los equipos en estudio en la parte de molienda del Molino C.

Molino C				
Maquinas	Nro de paradas no programadas	Horas de paro	% del total	% acumulado
Molinos de cilindros	12	6,8	37,49%	37,49%
Soplador	2	3,2	17,64%	55,13%
Plansifter	2	2,25	12,40%	67,53%
Balanza	8	2,15	11,85%	79,38%
Disgregador	5	1,48	8,16%	87,54%
Filtros	1	1,18	6,50%	94,05%
Cepilladora de salvado	2	0,5	2,76%	96,80%
Sasores	1	0,3	1,65%	98,46%
Vibros	1	0,28	1,54%	100,00%
TOTAL	34	18,14	100%	

Fuente: Gómez, J. (2021).

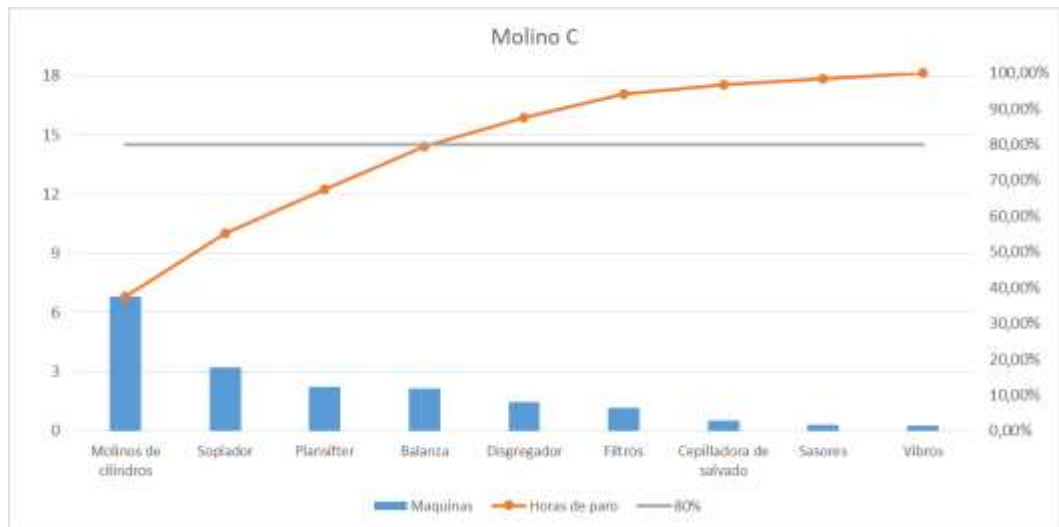


Gráfico 19. Diagrama de Pareto molino C.

Fuente: Gómez, J. (2021).

Cuadro 9. Número de paradas no programadas y horas de paro de los equipos en estudio en la parte de molienda del Molino D.

Molino D				
Maquinas	Nro de paradas no programadas	Horas de paro	% del total	% acumulado
Molinos de cilindros	9	12	43,51%	43,51%
Plansifter	1	6	21,75%	65,26%
Disgregador	3	3,8	13,78%	79,04%
Sasores	2	2,78	10,08%	89,12%
Cepilladora de salvado	3	1,1	3,99%	93,11%
Filtros	2	1	3,63%	96,74%
Balanza	2	0,5	1,81%	98,55%
Soplador	1	0,4	1,45%	100,00%
Vibros	0	0	0,00%	100,00%
TOTAL	23	27,58	100%	

Fuente: Gómez, J. (2021).

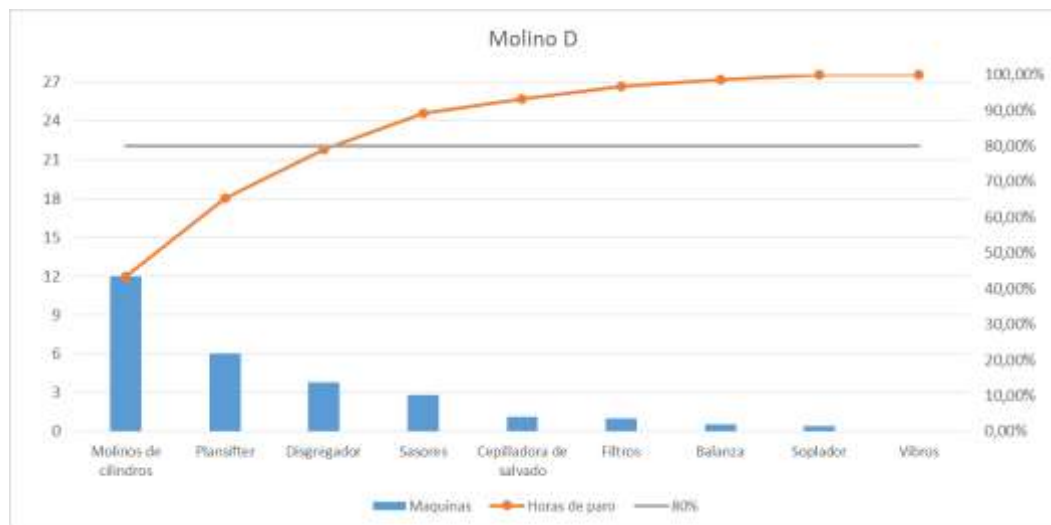


Gráfico 20. Diagrama de Pareto molino D.

Fuente: Gómez, J. (2021).

Debido a que los molinos no trabajaron todos los días de los meses en estudio, a continuación se mencionan los días de trabajo que tuvo cada uno de los molinos:

Molino A: 98 días.

Molino B: 64,7 días.

Molino C: 87 días.

Molino D: 47,5 días.

Luego de tener identificado el tiempo medio entre fallas, tiempo medio para reparar, disponibilidad, número de fallas y tiempos de paro de cada molino de la planta 1 de la empresa MOCASA, y en conjunto con las recomendaciones de los supervisores se seleccionó el molino B para ser el molino a aplicar el plan de mantenimiento centrado en confiabilidad a su equipo más crítico.

Asimismo, a pesar de que el molino D es el que posee una menor disponibilidad, este es el que menos tiempo está en uso ya que en este se produce el mismo tipo de harina que en el molino C y en la mayoría de las ocasiones no es necesario que ambos trabajen al mismo tiempo a no ser que haya una cantidad muy grande de demanda, el molino C es capaz de procesar 300 ton/día y el molino D puede

procesar 400 ton/día, por lo tanto estos dos molinos pocas veces trabajan al mismo tiempo y en caso de hacerlo, es para hacerlo solo por unos días específicos. Es por ello que, si el molino C estará parado por cierta cantidad de días, el molino D puede trabajar si la producción lo requiere.

Por otra parte, los molinos A y B hacen tipos de harina distintos y mientras se encuentren disponibles y haya suficiente demanda, pueden trabajar al mismo tiempo sin mayor inconveniente, el molino B, al tener menor disponibilidad que el molino A, fue el que se seleccionó para el análisis.

Cabe agregar, que el plan de mantenimiento para el equipo crítico seleccionado puede considerarse para ser aplicado también en los otros molinos, ya que generalmente las fallas en los equipos suelen repetirse a pesar de presentarse en diferentes molinos.

Cuadro 10. Guía de criterios para análisis de criticidad.

Frecuencia de fallas (FF)	
Una o mas fallas al día	4
De 1 hasta 3 fallas por semana	3
De 1 hasta 3 fallas por trimestre	2
De 1 hasta 3 fallas al año	1
Flexibilidad operacional (FO)	
Parada total porque no hay repuesto	4
No hay repuesto pero se puede colocar máquina en baypass	3
Opción de repuesto compartido	2
Repuesto disponible	1
Tiempo promedio para reparar (TPPR)	
Mayor a 24 horas	6
Entre 12 y 24 horas	5
Entre 5 y 12 horas	4
Entre 1 y 5 horas	3
Menos de 1 hora	1
Impacto operacional (IO)	
Afecta entre 80 y 100% de la producción del turno	6
Afecta entre 50 y 80% la producción del turno	4
Afecta entre el 20 y 50% de la producción del turno	3
Afecta hasta el 20% de la producción	1
Impacto en seguridad, higiene y ambiente (SHA)	
Afecta a la seguridad humana y requiere notificar a entes externos	8
Afecta al ambiente e instalaciones produciendo daños irreversibles e incumpliendo normas	7
Afecta a las instalaciones causando daños severos	5
Los daños en seguridad y ambiente son menores	3
No provoca daños a personas, instalaciones y ambiente	0
Impacto en la calidad del producto (CP)	
Afecta a la calidad del producto final	2
No afecta la calidad	0
Costo de mantenimiento (CM)	
Mayor a 100\$	2
Menor a 100\$	1

Fuente: Gómez, J. (2021).

Cuadro 11. Valores de criticidad de los equipos estudiados.

Equipo	FF	FO	TPPR	IO	SHA	CP	CM	Total
Filtros	2	4	3	3	3	2	2	86
Soplador	3	4	3	4	0	0	2	150
Balanza	3	4	1	1	0	0	1	15
Molino de cilindros	4	4	4	3	0	2	2	208
Plansifter	3	4	3	3	0	2	2	120
Sasores	2	2	3	3	0	2	2	44
Cepilladora de salvado	2	1	1	1	0	2	1	8
Disgregadores	2	3	3	1	0	2	1	24
Vibros	2	3	1	1	0	2	1	12

Fuente: Gómez, J. (2021).

