

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTA
DE MEJORA DEL MANTENIMIENTO EN EL ÁREA DE
MOLINOS EN UN INGENIO AZUCARERO**

PRESENTADO POR:

VLADIMIR ALEXANDER QUINTEROS ARÉVALO

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, ABRIL 2021

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

M.Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIA GENERAL :

M.Sc. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

PhD. EDGAR ARMANDO PEÑA

SECRETARIO :

Ing. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR INTERINO :

Ing. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO MECÁNICO

Título :

**EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTA
DE MEJORA DEL MANTENIMIENTO EN EL ÁREA DE
MOLINOS EN UN INGENIO AZUCARERO**

Presentado por :

VLADIMIR ALEXANDER QUINTEROS ARÉVALO

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

M.Sc. e Ing. LEYLA MARINA JIMÉNEZ MONROY

San Salvador, abril de 2021

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

M.Sc. e Ing. LEYLA MARINA JIMÉNEZ MONROY

DEDICATORIA

A ti, oh Dios mío, Dios de mis padres, te doy gracias y te alabo, porque me has dado sabiduría e inteligencia.

A mis padres, Rigoberto Quinteros y Yolanda de Quinteros; son mi motivación y merecen el crédito de todos mis logros, su amor, sus consejos y enseñanzas ahora se convierten en éxitos.

A mi abuela, Juana Quinteros, por ser un apoyo fundamental en mi formación académica y enseñarme a ser fuerte.

A mi abuelo, Eulalio Arévalo (Q.E.P.D), un hombre que me enseñó el valor de la humildad y a esforzarme por mis sueños.

A mi tío Rigoberto Arévalo (Q.E.P.D), estuviste siempre y me enseñaste a sonreír.

A mis hermanas, Flor Quinteros y Marlene Quinteros, son mi motivo para ser mejor.

Vladimir Quinteros.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, doy gracias a mi Dios por medio de Jesucristo con respecto a todos ustedes, porque su fe es proclamada en todo el mundo; (Ro 1:8). Por darme la inteligencia y sabiduría necesaria, por colocar a las personas idóneas para culminar de manera exitosa este trabajo de grado.

A toda mi familia por ser parte de este proyecto y darme ánimos de continuar y finalizar esta carrera.

A mis amigos, Herbert R., Samuel R., Mayrelin S., Sonia M., Lorena M., Valeria R.,

A mi entrenador y amigo Pichi, por enseñarme disciplina, esfuerzo y valor para afrontar cada reto de la vida.

A mi amada Rebeca Q. por estar en cada momento y ser ayuda incondicional, enseñándome que con esfuerzo y sacrificio se vuelven realidad los sueños.

Al Ingenio El Ángel, ingenieros German Molina y Salvador Flores, por brindarme la oportunidad de realizar este estudio en sus instalaciones, por proporcionar datos necesarios y recibirme atentamente en cada visita que realicé.

A mi asesora, Ing. Leyla, por ser un ejemplo de dedicación y por mostrar un compromiso y profesionalismo, siempre dando un poco más de esfuerzo para culminar este trabajo de grado, por su motivación y sus consejos.

A todos los profesores y compañeros que compartieron su conocimiento y que dejaron una huella positiva en mí.

Vladimir Quinteros.

EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL Y PROPUESTA DE MEJORA DEL MANTENIMIENTO EN EL ÁREA DE MOLINOS EN UN INGENIO AZUCARERO

Estudiante: Br. Vladimir Alexander Quinteros Arévalo

Docente asesora: M.Sc. e Ing. Leyla Marina Jiménez Monroy

Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Universidad de El Salvador

RESUMEN

Se realizó la evaluación de la situación actual de la gestión del mantenimiento y a partir de los resultados, se diseñó una propuesta de oportunidades de mejora en el área de molinos de un ingenio azucarero.

Aplicando diferentes técnicas de evaluación que permiten valorar de manera cualitativa factores que intervienen en una gestión de mantenimiento, se elaboró un instrumento de cualificación específico para una auditoría interna. Los hallazgos obtenidos por la auditoría permitieron organizar y agrupar la maquinaria y equipos de acuerdo a cómo intervienen en el producto durante su recorrido en el proceso, posteriormente segmentar y determinar la criticidad de la maquinaria y equipos en el área de molinos. A partir del análisis de criticidad se seleccionó el modelo de mantenimiento más adecuado para cada sistema, asimismo, se definieron índices básicos de mantenimiento para el control y seguimiento de variables esenciales en el aumento de eficiencia en el mantenimiento para finalizar con la propuesta de oportunidades de mejora.

ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
RESUMEN	vii
SIMBOLOGÍA	xv
INTRODUCCIÓN	16
OBJETIVOS	17
1. MARCO TEÓRICO	18
1.1. Antecedentes generales de los ingenios azucareros en El Salvador.	18
1.1.1. Ingenio El Ángel.....	19
1.2. Generalidades del proceso de molienda	20
1.2.1. Rutina de operación de la industria azucarera.....	20
1.3. Maquinaria y equipos en el área de molinos de un ingenio azucarero.	25
1.3.1. Maquinaria de preparación y molienda de caña de azúcar.....	25
1.3.2. Molinos de extracción del jugo de caña	26
1.4. Tipos de mantenimiento	33
1.4.1. Definición del mantenimiento.....	33
1.4.2. Definición, ventajas, inconvenientes y aplicaciones de cada tipo de mantenimiento.	34
1.5. Índices de gestión del mantenimiento.	41
1.5.1. Índices clase mundial.....	41
2. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO	42
2.1. Evaluación de la situación actual.....	42
2.2. Marco teórico para la auditoría	42
2.2.1. Auditoría	42
2.3. Metodología de evaluación.....	46

2.3.1.	Diagnóstico del área de mantenimiento.....	46
2.3.2.	Procedimiento general de implantación de una auditoría.	46
2.3.3.	Resultados de auditoría.....	55
2.4.	Organización de la maquinaria y equipos.....	71
2.5.	Criticidad de la maquinaria y equipos.....	79
2.5.1.	Metodología para definir la criticidad de los equipos	80
2.5.2.	Resultados de análisis de criticidad.....	86
3.	PROPUESTAS DE MEJORA	98
3.1.	Tipo de mantenimiento a equipos críticos.	98
3.1.1.	Selección del modelo de mantenimiento.	101
3.2.	Indicadores de mantenimiento.....	126
3.2.1.	Indicadores básicos de clase mundial en una gestión de mantenimiento	128
3.2.2.	Resultado de indicadores básicos de mantenimiento de clase mundial.	137
3.3.	Análisis de costos de ciclo de vida	144
3.3.1.	Modelo de ACCV de Woodward.....	147
3.3.2.	Ejemplo básico de evaluación de los costos totales por fiabilidad a partir del modelo de ACCV de Woodward	151
3.4.	Propuesta de oportunidades de mejora.....	166
	CONCLUSIONES	168
	RECOMENDACIONES.....	170
	GLOSARIO	172
	BIBLIOGRAFÍA.....	180
	ANEXOS.....	184