La fórmula utilizada para el cálculo del total de criticidad fue la siguiente:
 $FF*((FO*TPPR*IO)+SHA+CP+CM)$.

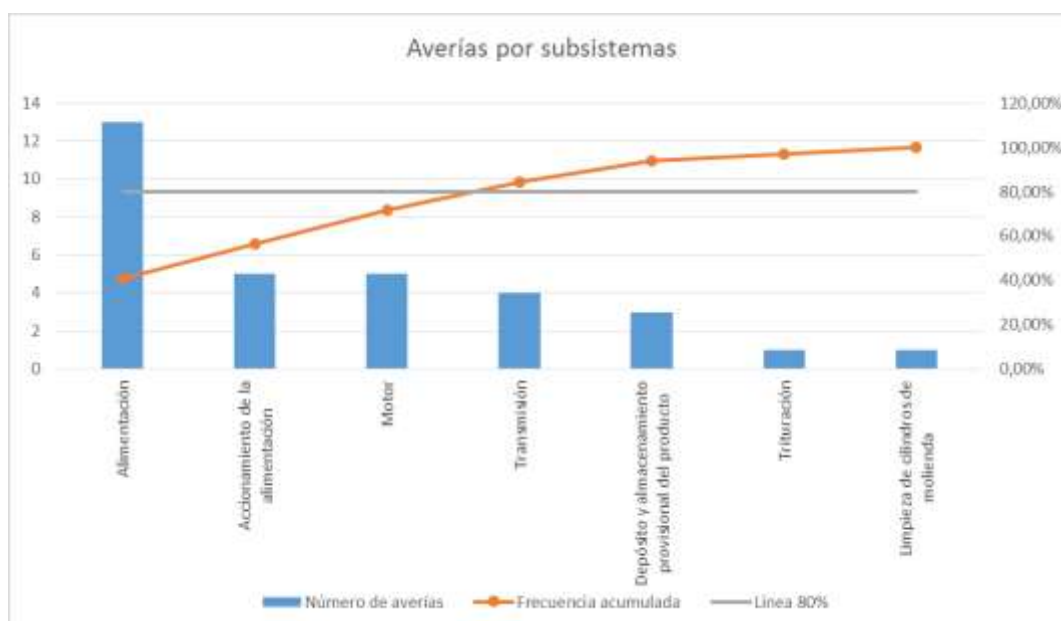
Una vez realizados los cálculos del total de criticidad con la respectiva fórmula, se puede visualizar que los molinos de cilindros, también llamados bancos de molienda, son los equipos más críticos, seguidos por el soplador y los filtros, sin embargo, los molinos de cilindros son los equipos seleccionados para la realización del plan de mantenimiento basado en confiabilidad ya que dentro del período de estudio son los equipos más críticos dentro del proceso de producción.

Cuadro 12. Averías de los bancos de molienda.

Averías de bancos de molienda			
Subsistema	Número de fallas	% del total	% acumulado
Alimentación	13	40,63%	40,63%
Accionamiento de la alimentación	5	15,63%	56,25%
Motor	5	15,63%	71,88%
Transmisión	4	12,50%	84,38%
Depósito y almacenamiento provisional del producto	3	9,38%	93,75%
Trituración	1	3,13%	96,88%
Limpieza de cilindros de molienda	1	3,13%	100,00%
TOTAL	32	100,00%	

Fuente: Gómez, J. (2021).

Gráfico 21. Diagrama de Pareto de averías de los subsistemas de los bancos de molienda.



Fuente: Gómez, J. (2021).

En el diagrama de Pareto anterior se puede apreciar que la alimentación, su accionamiento y el motor, son los subsistemas de los bancos de molienda que causan el 80% de las fallas de estos equipos.

Cuadro 13. Situación actual de bancos de molienda.

Situación actual bancos de molienda	
Fallas	32
Horas de paro	24,25
MTBF (hr)	47,77
MTTR (hr)	0,76
Disponibilidad	98,44%
Confiabilidad	53,97%
Mantenibilidad	42,46%

Para los cálculos de disponibilidad se utilizó la misma fórmula con la que se calculó la disponibilidad del molino B en general, sin embargo en este caso se calculó la confiabilidad y mantenibilidad de los bancos de molienda de la siguiente manera:

Confiabilidad

Promedio de fallas = número de fallas/número de bancos de molienda

Promedio de fallas = 32/24 = 1,33 fallas/banco

Tasa de fallas (λ) = promedio de fallas / horas totales de trabajo

Tasa de fallas (λ) = 1,33 / 1553 hr = 0,0008564

$$\text{Confiabilidad} = e^{-\lambda t}$$

t : Tiempo (horas) en que se quiere evaluar la confiabilidad.

Para $t =$ un mes (720 horas), la confiabilidad sería:

$$\text{Confiabilidad} = 53,97\%$$

Para $t =$ dos meses (1464 horas) sería:

$$\text{Confiabilidad} = 28,54\%.$$

La confiabilidad se refiere a la probabilidad de que los bancos de molienda no fallen durante el período (t) estudiado, es decir, hay 53,97% de probabilidad de que los bancos de molienda no fallen durante un mes.

Mantenibilidad

$$\text{Mantenibilidad} = 1 - e^{-\frac{t}{MTTR}}$$

Donde (t) se refiere al tiempo teórico (objetivo) en el que se espera reparar las averías y el MTTR el tiempo promedio para repararlas. Considerando un tiempo (t) esperado de 0,42 hr y el MTTR (0,76 hr) se tiene:

$$\text{Mantenibilidad} = 42,46\%.$$

Existe 42,46% de probabilidad de que las fallas de los bancos de molienda sean reparadas en 0,42 hr (tiempo objetivo).

Se realizó el análisis taxonómico de los equipos críticos basado en la norma ISO 14224, para obtener una mejor perspectiva de la distribución dentro de la organización que facilitara la realización del plan de mantenimiento basado en confiabilidad.



Gráfico 22. Taxonomía de los equipos críticos (bancos de molienda)

Fuente: Gómez, J (2021). Adaptación norma ISO 14224 para el caso de estudio.

Para tener una mejor idea de la situación actual del molino B, se calculó la efectividad global de los equipos (OEE), el cual es un indicador bastante utilizado en la metodología del mantenimiento productivo total que permite medir la productividad, en este caso, la productividad del molino B, este indicador engloba indicadores de disponibilidad, rendimiento de máquinas y calidad.

Disponibilidad

*Tiempo disponible de máquina = (horas diarias de trabajo * días de trabajo) /
paradas programadas*

*Tiempo operativo = Tiempo disponible de máquina – (perdidas por puesta en
marcha + pérdidas por avería)*

*Índice de disponibilidad = (Tiempo operativo / tiempo disponible de
maquina)*100%*

Rendimiento

*Capacidad productiva = Capacidad teórica diaria * días de trabajo)*

*Producción real = Capacidad real * tiempo operativo*

*Índice de rendimiento = (producción real / capacidad productiva)*100%*

Calidad

Toneladas conformes = producción real – toneladas inconformes

*Índice de rendimiento = (unidades conformes / producción real)*100%*

OEE (efectividad global de los equipos)

*OEE (%) = Índice de disponibilidad * Índice de rendimiento * Índice de calidad*

A continuación se presentan los rangos referidos a la calificación del OEE:

OEE < 0,65 = Ineficiente

OEE entre 0,65 y 0,75 = Regular

OEE entre 0,75 y 0,85 = Aceptable

OEE entre 0,85 y 0,95 = Bueno

OEE mayor a 0,95 = Excelente

Cuadro 14. Cálculo de efectividad global de equios (OEE) actual.

OEE: Disponibilidad		
Parámetro	Valor	Unidad
Horas diarias de trabajo	24	Horas
Días de trabajo	64,7	Días
Horas de paradas programadas	7,14	Horas
Tiempo disponible de maquina	1545,66	Horas
Pérdidas por averías y puesta en marcha	95,56	Horas
Tiempo operativo	1450,1	Horas
Índice de disponibilidad	0,9382	93,82%
OEE: Rendimiento		
Parámetro	Valor	Unidad
Capacidad productiva	160	Ton/Día
Capacidad productiva durante los días de trabajo	10352	Ton
Capacidad real	145	Ton/Día
Producción real durante los días de trabajo	8761,02	Ton
Índice de rendimiento	0,8463	84,63%
OEE: Calidad		
Parámetro	Valor	Unidad
Producción real	9381,5	Ton
Toneladas inconformes	0	Ton
Toneladas conformes	9381,5	Ton
Índice de calidad	1,00	100,00%
OEE actual	0,7940	79,40%

El OEE se encuentra dentro de un rango aceptable.

Cuadro 15. Aplicación de la entrevista.

Preguntas	Entrevistados y respuestas				
	Operario 1	Operario 2	Técnico de mantenimiento	Molinero	Supervisor
¿Cuál cree usted que son las razones de la cantidad de paradas no programadas que se presentan en el proceso de producción?	Se usan repuestos usados, gran cantidad de mantenimiento correctivo, incorrecta planificación de algunas actividades de mantenimiento.	Pocas inspecciones visuales a los equipos, baja calidad de los repuestos utilizados y mucho mantenimiento correctivo y poco preventivo.	Falta de planificación en la producción y plan de mantenimiento preventivo no se cumplen.	No se consideran las fallas que ocurren con frecuencia, estas se repiten y no se evitan porque varias veces se comparten repuestos usados de otros equipos.	Exceso de mantenimiento correctivo, los equipos a veces trabajan forzados y no se tienen en stock los repuestos a tiempo.
¿Cuáles problemas existen en la gestión del mantenimiento?	Existe mucho mantenimiento correctivo.	Poco mantenimiento preventivo, mucho correctivo y algunos repuestos utilizados no son originales.	No se cumplen con las revisiones preventivas que requieren los equipos cada cierto tiempo.	Las fallas son repetitivas y no se toman las medidas correctas para evitar esas fallas.	No hay algunos repuestos en stock cuando se necesitan y esto retrasa el cumplimiento de algunas actividades de mantenimiento.
¿Cuáles indicadores de mantenimiento conoce? ¿Esos u otros indicadores se calculan cada cierto tiempo? ¿A usted le informan sobre esas cifras?	Disponibilidad, porcentaje de mantenimiento correctivo y preventivo, no conozco las cifras.	Tiempo de parada programada y no programada, no conozco las cifras, mas o menos puedo estimar un tiempo de parada dependiendo de cual es la falla en base a la experiencia que he tenido aquí.	Tiempo promedio entre fallas, tiempo promedio para reparar, no conozco las cifras exactas pero puedo saber cuanto se tarda en reparar algunas averías	Tiempo de inactividad, eficiencia, tiempo para poner en marcha el equipo de nuevo, no conozco las cifras	Disponibilidad, tiempo de parada programada y no programada, tiempo entre falla, tiempo para reparar, no conozco las cifras pero creo que el promedio para reparar una avería es 1,5 horas aproximadamente si se tiene el repuesto en almacén.
¿Cuál de los molinos está presentando mayores problemas? ¿Cuáles son algunos de estos problemas?	Las paradas del molino B y los ACM y mandos del molino C que se caen.	Molino A y B han estado parando bastante y el molino D estuvo mucho tiempo inactivo y le están saliendo muchas fallas.	El molino D en general tiene muchos problemas por su inactividad y el molino B está teniendo muchas paradas, el molino A también.	Cada molino tiene sus problemas, en el B los bancos están parando con bastante frecuencia, en el C los ACM y el D está teniendo algunos problemas por su poco uso.	Molino A y B están generando mucho tiempo de paro no programado.
¿Cuáles son los equipos que ocasionan paradas totales en caso de fallar?	Por lo general cuando un equipo falla automáticamente se detienen todos los equipos de ese molino, pero se puede arrancar rápidamente a menos que sean equipos como los plansifters, filtros, bancos, sasores.	Los bancos, plansifters, filtros, soplador si fallan no se puede arrancar el molino si la avería en estos no se corrige.	El molino no puede trabajar si los plansifters, bancos, sopladores y filtros tienen averías, no se colocan en bay pass.	Plansifters, filtros y sopladores ya que estos no se pueden poner en bay pass, los bancos se pueden poner si es una pasada de las del medio pero por lo general tampoco se ponen en bay pass.	Las líneas neumáticas, sopladores, bancos y plansifters.
¿Qué tipo de mantenimiento es el que se aplica con mayor frecuencia? ¿Cuáles son los tipos de mantenimiento que se ejecutan?	Correctivo.	Correctivo y en menor medida el preventivo.	Correctivo y preventivo.	Correctivo.	Correctivo y preventivo.
¿Cuáles problemas se presentan cuando hay que corregir una avería de un equipo que tiene parada toda la planta?	Puede presentarse que no se tenga el repuesto y haya que utilizar el repuesto de otra máquina de otro molino.	Que no se tenga el repuesto en almacén.	Que se necesite un material o pieza autorizada por el supervisor y este no pueda ser localizado al momento de la falla.	Que se tarde mucho tiempo en corregirla y cuando se corrija se presenten problemas al arrancar otras máquinas.	Que la falla se mantenga luego de que se haya intervenido el equipo y sigan presentandose paradas.

Continuación del cuadro 15. Aplicación de la entrevista.

Preguntas	Entrevistados y respuestas				
	Operario 1	Operario 2	Técnico de mantenimiento	Molinero	Supervisor
¿Existe un registro histórico digital de las fallas de los equipos? ¿Tener este registro facilitaría la toma de decisiones en las actividades de mantenimiento?	No sé si los supervisores manejan alguno, pero seguro que ayudaría.	Creo que no pero en los reportes de producción se reportan la mayoría de fallas que ocasionan paradas de allí se puede extraer información.	Un registro digital de todas las fallas que han tenido creo que no se maneja en esta planta ya que no todos los equipos son nuevos.	No en esta planta no se lleva ese registro digital dentro de lo que sé.	Digitalmente en esta planta no, habría que buscar los reportes de años anteriores pero muchos de esos reportes están incompletos o se desecharon ya que eran viejos, pero se está considerando llevar estos registros.
¿Los trabajos de mantenimiento se realizan dentro del tiempo estimado la mayoría de las ocasiones o muchas veces se retrasan?	A veces se pueden retrasar pero la mayoría de las veces se cumplen en el tiempo estimado para hacerlo.	La mayoría de las veces se cumple.	Por lo general se cumplen en el tiempo estimado a menos que haya que buscar alguna requisición y se pierda tiempo en eso.	A veces sí a veces no depende si se tiene el repuesto en almacén o si surge un imprevisto durante la intervención del equipo.	Depende de la falla, del arranque si todo funciona como debe al arrancar, o si se retrasa el trabajo por el repuesto.
¿Con que frecuencia se presentan paradas totales de planta programadas para el mantenimiento de los equipos?	Cada 3 o 4 meses aproximadamente o puede ser antes si hay averías muy importantes.	Con todos los molinos parados creo que se hacen unas 3 veces al año en caso de no haber muchas fallas graves.	Unas 3 veces al año aproximadamente.	Creo que se programan 3 al año pero a veces se hacen mas.	Depende de como se comportan los equipos de cada molino pero mínimo 2 veces al año.
¿Cómo es la comunicación y trabajo en conjunto entre el jefe de planta, supervisor de molineros y supervisor de mantenimiento?	Yo creo que es buena siempre se mantienen comunicados.	Bastante bien me parece.	La mayoría del tiempo están comunicados y al tanto de las cosas que ocurren.	Buena, siempre se mantienen en contacto de hecho todos están en la misma oficina.	Muy bien, como todo puede mejorarse, pero pocas veces hay malos entendidos.
¿Cómo es el ambiente de trabajo y como se lleva el trabajo en equipo?	A veces un poco ruidoso por las máquinas pero por eso usamos los cascos.	Dentro de los que trabajamos en producción y yo creo que hay buen ambiente laboral durante la jornada de trabajo.	Yo pienso que es bueno a pesar de que a veces hay muchos trabajos que hacer.	Me parece bueno, los compañeros hacen que las cosas vayan bien.	Es bueno practicamente todos aquí adentro nos llevamos bien.

Fuente: Gómez, J (2021).

Con la entrevista realizada se pudo diagnosticar que gran parte de las actividades de mantenimiento están basadas en el mantenimiento correctivo, se presentan problemas con los repuestos a la hora de corregir fallas y no tenerlos en stock o en caso de tenerlos a veces no son de buena calidad, no se lleva un registro histórico de las fallas que se presentan en los equipos y recientemente no se han calculado indicadores de mantenimiento. Todos los molinos están presentando problemas, destacándose los molinos B y D, sin embargo, la mayoría de los trabajos de mantenimiento se cumplen en el tiempo estimado si no se presentan imprevistos y los supervisores están comunicados gran parte del tiempo para estar al tanto de lo que los situaciones que se presentan en el proceso de producción.

5.2 FASE II: Análisis de las fallas en función a la metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad considerando la taxonomía de las partes que componen los molinos de la empresa MOCASA.

Luego de haber finalizado el diagnóstico de la situación actual, se analizaron las fallas de los bancos de molienda, primero se tuvo que definir el contexto operacional de los mismos y sus condiciones operacionales, para poder aplicar el análisis de modos y efectos de falla (AMEF) considerando las funciones de los subsistemas a estudiar, sus fallas funcionales, modos de falla, posibles causas, efectos, acciones para corregir o evitar tales modos de falla y la categorización de estos modos de falla con la asignación del número de prioridad de riesgo (NPR) para cada uno de ellos.

La revisión documental de los manuales de las máquinas y la lectura de los reportes de producción fueron de gran utilidad en esta fase para identificar los modos de falla que se presentaban en los equipos en estudio.

5.2.1 Contexto operacional de los equipos críticos

Los bancos de molienda (molinos de cilindros) son los equipos principales del proceso de molienda del trigo, son los encargados de romper el grano (primera trituración) e ir reduciéndolo y comprimiéndolo durante los respectivos pasajes para obtener poco a poco la harina de trigo y los subproductos.

La planta de procesamiento de trigo opera las 24 horas del día los 7 días de la semana, la capacidad de los bancos de molienda es de 160 toneladas/día, lo que sería aproximadamente unas 6,6 toneladas por hora y generalmente trabaja a un ritmo de 5,5 toneladas/hora.