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. 1. Esquema general de recorrido de la caña en el proceso de preparación y extracción. (Pérez Figueroa & Vásquez Zaldaña, 2019).....	22
Figura 1. 2. Diagrama de proceso de preparación y molienda. (Pérez Figueroa & Vásquez Zaldaña, 2019).	23
Figura 1. 3. Extracción del jugo por molinos. (Oliverio, 2011).....	24
Figura 1. 4. Molino convencional de tres mazas, (Rein, 2012).	27
Figura 1. 5. Sección de corte de un molino Mirrlees Watson 1 Cabezotes hidráulicos; 2 Chavetas sujetadoras; 3 Pines de bisagras; 4 Raspadores de las mazas superior y bagacera; 5 Ajuste lateral de mazas; 6 Cuchillas Messchaert. (Rein, 2012).....	28
Figura 1. 6. Eje cuadrado (entredós) y acoples cuadrados, (Rein, 2012)	31
Figura 1. 8. Fase de implantación real de R.C.M. (Fernández F. J., 2003)	38
Figura 2. 1. Procedimiento general de implementación de una auditoría (Parra Márquez & Crespo Márquez, 2017).	47
Figura. 2. 2. Escala de puntuación para definir la categoría de gestión del mantenimiento a la que pertenece.....	57
Figura 2. 3. Diagrama de Radar con la calificación promedio de cada factor evaluado por parte de Gestión y Operativos.....	59
Figura 2. 4. Resultados de factores auditados, promedio de gestión del mantenimiento en el área de molinos.	60
Figura 2. 5. Resultados de Factores auditados, promedio de operativos del mantenimiento en el área de molinos.	61
Figura 2. 6. Resultados, Gerencia de la información (software de mantenimiento).	62
Figura 2. 7. Resultados, Manejo de la Información Sobre Equipos.	63
Figura 2. 8. Resultados, Equipos y técnicas de mantenimiento preventivo (MP).	64

Figura 2. 9. Resultados, Soporte y Calidad.	65
Figura 2. 10. Resultados, Criticidad de Rutas de Inspección.....	66
Figura 2. 11. Resultados, Situación Actual del Mantenimiento.	67
Figura 2. 12. Resultados, Efectividad del Mantenimiento Actual.	68
Figura 2. 13. Resultados, Generación de Órdenes de Trabajo y Herramientas Informáticas de Soporte.....	69
Figura 2. 14. Resultados, Manejo de Indicadores Técnicos de Mantenimiento.	70
Figura 2. 15. Resultados, Antecedentes de Costos de Mantenimiento.....	71
Figura 3. 1. Modelo básico para tipo de mantenimiento a implementar de acuerdo a su disponibilidad (Garrido, 2003)	117
Figura 3. 2. Modelo básico (adicional), para tipo de mantenimiento a implementar de acuerdo a su disponibilidad. (Garrido, 2003)....	118
Figura A1. Hoja de cálculo para el Análisis de criticidad y segmentación de la maquinaria y equipos en el área de molino de un ingenio azucarero. [Captura de pantalla].....	191
Figura A2. Hoja de cálculo para segmentar las tareas de mantenimiento de acuerdo a los criterios tomados para la maquinaria y equipos en el área de molinos de un ingenio azucarero. [Captura de pantalla].....	192

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2. 1. Resultados de la puntuación obtenida en cada factor de acuerdo al criterio de personal de Gestión del mantenimiento en el área de molinos en un ingenio azucarero.	56
Tabla 2. 2. Resultados de la puntuación obtenida en cada factor de acuerdo al criterio de personal operativo del mantenimiento en el área de molinos en un ingenio azucarero.	58
Tabla 2. 3. Lista de maquinaria y equipos agrupados de acuerdo a la función que cumplen en el paso del producto por cada etapa del proceso en el área de molinos de un ingenio azucarero.....	75
Tabla 2. 4. Grupo de variables consideradas para determinar la criticidad de la maquinaria y equipos en un ingenio azucarero.....	82
Tabla 2. 5. Cuadro resumen de variables y criterios de calificación con su peso correspondiente.	84
Tabla 2. 6. Peso de cada variable de acuerdo el criterio de la gestión de mantenimiento.	85
Tabla 2. 7. Rango de puntuación de criticidad de la maquinaria y equipos.	85
Tabla 2. 8. Resultados del análisis de criticidad y grupo al que pertenece cada sistema o equipo del área de molinos de un ingenio azucarero.....	87
Tabla 2. 9. Listado de sistemas y equipos que se encuentran en el mayor rango de criticidad.	97
Tabla 3. 1. Descripción de tareas de Mantenimiento, (Garrido, Organización y Gestión Integral de Mantenimiento, 2003).	106
Tabla 3. 2. Asignación de un Modelo de Mantenimiento para la Maquinaria y equipos de un ingenio azucarero.	119
Tabla 3.3. Indicador de Fiabilidad, Tiempo Promedio Operativo.	129
Tabla 3.4. Indicador de Fiabilidad, Frecuencia de Fallos.....	130

Tabla 3.5. Utilidad de los indicadores MTTF (TPO) y FF. (Parra Márquez & Crespo Márquez, Cuadro de Mando Integral e Indicadores básicos de la Gestión del Mantenimiento, 2020).	131
Tabla 3.6. Indicador de Mantenibilidad, (Tiempo Promedio Fuera de Servicio).....	132
Tabla 3.7. Utilidad del indicador MDT (TPFS). (Parra Márquez & Crespo Márquez, Cuadro de Mando Integral e Indicadores básicos de la Gestión del Mantenimiento, 2020)	133
Tabla 3.8. Indicador de Costes, Costes de Indisponibilidad por Fallos.....	134
Tabla 3.9. Utilidad del indicador CIF. (Parra Márquez & Crespo Márquez, Cuadro de Mando Integral e Indicadores básicos de la Gestión del Mantenimiento, 2020)	135
Tabla 3.10. Indicador de Disponibilidad. (Parra Márquez & Crespo Márquez, Cuadro de Mando Integral e Indicadores básicos de la Gestión del Mantenimiento, 2020)	136
Tabla 3.11. Utilidad del indicador D. (Parra Márquez & Crespo Márquez, Cuadro de Mando Integral e Indicadores básicos de la Gestión del Mantenimiento, 2020).	137
Tabla 3.12. Resultados del indicador de fiabilidad para la maquinaria y equipos críticos de un ingenio azucarero.....	138
Tabla 3.13. Resultados del indicador de mantenibilidad y Disponibilidad para la maquinaria y equipos críticos de un ingenio azucarero.	139
Tabla 3.14. Resultados del indicador de fiabilidad para la maquinaria y equipos críticos de un ingenio azucarero.....	141
Tabla 3.15. Costes por penalización, alternativa “A” sistema planetario molino 2.	153
Tabla 3.16. Datos económicos por año, alternativa "A".	155
Tabla 3. 17. Resultados económicos a valor presente, alternativa "A".	156
Tabla 3.18. Costes por penalización, alternativa “B” sistema planetario molino 2.	159
Tabla 3.19. Datos económicos por año, alternativa "B".	160

Tabla 3. 20. Resultados económicos, alternativa "B".....	161
Tabla 3. 21. Resultados económicos sin evaluar los costes por fallos.	162
Tabla 3. 22. Datos de costes de fallos, mantenibilidad y confiabilidad.	163
Tabla 3. 23. Resultados de los costes por fallos.....	163
Tabla 3. 24. Resultados económicos evaluando los costes por fallos.	164

SIMBOLOGÍA

MTTF: Mean Time to Failure, (Tiempo Promedio Operativo hasta el Fallo, TPO).

TTF: Tiempo Operativo hasta el Fallo.

FF: Frecuencia de Fallos.