En este mismo sentido, estos equipos suele trabajar dentro de los parámetros mencionados anteriormente, en algunas ocasiones se presenta mayor flujo de producto y se exige a la máquina más allá de sus capacidades generando fallas en las mismas en varias ocasiones.

Dependiendo del molino, la cantidad de bancos de molienda puede variar, para el molino A se cuenta con 8 bancos de molienda y para el molino B con 12 bancos, cada banco es un pasaje del producto empezando con el grano de trigo entero hasta reducirlo a la granulometría requerida.

En el tema de seguridad, el diseño de la máquina impide un fácil acceso a los rodillos de trituración y a otros componentes en movimiento a menos que se abra la ventanilla de revisión de producto, sin embargo, desde ese lugar es sumamente difícil alcanzar los elementos del equipo que puedan causar daños severos.

Cuadro 16. Condiciones operacionales.

Condiciones de operación	
Función en el proceso	Triturar y reducir el trigo hasta la granulometría requerida
Sistema de control	PLC
Tiempo para operar (sin contar mantenimiento programado)	24 horas 7 días a la semana
Parámetros de operación	160 toneladas/día
Técnicos de mantenimiento a cargo	4 mecánicos 4 electricistas
Ubicación en planta	1er piso

Fuente: Gómez, J. (2021).

5.2.2 Análisis de modos y efectos de falla (AMEF) de los bancos de molienda

Cuadro 17. Análisis de modos y efectos de falla de los bancos de molienda.

Sistema	Función	Falla funcional	Modo de falla	Causa probable	Efecto de la falla			
Motor	1	Convertir energía eléctrica en energía mecánica para el funcionamiento del equipo	A	No genera la energía mecánica requerida	1	Olor a quemado	Motor sobrecargado	Se dispara el termico y se detiene el molino
					2	Sobrecalentamiento	Motor sobrecargado	Se dispara el termico y se detiene el molino
							Bobina recalentada	
							Contacto flojo (falta una fase)	
					3	Altas vibraciones	Pernos flojos en la base	Desgaste prematuro en el eje, rodamientos y funcionamiento irregular
							Chumaceras desalineadas	
							Desgaste en rodamientos o cojinetes del rotor	
							Rodamientos desalineados	Desgaste prematuro en rodamientos y eje
							Carga excesiva en rodamientos	
					4	Correa motriz rota	Desgaste	Se detiene el motor si no se transmite el torque necesario
					5	Protección termica salta	Termico descalibrado	Se detiene el motor al dispararse o saltar el termico, y por ende se detiene el molino
							Bobinado roto o defectuoso	
							Rodamientos defectuosos	
							Ventilación defectuosa	
					6	Exceso de ruido	Roce entre rotor y estator	Desgaste prematuro en ambos componentes
							Rodamientos poco lubricados	Desgaste prematuro en rodamientos
							Eje doblado	Desgaste prematuro en eje y cojinetes

Continuación del análisis de modos y efectos de falla de los bancos de molienda.

Sistema	Función	Falla funcional	Modo de falla	Causa probable	Efecto de la falla			
Motor	1	Convertir energía eléctrica en energía mecánica para el funcionamiento del equipo	A	No genera la energía mecánica requerida	7	Motor quemado	Rodamientos defectuosos	Desgaste prematuro en rodamientos
							Exceso de suciedad	Exceso de temperatura en el equipo y disparo de termico
							Rotor bloqueado	Se deteriora el aislamiento en las 3 fases hasta quemar el motor
							Sobretensión	Se dañan los aislamientos en la bobina generando cortocircuito quemando el motor
							Perdida de una fase	La carga del motor es manejada por dos fases y se aumenta demasiado la corriente quemando el motor
							Sobrecarga excesiva	Se dañan rodamientos, se tranca el rotor y se quema el motor

Continuación del análisis de modos y efectos de falla de los bancos de molienda.

Sistema	Función	Falla funcional	Modo de falla	Causa probable	Efecto de la falla		
Alimentación	2	B	Incapaz de alimentar a los cilindros de trituración con producto	1	Alimentador no arranca o se detiene	Conexión suelta en electroválvula	Se detiene la alimentación y luego el molino
					Neumático trancado		
					Sensor no da señal		
				2	Alimentador trancado	Conexión suelta en electroválvula	Se cierra la compuerta pero el cilindro de alimentación sigue girando detiene el equipo
						Exceso de alimentación	Se exige demasiado la correa y se detiene el equipo
				3	Correa de alimentador rotas	Conexión suelta en electroválvula	Se cierra la compuerta pero el cilindro de alimentación sigue girando, se rompe o quema la correa y se detiene el equipo
						Desgaste	Se rompen, se detiene la alimentación y luego el equipo
				4	Poca continuidad de producto	Cilindro de alimentación trabajando a poca velocidad	Rendimiento bajo, los cilindros de molienda pueden sobrecalentarse si el flujo de producto no es proporcional a la velocidad en que estos están girando
				5	Cilindros no giran	Sobrecalentamiento en motor	Se dispara el termico y se detiene el molino
						Correa rota	
						Partículas extrañas entre cilindros de alimentación	Recalentamiento y se detiene la alimentación
					Cojinete defectuoso	Se detiene el molino	
6	Exceso de producto en la alimentación	Cilindro de alimentación trabajando a mucha velocidad	Recalentamiento en cilindros de alimentación, exceso de producto				

Continuación del análisis de modos y efectos de falla de los bancos de molienda.

Sistema	Función	Falla funcional	Modo de falla	Causa probable	Efecto de la falla			
Accionamiento de los rodillos de alimentación	3	Transmitir movimiento a los rodillos de alimentación para que estos puedan alimentar a los cilindros de trituración	C	Incapaz de transmitir movimiento a los rodillos de alimentación	1	Ruido inusual en motorreductor	Rodamiento dañado	Desgaste prematuro en componentes mecánicos
						Base de reductor desequilibrada	Desequilibrio en algun componente mecanico	
						Sujeción floja	Desgaste en tornillos y tuercas de sujeción y el morreductor trabaja desnivelado	
					2	Exceso de temperatura	Aceite sucio	Se sobrecalienta el equipo y se detiene
							Aceite antiguo o exceso de aceite	
							Rodamientos defectuosos	
					3	Fuga de aceite	Retén de estanqueidad desgastado	Bota el aceite y los componentes mecánicos se van desgastando prematuramente al quedarse con aceite insuficiente
							La junta no estanca	
					4	Vibración excesiva inusual	Base desequilibrada	Los componentes mecanicos trabajan forzados hasta que uno de ellos se averia completamente y se detiene el equipo
							Eje fracturado	
							Rodamientos averiados	

Continuación del análisis de modos y efectos de falla de los bancos de molienda.

Sistema	Función	Falla funcional	Modo de falla	Causa probable	Efecto de la falla		
Transmisión	4	D	Incapaz de transmitir potencia que permita el movimiento de los cilindros de trituración	1	Correas partidas o quemadas	Falla la transmisión de movimiento y se detiene el equipo	
					Correa forzada en la polea		
					Tolva llena		
					Exceso de carga		
					Tensión incorrecta de la correa		
				2	Desprendimiento de dientes de la correa	Desgaste	Desgaste prematuro en la correa y la transmisión de movimiento es irregular
						Transmisión desalineada	
				3	Fuerte golpeteo	Correa poco tensa	Desgaste prematuro en la correa y giro incorrecto en cilindros de trituración
						Polea desgastada o desalineada	
				4	Ruidos inusuales y fuertes	Tensión incorrecta	Desgaste prematuro en polea y correa generando un giro irregular en los cilindros de trituración
						Correa deslizando	
						Partículas extrañas entre la polea	
						Polea gastada	
				5	Sobrecalentamiento	Cojinetes defectuosos	Se calientan los componentes de transmisión, la temperatura interna del equipo aumenta y se dispara
						Correas muy flojas	

Continuación del análisis de modos y efectos de falla de los bancos de molienda.

Sistema	Función	Falla funcional	Modo de falla	Causa probable	Efecto de la falla		
Trituración, compresión o reducción	5	E	Incapaz de triturar, comprimir o reducir el grano proveniente del alimentador hasta la granulometría requerida	1	Cilindros trituradores no embragan	Poca cantidad de producto en la entrada	No se posicionan correctamente los rodillos de trituración
					Conector suelto en electroválvula	Cilindro neumático defectuoso	
				2	Cilindros trituradores no desembagan	El resorte de desembague entre las carcassas de cojinetes falta o está defectuoso	Cilindros de alimentación no se detienen y siguen girando aunque no haya producto, se recalientan y sufren desgaste prematuro
						Cilindro neumático defectuoso	Cilindros de alimentación no se detienen y siguen girando aunque no haya producto, se recalientan y sufren desgaste prematuro
				3	Sensores de congestamiento en alarma	Producto congestionado entre los cilindros de molienda	Se detiene el molino
				4	Eje de cilindro roto (apoyo del rodamiento)	Eje desalineado (fatiga de flexión giratoria)	Trituración irregular, cilindro trancado
				5	Trituración insuficiente	Correa de transmisión floja	Correa patina, sufre desgaste prematuro y no se transmite correctamente el movimiento en los rodillos de trituración
						Cojinetes de cilindro con mucho juego	Desgaste prematuro en cojinetes
				6	Cojinetes sobrecalentados	Exceso de grasa en la carcasa	Desgaste prematuro en cojinetes y rodillos
						Poco juego en cojinete	
						Correas de transmisión demasiado tensas	

Continuación del análisis de modos y efectos de falla de los bancos de molienda.

Sistema	Función	Falla funcional	Modo de falla	Causa probable	Efecto de la falla			
Depósito y canalización del producto molturado (tolva)	6	Almacenar el producto molturado mientras va siendo transportado al siguiente proceso	F	Incapaz de seguir almacenando producto	1	Tolva se llena	Mucha alimentación de producto	Acumulación de producto en la tolva y se dispara el molino
							Desconexiones en electroválvula	
							Regulador de aire defectuoso	
							Sensor de estancamiento sucio o defectuoso	
Limpieza de cilindros de molienda	7	Limpiar los cilindros de molienda	G	Incapaz de limpiar los cilindros de molienda	1	Producto pegado en cilindros de molienda	Cepillo rascador o cuchilla desgastada o fuera de posición	Desgaste prematuro en cilindros de trituración y disminución del rendimiento al quedarse producto pegado

Fuente: Gómez, J. (2021).

5.2.3 Jerarquización de las fallas mediante la asignación del número de prioridad de riesgo (NPR)

Una vez realizado el análisis de modos y efectos de falla, se procede a jerarquizar las fallas mediante la asignación del grado de severidad, ocurrencia y detección, de esta forma se pueden priorizar aquellos modos de falla cuyo NPR sea mayor, es decir, aquellos modos de falla cuyo riesgo sea mayor.

Rango de valores:

- 1-124 riesgo de falla bajo
- 125-499 riesgo de falla medio
- 500-1000 alto riesgo de falla

Cuadro 18. Número de prioridad de riesgo para cada modo de fallo.

Subsistema	Codificación en el AMEF		S	O	D	NPR	
Motor (accionamiento)	1	A	1	9	5	6	270
			2	8	9	6	432
			3	8	8	8	512
			4	7	8	6	336
			5	8	10	4	320
			6	7	8	7	392
			7	10	8	4	320
Alimentación	2	B	1	8	7	5	280
			2	8	7	7	392
			3	9	8	7	504
			4	5	5	5	125
			5	8	6	6	288
			6	8	8	7	448
Accionamiento de rodillos de alimentación	3	C	1	9	8	6	432
			2	9	8	8	576
			3	8	5	8	320
			4	9	6	6	324
Transmisión	4	D	1	9	8	7	504
			2	8	5	8	320
			3	8	7	6	336
			4	9	5	8	360
			5	9	8	6	432
Trituración, compresión reducción	5	E	1	7	7	5	245
			2	7	7	5	245
			3	8	6	5	240
			4	8	5	7	280
			5	9	7	8	504
			6	8	7	9	504
Depósito y canalización del producto molido (tolva)	6	F	1	8	5	7	280
Limpieza de cilindros de molienda	7	G	1	8	6	7	336

Fuente: Gómez, J. (2021).

5.3 FASE III: Elaboración del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para la empresa MOCASA.

Luego del análisis de modos y efectos falla (AMEF) y número de prioridad de riesgo (NPR) se procede a seleccionar el tipo de actividad de mantenimiento a realizar para cada modo de falla identificado en el AMEF con ayuda del árbol lógico decisión del RCM.

En este mismo sentido, primero se analizan las consecuencias del modo de fallo, estas consecuencias son las siguientes:

- Consecuencias ocultas o no evidentes
- Consecuencias medioambientales y de seguridad
- Consecuencias operativas
- Consecuencias no operativas

También debe considerarse lo siguiente dentro del árbol lógico de decisión:

- Columnas encabezadas H, S, E, O se refieren a las consecuencias de cada modo de fallo (evidente, lesivo, contaminante, pérdidas económicas), es decir, se utilizan para registrar las respuestas a las preguntas referidas a las consecuencias de cada modo de falla.
- H1, S1, O1 y N1 registran si una tarea predictiva (a condición) ha sido seleccionada, apropiada para anticipar el modo de falla, con tiempo suficiente para eliminar, evitar o minimizar las consecuencias.
- H2, S2, O2 y N2 registran si una tarea de reacondicionamiento cíclico ha sido seleccionada.
- H3, S3, O3, N3 registran si una tarea de sustitución cíclica ha sido seleccionada, en O3 y N3 también está la opción de no registrar ninguna tarea de mantenimiento programado justificando el rediseño.
- H4, H5 y S4 registran si una tarea de búsqueda de fallos o combinación de tareas ha sido seleccionada.

A continuación se presentan los tipos de tarea seleccionadas para cada modo de fallo luego de aplicar el árbol de decisión.

Cuadro 19. Hoja de decisión RCM.

Información de referencia			Evaluación de las consecuencias				Proceso de selección			Acciones "a falta de"			Tipo de tarea	Tareas propuestas	Frecuencia	Realizada por	
F	FF	MF	H	S	E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4					
							S1	S2	S3								
							O1	O2	O3								
							N1	N2	N3								
Motor principal																	
1	A	1	S	N	S		S						Tarea a condición	Prueba de aislamiento	Cada 4 meses	Electricista	
1	A	2	S	N	N	S	S						Tarea a condición	Análisis de temperatura	Diaria	Electricista	
1	A	3	N				S						Tarea a condición	Análisis vibracional	Semanal	Electricista	
1	A	4	S	N	N	N	N	N	N				Sin tarea programada				
1	A	5	S	N	N	S	S						Tarea a condición	Análisis de temperatura	Diaria	Electricista	
1	A	6	S	N	N	S	S						Tarea a condición	Análisis de ruido	Semanal	Mecánico	
1	A	7	S	N	N	S	S						Tarea a condición	Análisis de temperatura	Diaria	Electricista	
Alimentación																	
2	B	1	S	N	N	S	N	N	N				Sin tarea programada				
2	B	2	S	N	N	S	S						Tarea a condición	Inspección visual	Mensual	Electricista	
2	B	3	S	N	N	S	N	N	S				Sustitución cíclica	Cambio de pieza	Cada 15.000 horas de funcionamiento	Mecánico	
2	B	4	S	N	N	S	S						Tarea a condición	Inspección visual	Diaria	Molinero	
2	B	5	S	N	N	N	N	N	N				Sin tarea programada				
2	B	6	S	N	N	N	S						Tarea a condición	Inspección visual	Diaria	Molinero	

Continuación cuadro 19. Hoja de decisión RCM.

Información de referencia			Evaluación de las consecuencias				Proceso de selección			Acciones "a falta de"			Tipo de tarea	Tareas propuestas	Frecuencia	Realizada por
F	FF	MF	H	S	E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4				
							S1	S2	S3							
							O1	O2	O3							
							N1	N2	N3							
Accionamiento de los rodillos de alimentación																
3	C	1	S	N	N	S	S						Tarea a condición	Análisis de ruido	Semanal	Mecánico
3	C	2	S	N	N	S	S						Tarea a condición	Análisis de temperatura	Cada 3 semanas	Mecánico
3	C	3	N				S						Tarea a condición	Inspección visual	Cada 3 meses	Mecánico
3	C	4	S	N	N	S	S						Tarea a condición	Análisis vibracional	Cada 3 meses	Mecánico
Transmisión																
4	D	1	S	N	N	S	N	S					Sustitución cíclica	Cambio de pieza	Cada 12.000 horas de trabajo	Mecánico
4	D	2	S	N	N	N	N	N	N				Sin tarea programada			
4	D	3	S	N	N	S	S						Tarea a condición	Revisar tensión en pieza	Semanal	Mecánico
4	D	4	S	N	N	S	S						Tarea a condición	Inspección visual	Cada 3 semanas	Mecánico
4	D	5	N				S						Tarea a condición	Análisis de temperatura	Semanal	Mecánico
Trituración, compresión o reducción																
5	E	1	S	N	N	S	S						Tarea a condición	Inspección visual	Semanal	Mecánico
5	E	2	S	N	N	S	S						Tarea a condición	Inspección visual	Semanal	Mecánico
5	E	3	S	N	N	S	S						Tarea a condición	Inspección visual	Mensual	Mecánico
5	E	4	S	N	N	N	N	N	N				Sin tarea programada			
5	E	5	N				N	N	N				Sin tarea programada			
5	E	6	N				S						Tarea a condición	Control visual y de temperatura	Mensual	Mecánico
Depósito y canalización del producto molturado (tolva)																
6	F	1	S	N	N	S	N	N	S				Reacondicionamiento cíclico	Limpieza y ajuste	Mensual	Electricista
Limpieza de cilindros de mollienda																
7	G	1	S	N	N	S	S						Tarea a condición	Inspección visual	Mensual	Mecánico

Fuente: Gómez, J. (2021).

Cabe agregar que en la hoja de decisión RCM, la información de referencia es la codificación en el AMEF de cada modo de falla, es decir su identificación y cada tipo de tarea de mantenimiento establecida va dirigida a cada modo de falla analizado, sin embargo, puede presentarse una tarea que permita atacar varios modos de falla al mismo tiempo.