MDT: Mean Down Time, (Tiempo Promedio Fuera de Servicio).

DT: Tiempo Fuera de Servicio.

CIF: Costes de Indisponibilidad por Fallos.

CD: Costos Directos de corrección por fallos por hora.

CP: Costos Penalización por hora.

CTCV: Costes totales del ciclo de vida en valor presente.

P: Valor Presente.

CI: Coste inicial de adquisición e instalación, normalmente dado en valor presente.

CO: Costes Operacionales, normalmente dado como valor anualizado.

CMP: Costes de Mantenimiento Preventivo, normalmente dado como valor anualizado.

TCPf: Costes Totales por Confiabilidad (costes por fallo).

CMM: Costes de Mantenimiento Mayor.

T: Número total esperado de años de vida útil.

δ_f : Frecuencia de fallos esperada por año.

C_f : Costes asociados a cada tipo de fallo.

MTTR: Tiempo medio para reparar cada fallo.

$TCPf$: Costes totales por fallo por año.

$PTCPf$: Costes totales por fallo en valor presente.

T : Vida útil esperada.

i : Tasa de descuento.

Σ : Sumatoria.

n : Número total de fallos en período evaluado.

INTRODUCCIÓN

La evaluación de la situación actual en una gestión de mantenimiento abre paso a identificar áreas o factores con un mayor requerimiento de recursos y de esta manera planificar y definir propuestas que ayuden a controlar y hacer un uso óptimo de los recursos y aumentar la disponibilidad de los equipos y maquinaria.

Al realizar un procedimiento general de implantación de una auditoría, se inicia definiendo el sistema de producción, la maquinaria y equipo que involucra mantenimiento mecánico, los factores auditados, siendo necesario elaborar con base en diferentes técnicas de evaluación para una auditoría de gestión, un instrumento de medición llamado Encuesta de Calificación y Efectividad del Mantenimiento (ECEM).

Como siguiente paso, se agrupan la maquinaria y equipos para poder segmentar y definir la criticidad de cada uno de ellos. A partir de los resultados obtenidos, se sugiere un modelo de mantenimiento de acuerdo a su disponibilidad y rango de criticidad, los indicadores básicos necesarios en una gestión de mantenimiento y un modelo de Análisis de Costo de Ciclo de Vida (ACCV) de Woodward.

La investigación se lleva a cabo en el área de molinos de la empresa Grupo El Ángel, ubicado en el municipio de Apopa y pretende identificar oportunidades de mejora y sugerir alternativas que permitan aumentar la eficiencia en la gestión del mantenimiento actual de la maquinaria y equipos involucrados en el proceso de molienda.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Diseñar una propuesta de mejora del mantenimiento para el área de molinos en un ingenio azucarero.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el estado actual del sistema mecánico de la maquinaria y equipo a través de una auditoría en el área de molinos de un ingenio azucarero.
- Determinar el nivel de criticidad de la maquinaria y equipo en el área de molinos de un ingenio azucarero.
- Organizar la maquinaria y equipo por sistemas en el área de molinos de un ingenio azucarero.
- Establecer el tipo de mantenimiento adecuado para cada sistema en el área de molinos de un ingenio azucarero.
- Definir los índices de gestión adecuados para el mantenimiento mecánico de la maquinaria y equipo en el área de molinos en un ingenio azucarero.
- Elaborar propuestas de mejora que permitan un aumento de eficiencia de la maquinaria y equipos en el área de molinos de un ingenio azucarero.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES GENERALES DE LOS INGENIOS AZUCAREROS EN EL SALVADOR. (Alfaro Ortega & Gómez Portillo, 2008).

“Se denomina Ingenio Azucarero o simplemente Ingenio a una antigua hacienda colonial americana (con precedentes en las Islas Canarias con instalaciones para procesar caña de azúcar con el objeto de obtener azúcar, ron, alcohol y otros productos.”

El Ingenio Azucarero es el lugar físico que permite el proceso de producción de caña de azúcar y sus derivados.

Origen de los Ingenios Azucareros

El investigador David Browning, afirma en su libro “El Salvador, la tierra y el hombre”, que, a finales del periodo colonial, la caña de azúcar, se cultivaba a pequeña escala en muchas partes del país, para su consumo local y la producción del alcohol, y fue sino hasta el siglo XIX, la caña de azúcar se cultivó a gran escala. Actualmente los Ingenios Azucareros establecidos en El Salvador son seis:

- Ingenio Jiboa
- Ingenio Central Izalco
- Ingenio La Magdalena
- Ingenio Chaparrastique
- Ingenio La Cabaña
- Ingenio El Ángel

1.1.1. INGENIO EL ÁNGEL

En sus inicios, la vieja molienda fue montada por la familia Meléndez en el siglo XVIII. Para 1948, Ingenio El Ángel tenía la primera categoría en producción de azúcar, de la cual, el 93% de su producción se exportaba.

Para el año de 1969 un grupo de visionarios empresarios liderados por el Ing. Guillermo Borja Nathán deciden adquirir el Ingenio El Ángel. Es a partir de esa fecha que se muestra una curva ascendente en la producción azucarera, de 191,088 quintales en la zafra 1969-1970 pasa a 1,748,332 quintales en la zafra 2001/2002 y 4,560,938 de acuerdo al informe final de producción para la zafra 2019/2020 (CONSAA, 2020)

Su funcionamiento ha reportado una importante generación de empleos y forma un verdadero polo de desarrollo económico y social para el país. Ingenio El Ángel, actualmente cuenta con un contrato colectivo que ampara alrededor de 1,200 empleados.

Esta empresa fabrica cuatro tipos de productos: Azúcar blanca para el consumo interno; cruda, que va hacia mercados internacionales entre ellos Estados Unidos, refinada, para otras exportaciones, y la melaza. Con esta última se elabora, concentrado para ganadería y alcohol para consumo humano. Esta empresa también tiene el aprovechamiento del bagazo de la caña de azúcar, ya que cogenera energía térmica, además de también implementar proyectos para el cultivo de plátano y la recuperación del cultivo de cacao en algunas zonas. La capacidad instalada de este ingenio es de 12,000 Toneladas de caña molida al día. (Amaya Zometa, Flores Ayala, Rivas Rivas, & Rodriguez Rivas, 2017)

1.2. GENERALIDADES DEL PROCESO DE MOLIENDA

1.2.1. RUTINA DE OPERACIÓN DE LA INDUSTRIA AZUCARERA

La caña tarda aproximadamente 7 meses en alcanzar su madurez para la cosecha o zafra como se le conoce al período de alta intensidad laboral.

La composición de la caña de azúcar es muy variable. El valor de la caña depende de la cantidad de azúcar que pueda ser recobrada a partir de ella y del costo asociado con su procesamiento. Es deseable por lo tanto contar con medios para evaluar la caña, de modo que la empresa azucarera pueda tasar su valor y efectuar ajustes en la planta y equipos que permitan producir azúcar eficientemente y a un costo mínimo.

La rutina de operación de la industria azucarera lo describe (Castellanos Torres & Sánchez Miranda, 2005):

Periodo de zafra

El periodo de Zafra ocurre entre los meses de noviembre a marzo, en el cual se lleva a cabo la transformación de la caña de azúcar en sus productos derivados, tales como el azúcar, jugos y mieles. Aquí toda la maquinaria de dicho proceso, debe de estar operando en óptimas condiciones con el fin de evitar paros innecesarios. Durante este período, la maquinaria trabaja de manera continua sin descanso, por lo tanto, el sistema debe operar a la perfección.

Cierre de zafra

En este periodo se finaliza la producción de azúcar el cual ocurre en el mes de marzo. Se realiza un monitoreo general a la maquinaria y equipos con el fin de revisar su estado e identificar los elementos que necesiten futura reparación o cambio. Además, se realiza un balance económico, el cual medirá las ganancias generadas durante el periodo de zafra.

Periodo de mantenimiento

El periodo de mantenimiento ocurre entre los meses de abril a octubre, se realiza una inspección minuciosa a los equipos que se identificaron con algún daño o avería durante el periodo de cierre de zafra. Se les aplica un mantenimiento correctivo a aquellos que muestran mayor deterioro y se les realiza su respectivo mantenimiento preventivo a los demás.

Periodo de pruebas de maquinaria y equipos.

Antes de la zafra se realiza una verificación del estado de la maquinaria y equipos tras haber realizado el mantenimiento respectivo. Se ponen a funcionar las máquinas y se comprueba su estado en operaciones de arranques y paradas. Si en este período se detectan fallas, se debe proseguir a una reparación extraordinaria hasta alcanzar su correcto funcionamiento. Una vez que a toda la maquinaria y equipos se les aprueba un buen funcionamiento se consideran listos para empezar el proceso de producción o periodo de zafra.

Proceso, maquinaria de preparación y molienda de caña de azúcar

La materia prima con la que trabajan los ingenios es la caña de azúcar, de la cual se extrae el jugo a través del paso en los molinos cañeros. El proceso de

preparación es una tarea ciertamente compleja, conlleva desde el recibimiento, la descarga y la adecuada preparación de la caña con el objetivo de obtener un índice de preparación conveniente para la posterior extracción del jugo de caña a través del paso por los molinos.

Procesos de preparación de la caña de azúcar y molienda

En un ingenio azucarero, los procesos de preparación de la caña y molienda son todos aquellos que se realizan antes de la separación del jugo de caña y el bagazo dado que la preparación de la caña es de vital importancia para lograr una buena extracción en el proceso de molienda. En la Figura 1.1, se muestra el esquema general del recorrido de la caña en el proceso de preparación y extracción.

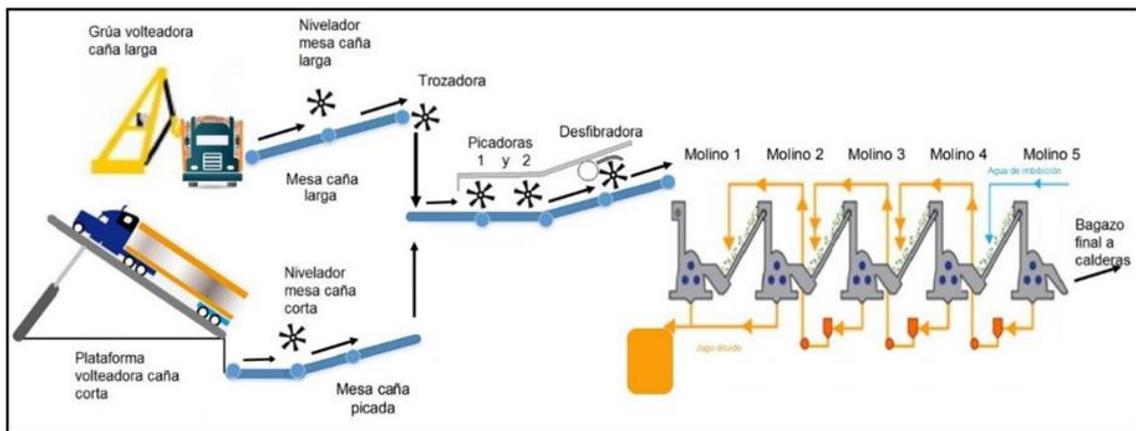


Figura 1. 1. Esquema general de recorrido de la caña en el proceso de preparación y extracción. (Pérez Figueroa & Vásquez Zaldaña, 2019)

La preparación de la caña tiene el único objetivo de que sea apta para la extracción en los molinos. Existen diversos métodos aplicados en los ingenios alrededor del mundo para alcanzar este objetivo. El diagrama de proceso de

preparación de la caña de azúcar desde la etapa de descarga hasta la extracción se muestra en la Figura 1. 2.

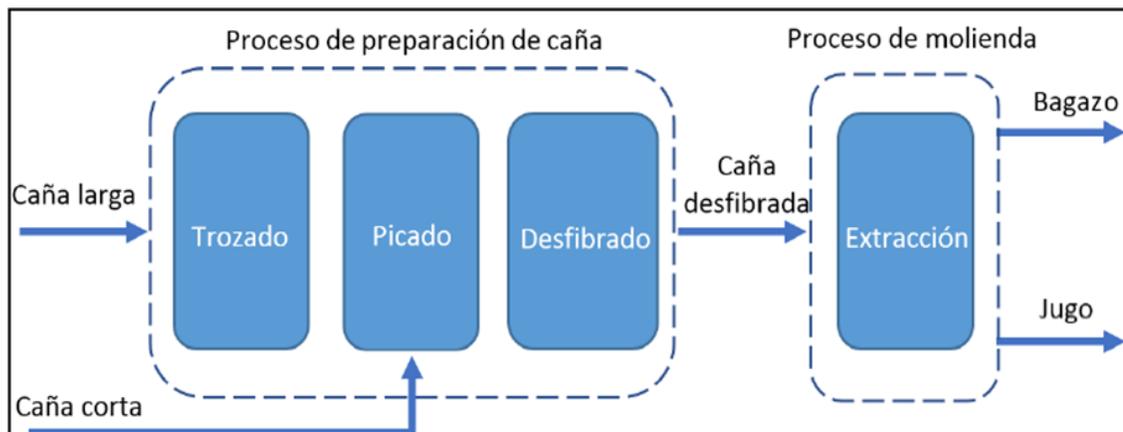


Figura 1. 2. Diagrama de proceso de preparación y molienda. (Pérez Figueroa & Vásquez Zaldaña, 2019).

Proceso de molienda: Extracción

El objetivo de la molienda de caña es separar el jugo que contiene sacarosa del resto de la caña, constituido principalmente por fibra. El término extracción se utiliza para expresar el porcentaje de sacarosa que ha sido extraído de la caña en los molinos y es igual a la sacarosa en el jugo crudo o diluido, expresado como porcentaje de la sacarosa en caña.

La extracción del jugo de caña de azúcar es la operación del molino que tiene lugar después de la recepción y preparación de la caña, en la cual se extraen el agua y los azúcares contenidos en la caña. Una de las maneras de realizar esta operación comercialmente es por preparación de caña y compresión mecánica.

La Figura 1. 3, muestra cómo las unidades de molienda realizan la extracción en etapas de compresiones sucesivas y graduales. La combinación de una serie de molinos forma lo que se llama "molino de tándem" o "tren de molienda".