Una vez realizada la hoja de decisión RCM se puede visualizar que se presentan en su mayoría tareas de mantenimiento basadas en condición para intentar anticiparse a los modos de fallo que se describen en el AMEF, es por ello que a continuación se presenta un cronograma para la ejecución del plan de mantenimiento (ver cuadro 20).

En este mismo sentido, el cronograma presenta actividades de mantenimiento preventivo y predictivo para cada subsistema estudiado en el AMEF, con la frecuencia de ejecución de cada una de ellas y la persona encargada de realizar la tarea, los días estipulados en el cronograma son tentativos y pueden variar dependiendo de las circunstancias, las actividades con frecuencia diaria poseen la letra “D” a diferencia de las otras que no poseen ninguna letra.

Cuadro 21. Repuestos requeridos en inventario y costos.

Inventario de repuestos que requieren estar en almacén para cada banco de molienda			
Componente	Inventario mínimo (unidades)	Costo unitario	Total
Correa motriz	5	\$ 30,00	\$ 150,00
Correa para cilindros de alimentación	2	\$ 20,00	\$ 40,00
Rodamientos para cilindros de alimentación	2	\$ 20,00	\$ 40,00
Junta del eje de cilindros de alimentación	2	\$ 3,00	\$ 6,00
Electrovalvula	1	\$ 125,00	\$ 125,00
Cojinete de deslizamiento	2	\$ 16,00	\$ 32,00
Correa dentada de transmisión para rodillos de trituración	4	\$ 190,00	\$ 760,00
Cojinetes para eje de cilindros de trituración	2	\$ 18,00	\$ 36,00
Cepillo rascador	2	\$ 15,00	\$ 30,00
Cuchilla raspadora	2	\$ 28,00	\$ 56,00
Rodamientos de rodillos	4	\$ 25,00	\$ 100,00
TOTAL			\$ 1.375,00

Fuente: Gómez, J. (2021).

Cuadro 22. Formato de lista de verificación para actividades de mantenimiento e inspección.

Equipo revisado: Banco de molienda/Molino de cilindros		Código/identificación del equipo:			
Localización del equipo:		Fecha de ejecución:			
Revisado por:		Especialidad técnica:			
Actividad a realizar	Revisado	Estado			Observaciones
		Bueno	Regular	Malo	
Componentes mecánicos del motor					
Componentes eléctricos del motor					
Motorreductor					
Rodillos de alimentación					
Cilindros de molienda					
Componentes mecánicos de la transmisión					
Embrague y desembrague					
Cepillo y cuchilla					
Tolva					
Componentes eléctricos generales del equipo					
Componentes electrónicos					
Componentes mecánicos generales					
Estado general del equipo					

Fuente: Gómez, J. (2021).

Considerando las bases del mantenimiento productivo total, se propone que los operarios realicen actividades de limpieza, inspección y ajustes rutinarios al momento de implementar las actividades de mantenimiento, y conforme avanza el tiempo puedan adquirir conocimientos para realizar actividades de lubricación y reparaciones menores.

Propuesta de ejecución de las 5S

Seiri: Organización

Consiste en identificar los materiales necesarios e innecesarios.

- Identificar materiales o herramientas necesarias para el área de trabajo.
- Identificar los materiales o herramientas innecesarias.
- Verificar el stock de los materiales o herramientas necesarias.
- Establecer una lista de los materiales necesarios en caso de requerirlos.

Esta etapa permite ajustar stock a lo necesario, mejorar la capacidad de almacenamiento y evitar la adquisición de materiales o herramientas innecesarias.

Seiton: Ordenar

Determinar el lugar indicado para colocar cada material o herramienta necesaria.

- Ordenar herramientas por criterios de frecuencia de uso.
- Identificar la zona de localización.
- Ubicar cada herramienta en su lugar correspondiente.
- Verificar que la herramienta es fácil de identificar, acceder y colocar en el lugar.

Esta etapa permite ahorrar tiempos de búsqueda y facilita la ubicación de materiales, herramientas y hasta documentos en caso de aplicarlo dentro de las oficinas de supervisores para la organización de reportes.

Seiso: Limpieza

Determinar un procedimiento de limpieza que permita mantener el lugar de trabajo libre de suciedad.

- Limpiar herramientas cada vez que se van a guardar en el lugar previamente determinado.
- Limpiar de forma externa la maquinaria (bancos de molienda).
- Dejar limpia el área de trabajo una vez realizada cualquier tipo de actividad.

- Identificar un lugar adecuado para la realización de la limpieza de las herramientas.

Permite aumentar la vida útil de herramientas, menos accidentes y mayor seguridad de las mismas, menos accidentes de personal, mejor aspecto de la planta en general.

Seiketsu: Estandarizar

Consiste en mantener lo logrado en las tres primeras “S”, esta etapa está ligada a la adquisición de los hábitos que se han estado implementando.

- Estandarizar los procedimientos ya mencionados.
- Establecer en una cartelera los procedimientos para su visualización y recordatorio al personal de la planta.

Permite mejorar el clima laboral, se adquieren hábitos para evitar riesgos e imprevistos.

Shitsuke: Disciplina

Pretende establecer una cultura de trabajo con los estándares ya establecidos y por los logros alcanzados en cuanto a organización, limpieza y orden, si no hay disciplina, la metodología no se mantiene conforme pasa el tiempo.

- Identificar las mejoras y cambios que se han presentado con las cinco “S”.
- Cumplir y respetar los procedimientos.
- Documentación para visualizar el antes y el después de la ejecución de los procedimientos de las primeras tres “S”.
- Desarrollo y aporte de ideas para el mejoramiento de los procedimientos y trabajo de los involucrados.

Promueve la filosofía de mejora continua y aumenta la motivación de empleados.

Etiquetas

A continuación se presentan unos modelos de etiquetas (ver gráfico 23) para reportar una anomalía en los bancos de molienda, sin embargo, también pueden ser utilizados en otras maquinarias, estas tarjetas se utilizarán cuando algún trabajador

detecte la necesidad de reparación u otro tipo de servicio, si el operario, ayudante de molinero o molinero está en la capacidad y posee los recursos de atender la problemática del equipo se colocará sobre el equipo la etiqueta verde, sin embargo, si la situación requiere un mayor nivel de capacidad como la de un técnico de mantenimiento, se colocará sobre el equipo la etiqueta roja para que esta persona atienda la situación a la mayor brevedad posible.

Con referencia a lo anterior, el desarrollo e implementación del plan de mantenimiento basado en confiabilidad permitirá disminuir las paradas no programadas de los bancos de molienda dentro del proceso de producción, aumentando la disponibilidad del molino estudiado como consecuencia de la reducción de la disminución de las paradas del molino, aumentando así también la confiabilidad de este molino, intentando maximizar la vida útil de los equipos.

Gráfico 23. Etiquetas para identificación de anomalías.

ETIQUETA ROJA			ETIQUETA AZUL		
MANTENIMIENTO			OPERADOR/MOLINERO		
Fecha:			Fecha:		
Equipo y modelo:			Equipo y modelo:		
Localización:			Localización:		
Encontrado por:			Encontrado por:		
Prioridad:			Prioridad:		
Alta ()	Media ()	Baja ()	Alta ()	Media ()	Baja ()
Descripción:			Descripción:		
COLOCAR ETIQUETA EN EL EQUIPO			COLOCAR ETIQUETA EN EL EQUIPO		

Con referencia a lo anterior, el desarrollo e implementación del plan de mantenimiento basado en confiabilidad permitirá disminuir las paradas no programadas de los bancos de molienda dentro del proceso de producción, aumentando la disponibilidad del molino estudiado como consecuencia de la reducción de la disminución de las paradas del molino, aumentando así también la confiabilidad de este molino, intentando maximizar la vida útil de los equipos.

A continuación se mencionan los resultados esperados:

- Menor número de paradas no programadas y reducción de actividades correctivas a medio y largo plazo.
- Stock de repuestos disponible para situaciones de urgencia.
- Aplicación de tareas basadas en condición para llevar mayor control sobre los equipos.
- Mayor disponibilidad del molino.
- Garantizar la calidad del producto final y rendimiento.
- Se espera que con los resultados obtenidos también se aplique esta metodología en los otros molinos que componen la planta de producción.

Cuadro 23. Situación propuesta en bancos de molienda.

Situación propuesta bancos de molienda	
Fallas	13
Horas de paro	8,74
MTBF (hr)	118,79
MTTR (hr)	0,67
Disponibilidad	99,44%
Confiabilidad	77,85%
Mantenibilidad	46,57%

El valor de confiabilidad está evaluado para que los bancos de molienda no fallen durante un mes, esta probabilidad de no fallar es de 77,85%, aumentando en un 23,88% el porcentaje de confiabilidad de la situación actual, el cual era de 53,97%.

Con respecto a la mantenibilidad, la propuesta permite aumentar en un 3,59% el valor con respecto al valor de mantenibilidad de la situación actual.

Cuadro 24. Situación actual y propuesta para el molino B.

Descripción	Situación molino B	
	Actual	Propuesta
Horas de mantenimiento correctivo a bancos de molienda	24,25	8,74
MTBF del molino B(hr)	21,14	28,32
MTTR del molino B (hr)	0,73	0,69
Disponibilidad del molino B	96,66%	97,62%

Fuente: Gómez, J. (2021).