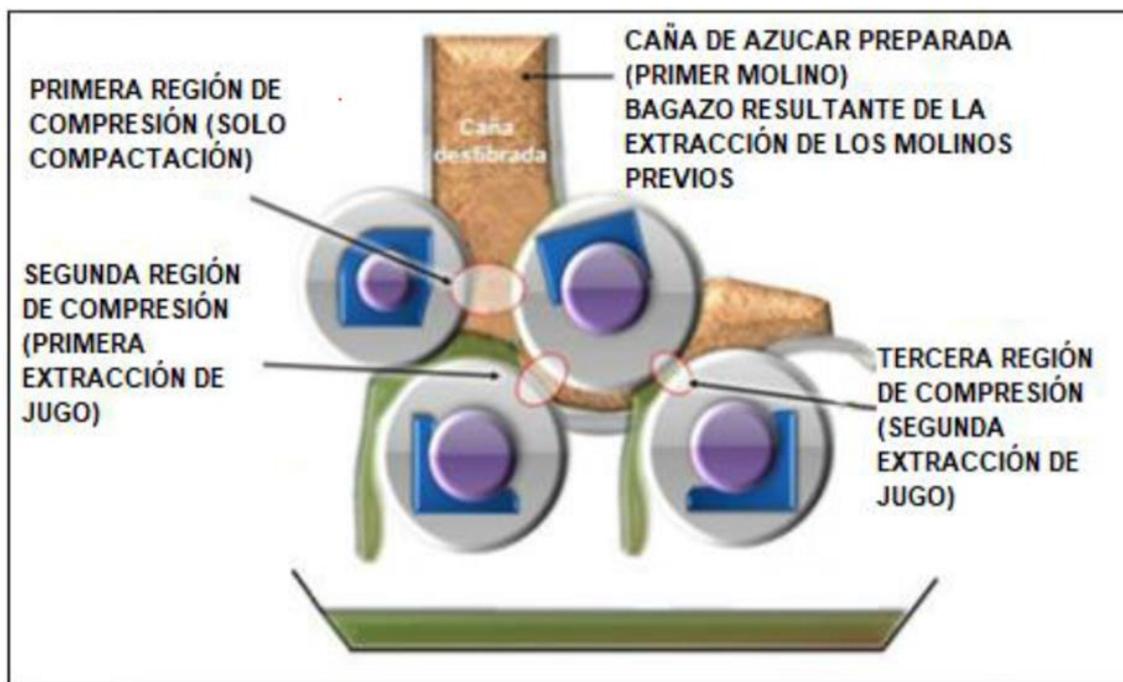


Figura 1. 3. Extracción del jugo por molinos. (Oliverio, 2011)

1.3. MAQUINARIA Y EQUIPOS EN EL ÁREA DE MOLINOS DE UN INGENIO AZUCARERO.

Previo a la extracción del jugo por molinos, existe maquinaria que se dedica a la preparación de la caña:

1.3.1. MAQUINARIA DE PREPARACIÓN Y MOLIENDA DE CAÑA DE AZÚCAR

Picadoras de caña

Las picadoras son las encargadas de adecuar el tamaño de la caña para el desfibrado final, normalmente se utilizan dos picadoras de caña en serie y con holguras diferentes entre la punta de las cuchillas y los rodillos de los yunques.

Desfibradoras de caña

Las desfibradoras de caña constan de martillos basculantes montados a lo largo de un rotor que se instalan con el fin de dejar una holgura entre la punta del martillo y la placa desfibradora o yunque, ésta posee ranuras perpendiculares al movimiento rotacional de los martillos.

1.3.2. MOLINOS DE EXTRACCIÓN DEL JUGO DE CAÑA

Molinos de caña

El objetivo de la molienda de caña es separar el jugo que contiene sacarosa del resto de la caña, constituido principalmente por fibra.

Aparte de la extracción, otras mediciones comunes del desempeño de los molinos son: Sacarosa % o pol % bagazo. Esta es una medida obvia del desempeño de un tren de molinos, pero está influenciada por la humedad del bagazo y el contenido de sacarosa en caña.

La Figura 1. 4, muestra el esquema de un molino convencional de tres mazas, entendiéndose por molino básico aquel donde la maza cañera y bagacera están sobre un mismo nivel, mientras que la maza superior es flotante.

Una cuarta maza es adicionada frecuentemente al molino básico de tres mazas. Esta puede ser:

- Una maza alimentadora ligera, frecuentemente adicionada a molinos existentes de tres mazas para redirigir la caña y asistir la alimentación cuando se instala una tolva Donnell.
- Una cuarta maza adicional de igual tamaño que las otras mazas, integral al molino original, diseñada para efectuar extracción y también alimentación.

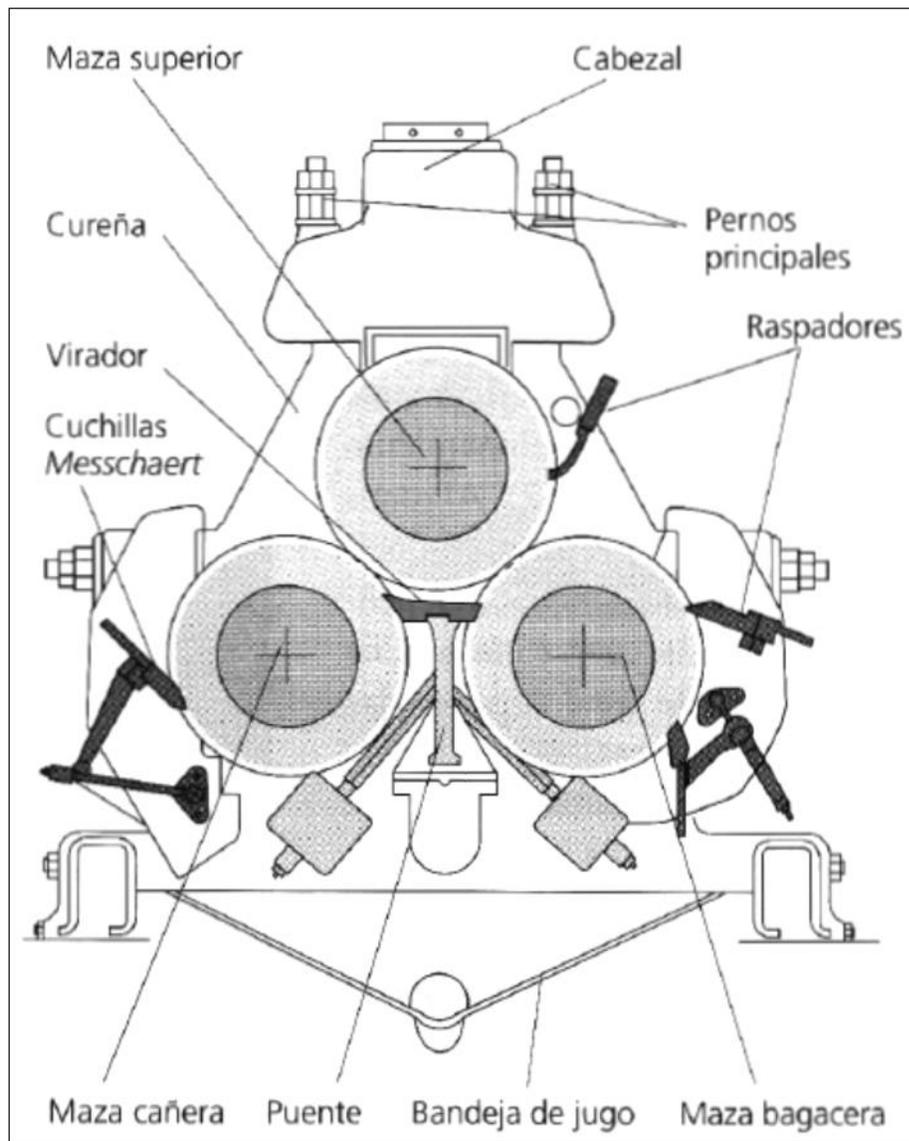


Figura 1. 4. Molino convencional de tres mazas, (Rein, 2012).