Cuadro 25. Cálculo de efectividad global de equipos (OEE) propuesto.

OEE: Disponibilidad		
Parámetro	Valor	Unidad
Horas diarias de trabajo	24	Horas
Días de trabajo	64,7	Días
Horas de paradas programadas	7,14	Horas
Tiempo disponible de maquina	1545,66	Horas
Pérdidas por averías y puesta en marcha	80	Horas
Tiempo operativo	1465,66	Horas
Índice de disponibilidad	0,9482	93,82%
OEE: Rendimiento		
Parámetro	Valor	Unidad
Capacidad productiva	160	Ton/Día
Capacidad productiva durante los días de trabajo	10352	Ton
Capacidad real	145	Ton/Día
Producción real durante los días de trabajo	8855,03	Ton
Índice de rendimiento	0,8554	85,66%

OEE: Calidad		
Parámetro	Valor	Unidad
Producción real	9381,5	Ton
Toneladas inconformes	0	Ton
Toneladas conformes	9381,5	Ton
Índice de calidad	1,00	100,00%

OEE propuesta	0,8111	81,11%
----------------------	---------------	---------------

Con la propuesta el valor de la efectividad global de equipos aumenta casi el 2%, y se podría aumentar mas si se realizan planes de mantenimiento centrados en confiabilidad al resto de equipos críticos del molino B, ya que a pesar de reducir las paradas de los bancos de molienda, se siguen considerando las paradas de los otros equipos a los que en un futuro también se les debería aplicar la misma metodología, sin embargo, se puede ver que la producción real considerando los mismos días de trabajo se aumenta logrando producir 106 toneladas más que en la situación actual, lo que en valor monetario se traduce en 31.827\$ mas de ganancia considerando los precios de sémola y afrecho.

5.4 FASE IV: Evaluar la factibilidad operativa, técnica, social y económica del plan de mantenimiento propuesto.

Económica: En el aspecto económico se estudia si los beneficios justifican los costos que requiere la propuesta, los cuales se mostrarán a continuación.

Cuadro 26. Costos del plan de mantenimiento.

Costos del plan	
Piezas y repuestos requeridos (anual)	\$ 10.350,00
Lubricación (anual)	\$ 120,00
Capacitación y materiales imprevistos	\$ 400,00
TOTAL	\$ 10.870,00

Fuente: Gómez, J. (2021).

Relación beneficio / costo: De igual manera, la relación beneficio costo está representada por la división beneficios/costos (B/C), a continuación se explica la viabilidad de la propuesta dependiendo del resultado obtenido en la división:

- Si el resultado es mayor a 1 la propuesta es viable.
- Si es igual a 1 es indiferente la ejecución de la propuesta.
- Si el resultado es menor a 1 la propuesta es inviable.

Cuadro 27. Toneladas no extraídas y costos de oportunidad.

Descripción	Cantidades (ton)	Valor (\$)
Harina/sémola no extraída	109,125 ton	\$ 38.193,75
Afrecho y harinilla no extraída	36,375 ton	\$ 9.093,75
Total		\$ 47.287,50
Relación beneficio/costo		2,83

Fuente: Gómez, J. (2021).

Como se puede visualizar en el cuadro anterior, la relación beneficio se calculó identificando las cantidades que no se lograron producir de sémola, afrecho y harinilla debido a las averías que se presentaron durante el período, sin embargo, se estima que con la propuesta no se van a reducir las averías al 100%, es por ello que el total de dinero que no pudo obtenerse (41.697,50) no será completamente el beneficio, pero se estima que de acuerdo a las averías que se podrán evitar permitirán obtener el 65% de beneficio del total, es decir, el 65% de 47.287,50, obteniendo un valor de 30.736,875, quedando la división de la siguiente manera:

$B/C (\$) = 30.736,875/10.870 = 2,83$. Como puede observarse, la propuesta es viable.

Tiempo de retorno de inversión (TRI):

El tiempo de retorno de la inversión hace referencia al tiempo en que se tardará en recuperar el dinero invertido en la propuesta, la inversión requerida es de 10.870\$, tomando en cuenta el dinero no obtenido debido a la no producción por averías se tiene un costo de oportunidad como se mencionó anteriormente de 41.697,50, se estima que el 65% de estos costos lograrán obtenerse con la implementación de la propuesta, es por ello que:

$$TRI = 10.870 / 30736,875 = 0,35 \text{ meses.}$$

Es por ello que, aproximadamente en 11 días, se logra recuperar el dinero invertido.

Operativa: Es factible ya que la empresa cuenta MOCASA, cuenta con el personal necesario dentro del proceso de producción para llevar a cabo las actividades propuestas, donde a pesar de que la mayoría las deberían hacer los técnicos mecánicos y electricistas, otras de las actividades pueden ser ejecutadas por los molineros, auxiliares de molineros y operarios en caso de ser demasiadas, sin embargo, es importante reducir los tiempos de ocio para que todas las actividades incluyendo las del resto de máquinas del proceso, puedan ser realizadas.

Técnica: Para las actividades propuestas se requiere una cámara termográfica, un pirómetro, un medidor de vibraciones y un megohmetro, de este último ya la empresa posee una unidad, sin embargo los otros dos son requeridos para las actividades a condición propuestas. Estos dispositivos requeridos poseen un manual y video explicativo de funcionamiento para el usuario con el fin de facilitar el uso del mismo para aquellas personas que nunca los han utilizado.

Social: El trabajo de investigación le permite al personal de la empresa mayor confianza en los equipos del proceso de producción seleccionados, ya que tendrán menor preocupación por fallas no programadas continuas que puedan presentarse en los equipos, disminuyendo así el estrés laboral y mejorando el ambiente de trabajo.

Por otra parte, en la sociedad permite destacar la importancia de tener una buena gestión de mantenimiento en las empresas de producción de alimentos y la forma en que aumentando la disponibilidad de los equipos críticos de la empresa se puede mejorar en muchos aspectos la eficiencia del proceso de producción, permitiendo así poder cumplir con la demanda de los productos donde al fin y al cabo los beneficiados son las personas que hacen parte de esta sociedad ya que la harina y sémola de trigo es parte de una gran cantidad de alimentos dentro de la dieta del ser humano.

Ambiental: En el aspecto ambiental el plan de mantenimiento permite aumentar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos, reduciendo sus fallas, lo que reduce las posibilidades de que las fallas de los equipos perjudiquen al medio ambiente. Cabe agregar, que las tareas de mantenimiento propuestas no poseen un impacto medioambiental que pueda suponer un problema o la violación de normas medioambientales por parte de la empresa.

CONCLUSIONES

El diagnóstico de la situación actual dentro del proceso de producción permitió identificar que los métodos, los repuestos y la gestión del tipo de mantenimiento aplicado a la maquinaria son uno de los mayores problemas dentro de la gestión del mantenimiento, donde el exceso de mantenimiento correctivo está ocasionando una considerable cantidad de paradas no programadas.

El número de paradas no programadas, la disponibilidad de los molinos y las recomendaciones del personal de la planta permitieron direccionar el análisis hacia la identificación del equipo crítico en el molino B, el cual contaba con la menor disponibilidad y mayor cantidad de paradas no programadas.

El análisis de criticidad permitió identificar los equipos críticos, los cuales fueron los bancos de molienda, estos ocasionaban la mayoría de paradas no programadas y la mayor cantidad de tiempos de paro del molino en estudio.

El análisis de modos y efectos de falla (AMEF) permitió identificar los modos y de falla, sus posibles causas y efectos de los equipos en estudio para luego categorizar cada uno de estos modos de falla y visualizar los que tenían un mayor número de prioridad de riesgo (NPR) los cuales son los que tienen que tratar de evitarse durante la implementación de la propuesta.

El árbol lógico de decisión permitió identificar el tipo de mantenimiento que se aplicará a cada modo de fallo, destacando el mantenimiento predictivo con las inspecciones previas diarias, semanales, mensuales, cada una con determinada frecuencia, para buscar anticiparse a posibles averías durante el funcionamiento de los equipos que puedan perjudicar otros componentes de la misma máquina o a la producción dentro de la planta.

La implementación de la propuesta ofrecerá un mayor control sobre los bancos de molienda, reduciendo la ocurrencia de las fallas en estos equipos, evitando paradas no programadas, evitando retrasos en la producción, mejorando el ambiente laboral y aumentando la disponibilidad del molino.

El plan de mantenimiento no asegura eliminación del 100% de las paradas no programadas, sin embargo, permite reducirlas de manera considerable y alargar la vida útil de los equipos en cuestión, es por ello que los gastos deben verse como una inversión a medio-largo plazo.

La propuesta es económicamente viable y el período de tiempo de retorno de la inversión es menor a un mes, en el aspecto operativo se cuenta con el personal de trabajo necesario para la implementación del plan, en el aspecto técnico se requiere la adquisición de unas herramientas para el mantenimiento basado en condición donde el medidor de vibraciones podría ser el equipo con mayor dificultad para utilizar por parte del personal de mantenimiento, sin embargo los fabricantes de la herramienta poseen manuales y videos explicativos que permitirán aprender poco a poco el funcionamiento de la misma.