Las mazas de los molinos son piezas que constan de un eje de acero sobre el cual está acoplado por contracción térmica un casco de hierro fundido, este casco posee numerosas ranuras en forma de “v”, a las cuales comúnmente se

les llama dientes o rayado de las mazas. En la Figura 1.5, se muestra la sección de corte de un molino Mirrless Watson:

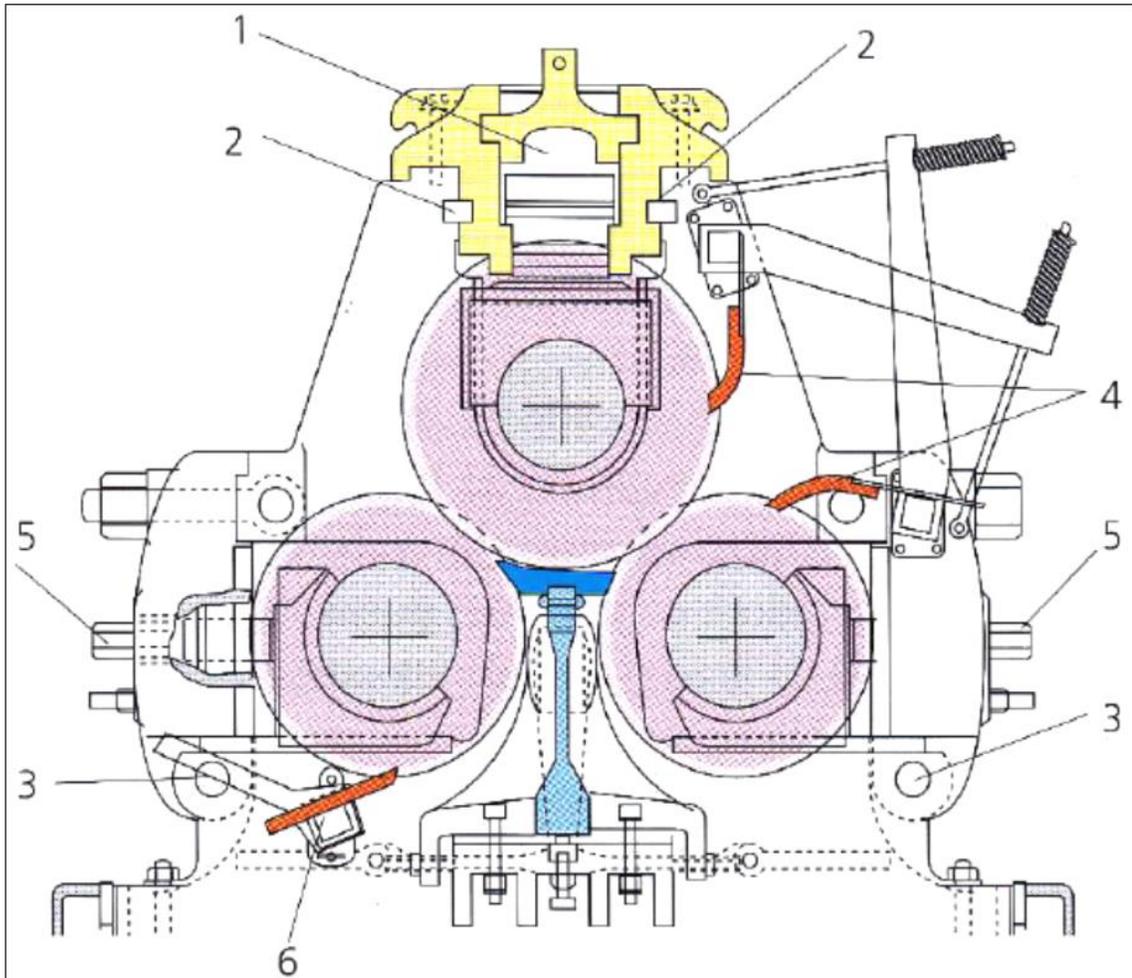


Figura 1. 5. Sección de corte de un molino Mirrless Watson 1 Cabezotes hidráulicos; 2 Chavetas sujetadoras; 3 Pines de bisagras; 4 Raspadores de las mazas superior y bagacera; 5 Ajuste lateral de mazas; 6 Cuchillas Messchaert. (Rein, 2012)

Molinos y sus Componentes

Molinos convencionales: Por molino "convencional" se entenderá aquí a un molino donde la maza cañera y bagacera están sobre un mismo nivel, mientras que la maza superior es flotante, a pesar de que algunas variaciones han probado ser exitosas.

Cureña (Virgen)

El propósito de las cureñas es mantener a los componentes activos del molino (particularmente a las mazas) en una orientación deseada.

Mazas de molinos

El molino básico está constituido de tres mazas: la maza superior, que debe ser capaz de "flotar" hacia arriba durante la operación y las mazas cañera y bagacera que deben ser ajustables hacia los costados (ver Figura. 1. 5).

Cojinetes de molinos

Los cojinetes de los molinos son normalmente de construcción hueca (partida), sea de fundición entera de bronce o comprendiendo una carcasa soporte de acero con una "teja" de bronce.

Piñones de los molinos

Los piñones utilizados para transmitir potencia a las mazas cañera y bagacera a partir de la maza superior deben ser capaces de operar dentro de un rango relativamente amplio de distancias entre centros, para acomodar así diferencias del tamaño de las mazas y los ajustes, además del desalineamiento axial por la flotación de la maza superior.

Virador (cuchilla) y Raspadores (peines)

El propósito del virador es dirigir la caña o el bagazo desde la abertura de trabajo de la maza cañera (donde ha sido comprimida con alguna extracción de jugo) hacia la abertura de la maza bagacera para su siguiente compresión y extracción.

Los raspadores son utilizados a la salida del molino para desprender el bagazo de las mazas superior y bagacera (ver Figuras 1. 4. y 1. 5.).

Accionamiento para molinos

La potencia consumida por un molino depende de muchos factores, la potencia consumida en la mayoría de molinos convencionales que operan a su capacidad nominal es del orden de 8 a 12 kW por cada tonelada de fibra procesada por hora. Para dar accionamiento de molinos conociendo la potencia consumida por estos se mencionan algunos con velocidad variable:

- Máquina de vapor alternativas;
- Turbinas de vapor;
- Motores eléctricos;
- Motores hidráulicos;
- Transmisiones de los molinos

Acoples y ejes cuadrados (entredós) de los molinos

Los engranajes de las transmisiones de molinos están usualmente montados sobre ejes fijos para mantener un alineamiento preciso de los dientes. Para controlar el problema de deslizamiento entre engranajes, la conexión final

entre la transmisión y la maza superior se hace tradicionalmente con un eje de sección cuadrada o “entredós”, ver Figura 1. 6.

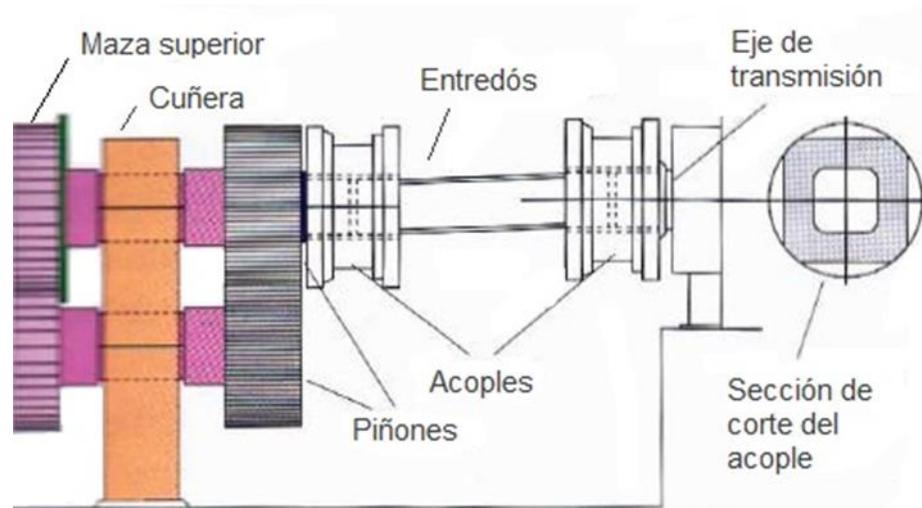


Figura 1. 6. Eje cuadrado (entredós) y acoples cuadrados, (Rein, 2012)

Drenaje de Molinos

En el proceso de molienda es necesario drenar elevados volúmenes de líquido desde el colchón de bagazo.

La falla de no drenar en forma adecuada en este punto conduce a reabsorción y a pérdidas.

Alimentación de Molinos

La alimentación es uno de los requerimientos más críticos para la capacidad y la extracción del molino. Los ajustes del molino y el rayado de las

mazas son importantes para la alimentación, sin embargo, se pueden mencionar algunos otros aspectos a considerar sobre este tópico:

- Condición superficial de las mazas
- Uso de chevrons
- “Empujadores”
- Tolvas Donnelly
- Sistemas de alimentación forzada
- Sistemas de alimentación forzada dentados.

Conductores intermedios de molinos y conductores de bagazo

Conductores intermedios

(Rein, 2012) menciona 5 conductores intermedios:

1. Conductor Listón (de tablillas) tipo delantal, utilizado donde no han sido instalados los alimentadores Donnelly
2. Conductor tipo banda, de baja inclinación sin alimentadores Donnelly
3. Conductor tipo arrastre, comunes en el traslado hacia alimentadores Donnelly
4. Conductores tipo banda, incorporando bolsas profundas cuando funcionan con alimentadores Donnelly
5. Alimentadores tipos “Meinecke”.

Conductores de Bagazo

El bagazo debe ser considerado ya que si no se maneja adecuadamente puede ocurrir estrangulamiento o llegar a compactarse, de tal manera que el

manejo mecánico del bagazo final a pesar de ser simple debe ser tratado con cuidado porque al generar polvillo, el inhalarlo representa un riesgo para la salud, causando bagazosis, una reacción alérgica del tejido pulmonar a las esporas presentes en el aire originadas del bagazo. Es importante tenerlo en cuenta de manera primordial como variable incidente dentro del área productiva, añadiendo que este polvillo es inflamable y puede causar explosión.

El bagazo es de baja densidad, levemente corrosivo y usualmente casi flujo libre, para su transporte pueden utilizarse varios tipos de conductor, incluyendo neumático, bandas de aire, bandas de tubo y bandas de bolsa, pero usualmente se utilizan bandas convencionales sobre rodillos que son transmisores de movimiento o conductores de arrastre de cadena y duela.

1.4. TIPOS DE MANTENIMIENTO

1.4.1. DEFINICIÓN DEL MANTENIMIENTO

Se puede definir el mantenimiento de manera general de la siguiente manera:

“Se define el mantenimiento como todas las acciones necesarias para que un equipo, maquinaria, o sistema sea restaurado o conservado asegurando su permanencia en funcionamiento regular de acuerdo con una condición especificada y cumplir el servicio requerido”.

1.4.2. DEFINICIÓN, VENTAJAS, INCONVENIENTES Y APLICACIONES DE CADA TIPO DE MANTENIMIENTO. (Jasso, 2011)

Mantenimiento correctivo

Conjunto de acciones tendientes a solucionar o corregir un ítem con falla o avería, con el fin de restituir su disponibilidad. (SENATI, Servicio Nacional de Adiestramiento En Trabajo Industrial., 2004).

Ventajas:

- No se requiere una gran infraestructura técnica ni elevada capacidad de análisis.
- Máximo aprovechamiento de la vida útil de los equipos.

Inconvenientes:

- Las averías se presentan de forma imprevista lo que origina trastornos a la producción.
- Riesgo de fallos de elementos difíciles de adquirir, lo que implica la necesidad de un “stock” de repuestos importante.
- Baja calidad del mantenimiento como consecuencia del poco tiempo disponible para reparar.

Aplicaciones:

- Cuando el coste total de las paradas ocasionadas sea menor que el coste total de las acciones preventivas.
- Esto sólo se da en sistemas secundarios cuya avería no afectan de forma importante a la producción.

- Estadísticamente resulta ser el aplicado en mayor proporción en la mayoría de las industrias.
- La función Mantenimiento en la empresa.

Mantenimiento Preventivo

Todas las actividades sistemáticamente predefinidas y repetitivas de mantenimiento responsables por la continuidad del servicio de un ítem, englobando inspecciones, ajustes, conservación y eliminación de defectos, cuyo destino final es evitar o reducir fallas en los equipos, mejorar la confiabilidad de los equipos y la calidad de producción. (SENATI, Servicio Nacional de Adiestramiento En Trabajo Industrial., 2004)

Ventajas:

- Importante reducción de paradas imprevistas en equipos.
- Solo es adecuado cuando, por la naturaleza del equipo, existe una cierta relación entre probabilidad de fallos y duración de vida.

Inconvenientes:

- No se aprovecha la vida útil completa del equipo.
- Aumenta el gasto y disminuye la disponibilidad si no se elige convenientemente la frecuencia de las acciones preventivas.

Aplicaciones:

- Equipos de naturaleza mecánica o electromecánica sometidos a desgaste seguro
- Equipos cuya relación fallo-duración de vida es bien conocida.

Mantenimiento Predictivo o Previsivo

Servicios debido al desgaste de una o más piezas o componentes de equipos prioritarios a través de la medición, el análisis de síntomas y tendencias de parámetros físicos, empleando varias tecnologías que determinan la condición del equipo, de los componentes o estimación hecha por evaluación estadística, extrapolando el comportamiento de esas piezas o componentes con el objeto de determinar el punto exacto de cambio o reparación, antes que se produzca la falla. (SENATI, Servicio Nacional de Adiestramiento En Trabajo Industrial., 2004)

Ventajas:

- Determinación óptima del tiempo para realizar el mantenimiento preventivo.
- Ejecución sin interrumpir el funcionamiento normal de equipos e instalaciones.
- Mejora el conocimiento y el control del estado de los equipos.

Inconvenientes:

- Requiere personal mejor formado e instrumentación de análisis costosa.
- No es viable una monitorización de todos los parámetros funcionales significativos, por lo que pueden presentarse averías no detectadas por el programa de vigilancia.
- Se pueden presentar averías en el intervalo de tiempo comprendido entre dos medidas consecutivas.