RECOMENDACIONES

- Implementar el plan de mantenimiento propuesto a los bancos de molienda y hacer un seguimiento de a la cantidad de paradas no programadas y tiempos de paro para poder comparar frecuentemente con la situación que se presentaba antes de implementar el plan.
- Registrar cada una de las fallas de los equipos de manera digital para facilitar el desarrollo de futuros planes de mantenimiento de los mismos u otros equipos y poder abarcar un mayor número de fallos.
- Actualizar el análisis de modos y efectos de falla conforme se van presentando nuevos modos de fallo y ajustarlo con el paso del tiempo ya que es algo que debe estar en constante evaluación conforme van fallando los equipos y van acumulando años de trabajo.
- Aplicar el mantenimiento centrado en confiabilidad en los equipos críticos de los otros molinos y progresivamente ir abarcando los otros equipos de cada molino para alargar la vida útil de los mismos.
- Adquirir repuestos de buena calidad y tener el stock necesario para evitar problemas y fallas al utilizar repuestos usados o de mala calidad y disminuir tiempos de paro por el uso de repuestos compartidos con otros equipos que también requieren estar en funcionamiento.
- Considerar que un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad como cualquier otra metodología de mantenimiento puede tomar tiempo y los resultados pueden verse a medio y largo plazo.

REFERENCIAS

- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica*. 6ta ed. Caracas: Episteme.
- Asamblea Nacional Constituyente. (1999). Constitución Nacional de la República Bolivariana de Venezuela. Gaceta Oficial N° 36.860.
- Balestrini, M. (2006). *Como se elabora el proyecto de investigación*. 7ma ed. Caracas: BL Consultores Asociados.
- Campos, O. Tolentino, G. Toledo, M y Tolentino, R. (2018). *Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos*. [Documento en línea]. Disponible: <https://www.redalyc.org/journal/614/61458265006/61458265006.pdf>. Consultado en Julio 2021.
- Fustamante, L. (2020). *Propuesta de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad en la en la planta chancadora de la empresa Astaldi-Piura*. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Chiclayo, Perú.
- Holmquist, Y. y Ventura, N. (2017). *Desarrollo de un plan de mantenimiento a los equipos pertenecientes al área de chasis en el departamento de TCF en la empresa FCA Venezuela L.C.C*. Universidad José Antonio Páez. Carabobo, Venezuela.
- Hurtado, J. (2008). *Cómo formular objetivos de investigación: Una comprensión holística*. 2da ed. Caracas: Sypal.
- Martínez, O. (2020). *Propuesta de un modelo de mantenimiento mediante herramientas de la metodología RCM para impresora Flexo Folder Gluer*. Universidad ECCI. Bogotá, Colombia.
- Moubray, J. (1997). *Mantenimiento centrado en confiabilidad*. 2da ed. Aladon.
- Muñoz, J. (s.f). *Diagramas de Pareto y de Dispersión, herramientas claves de evaluación, seguimiento y control del mantenimiento*. [Documento en línea].

Disponible: <https://predictiva21.com/diagramas-de-pareto-y-de-dispersion-herramientas-del-mantenimiento/>. Consultado en Julio 2021.

Norma Internacional ISO 14224. (1999). *Industrias de petróleo y gas natural – Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos*. 1era edición.

Palella y Martins. (2012). *Metodología de la Investigación Cuantitativa*. 1era reimpresión. Caracas: Fedupel.

Ramírez, J. y Moreno, H. (2017) *Elaboración de un análisis de criticidad y disponibilidad para la atracción X-Treme del Parque Mundo Aventura, tomando como referencia las normas SAE JA1011 y SAE JA1012*. Universidad Distrital Francisco José De Caldas Facultad Tecnológica. Bogotá, Colombia.

Reliability Web (s.f.) *El Análisis de Criticidad, una Metodología para mejorar la Confiabilidad Operacional*. [Documento en línea]. Disponible: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-ope>. Consultado en Julio 2021.

Risquez, Fuenmayor y Pereira. (1999). *Metodología de la Investigación I: Manual teórico-práctico*. 1era ed. Maracaibo: Proeduca.

Salcedo, J. (2016). *Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para la llenadora rotativa de la línea de producción de salsa a base de tomate y ketchup de la empresa Alimentos Garmi C.A*. Universidad de Central de Venezuela, Aragua, Venezuela.

Sánchez, A. (2017). *Propuesta de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad, en las bombas G-4204 A/B de la unidad THDA*. Universidad de Carabobo. Carabobo, Venezuela.

SAE Internacional. (2002). *Guía para la Norma de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC)*. [Documento en línea]. Disponible: https://www.academia.edu/38529540/Norma_sae_ja. Consultado en Julio 2021.

Sedisa (2021). *Guía para hacer un análisis de criticidad de equipos*. [Documento en línea]. Disponible: <https://www.sedisa.com.pe/servicios/sin-categoria/guia-para-hacer-un-analisis-de-criticidad-de-equipos>. Consultado en Agosto 2021.

Tamayo y Tamayo, M. (2009). El proceso de la investigación científica: Incluye evaluación y administración de proyectos de investigación

Torres, L. (2005) *Mantenimiento, su implementación y gestión*. 2da ed. Argentina:Universitas.

UPEL. (2016). *Manual de Trabajos de Grado, de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales*. 5ta ed. Caracas: Fedupel.

ANEXOS

Anexo 1

Gráfico 24. Parte interna de banco de molienda.



Gráfico 25. Parte externa de banco de molienda.



Anexo 2

Cuadro 28. Criterios de severidad para la asignación del número de prioridad de riesgo (NPR).

Severidad		
Valoración	Efecto	Criterio
1	Ninguno	Sin efectos.
2	Muy poco	Interrupción menor a la línea de producción.
3	Pequeño	Parada de máximo 10 min. Lesiones muy menores. Mínimo impacto ambiental.
4	Muy bajo	Parada total o parcial entre 10 y 20 min. Lesiones menores. Mínimo impacto ambiental.
5	Bajo	Parada parcial o total entre 20 y 40 min. Lesiones leves. Impacto ambiental mitigable.
6	Moderado	Parada parcial o total entre 40 min y 1 hora y media. Lesiones leves. Impacto ambiental mitigable.
7	Alto	Parada parcial o total entre 1 hora y media y 3 horas. Lesiones leves. Impacto ambiental mitigable.
8	Muy alto	Parada total entre 3 y 6 horas.
9	Peligroso con aviso previo	Parada total entre 6 y 8 horas. Falla con aviso.
10	Peligroso sin aviso previo	Parada de 8 horas en adelante. Falla sin aviso.

Fuente: Gómez, J. (2021).

Cuadro 29. Criterios de ocurrencia para la asignación del número de prioridad de riesgo (NPR).

Ocurrencia			
Valoración	Ocurrencia	Criterio	Probabilidad
1	Remota	Falla improbable	1 en 1,500,000
2	Muy baja	Fallas aisladas asociadas con procesos casi idénticos	1 en 150,000
3	Baja	Fallas aisladas asociadas con procesos similares	1 en 15,000
4	Moderada	Fallas ocasionales	1 en 2,000
5			1 en 400
6			1 en 80
7			1 en 30
8	Alta	Falla que se presenta muy a menudo	1 en 15
9	Muy alta	Falla casi inevitable	1 en 6
10			1 en 3

Fuente: Gómez, J. (2021).

Cuadro 30. Criterios de detección para la asignación del número de prioridad de riesgo (NPR).

Detección		
Valoración	Detección	Probabilidad de detección de la falla
1	Casi segura	99,50%
2	Muy alta	97,50%
3	Alta	95%
4	Moderadamente alta	92,50%
5	Moderada	90%
6	Baja	87,50%
7	Muy baja	85%
8	Remota	82,50%
9	Muy remota	80%
10	Casi imposible	Menor al 80%

Fuente: Gómez, J. (2021).



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Guión de Entrevista

Preguntas	Respuestas
¿Cuál cree usted que son las razones de la cantidad de paradas no programadas que se presentan en el proceso de producción?	
¿Cuáles problemas existen en la gestión del mantenimiento?	
¿Cuáles indicadores de mantenimiento conoce? ¿Esos u otros indicadores se calculan cada cierto tiempo? ¿A usted le informan sobre esas cifras?	
¿Cuál de los molinos está presentando mayores problemas? ¿Cuál/es son algunos de estos problemas?	
¿Cuáles son los equipos que ocasionan paradas totales en caso de fallar?	
¿Qué tipo de mantenimiento es el que se aplica con mayor frecuencia? ¿Cuáles son los tipos de mantenimiento que se ejecutan?	
¿Cuáles problemas se presentan cuando hay que corregir una avería de un equipo que tiene parada toda la planta?	
¿Existe un registro histórico digital de las fallas de los equipos? ¿Tener este registro facilitaría la toma de decisiones en las actividades de mantenimiento?	

¿Los trabajos de mantenimiento se realizan dentro del tiempo estimado la mayoría de las ocasiones o muchas veces se retrasan?	
¿Con que frecuencia se presentan paradas totales de planta programadas para el mantenimiento de los equipos?	
¿Cómo es la comunicación y trabajo en conjunto entre el jefe de planta, supervisor de molineros y supervisor de mantenimiento?	
¿Cómo es el ambiente de trabajo y como se lleva el trabajo en equipo?	