Aplicaciones:

- Maquinaria rotativa
- Motores eléctricos
- Equipos estáticos
- Instrumentación

Mantenimiento centrado en la confiabilidad, (RCM). (Fernández, 2005)

Una de las técnicas organizativas más actuales para aplicar en mantenimiento y mejorar significativamente sus resultados es la del Mantenimiento Centrado en Fiabilidad, a partir de ahora RCM (Reliability Centered Maintenance).

Esta técnica se basa en la búsqueda de mejora de resultados con base en las siguientes premisas:

- Analizar con una metodología rigurosa y auditable cada tipo de fallo o avería de la forma más estricta y profunda, estudiando el modo y forma en que se producen dichos fallos y como éstos se traducen en costes y repercusiones.
- La productividad global del departamento de Mantenimiento debe mejorarse mediante una forma de trabajo más avanzada, proactiva y planificada y no haciendo mantenimientos no pertinentes.
- Tras el trabajo de estudio y definición de táctica es necesaria una auditoría imparcial antes de su implantación real.
- Se debe contar con el apoyo activo y cooperación del personal de mantenimiento, el de operación o producción, el personal técnico o de ingeniería y el administrativo.

En la Figura 1. 7 se muestra la fase de implementación real de RCM “Mantenimiento Centrado en Confiabilidad: Un proceso utilizado para determinar los requerimientos de mantenimiento de cualquier activo físico en su contexto operacional”.

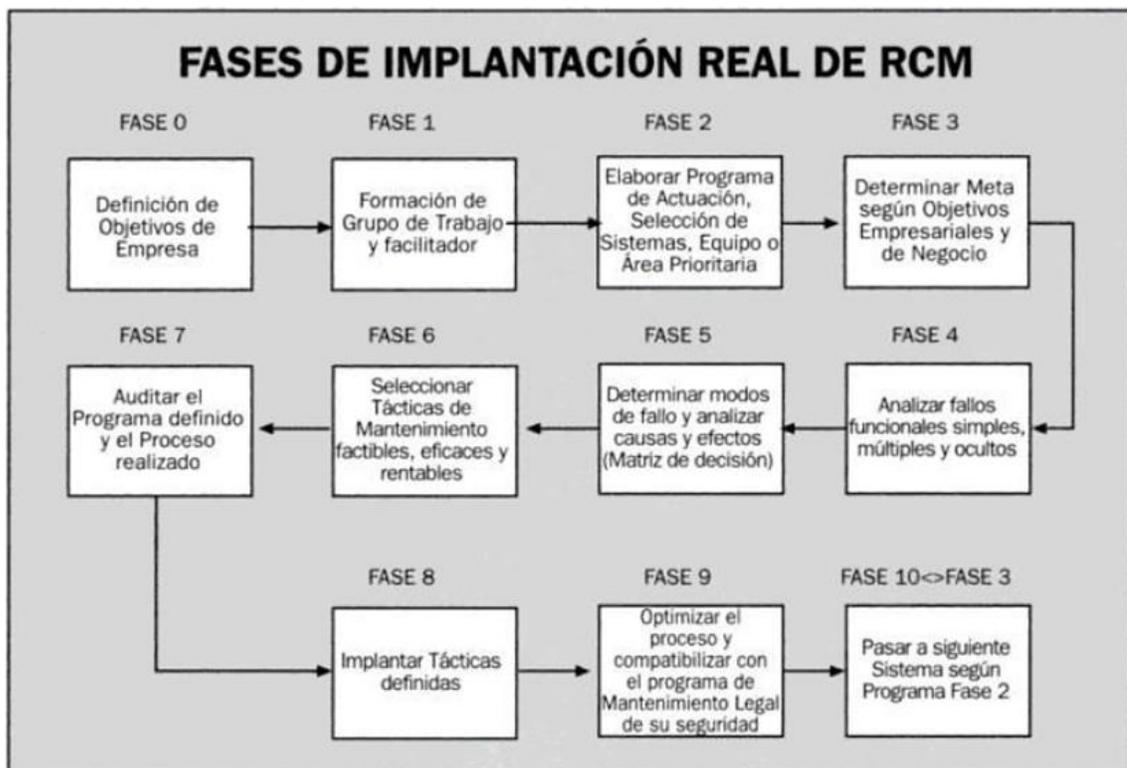


Figura 1. 7. Fase de implantación real de R.C.M. (Fernández F. J., 2003)

Filosofía de mantenimiento y mejora continua (Jasso, 2011)

Mantenimiento Productivo Total - TPM

El Mantenimiento Productivo Total (TPM por sus siglas en inglés) es un enfoque gerencial para el mantenimiento que se centra en la participación de todos los empleados de una organización en la mejora del equipo. Este método

se desarrolló en el sector manufacturero japonés, comenzando con la aplicación del mantenimiento preventivo al estilo norteamericano y europeo y avanzando hasta la aplicación de los conceptos de la administración de la calidad total (TQM) y la manufactura justo a tiempo (JIT) al campo del mantenimiento de los equipos.

El Mantenimiento Productivo Total presenta algunos beneficios para las empresas que lo adoptan, como son:

- Mejora la productividad casi en un 50%
- Mejora el rendimiento operacional de las líneas de producción de un 30% - 35%
- Mejora el rendimiento de la organización de un 50% - 55%
- Reducción del número de paradas al 50%
- Mejora la competencia de los operarios de producción.
- Mejor aprovechamiento de los técnicos y profesionales de mantenimiento.
- Mantiene los equipos productivos en estado de referencia.

A su vez, el TPM pretende eliminar, por la mejora continua, las pérdidas esporádicas y crónicas, analizando las seis grandes incidencias que penalizan la operatividad de un proceso básico:

1. Fallas del equipo: Las descomposturas que presenta un componente de la máquina o instalación que impide la operatividad del mismo.
2. Tiempo Muerto por preparación y ajustes: Cuando termina la producción de un tipo dado de producto y el equipo se ajusta para

estar listo a producir otro tipo de producto, se presentan pérdidas debido al tiempo muerto de preparación y a productos defectuosos.

3. Inactividad y paros menores: La producción puede verse interrumpida debido al mal funcionamiento o a que una máquina esté ociosa entre la elaboración de dos productos.
4. Reducción de velocidad: Estas pérdidas corresponden a la diferencia entre la velocidad de diseño del equipo y la velocidad de operación real.
5. Defectos del proceso: incluyen pérdidas en calidad ocasionadas por el proceso.
6. Rendimiento reducido: Consiste en las pérdidas de arranque que ocurren durante las primeras etapas de la producción, desde el principio hasta su estabilización.

Programación del mantenimiento (Tavares L. A., Administración Moderna de Mantenimiento, 2000)

Se llama Programa Maestro de Mantenimiento Preventivo, al proceso de correlación de los códigos de los equipos con la periodicidad, cronogramas de ejecución de las actividades programadas, instrucciones de mantenimiento, datos de medición, centros de costos, códigos de material y cualquier otro dato juzgado por el usuario como necesario para actuar preventivamente en los equipos.

1.5. ÍNDICES DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO.

1.5.1. ÍNDICES CLASE MUNDIAL (Tavares, 2000)

Son llamados "índices clase mundial" aquellos que son utilizados según la misma expresión en todos los países. De los seis "índices clase mundial", cuatro son los que se refieren al Análisis de la Gestión de Equipos y dos a la Gestión de Costos, de acuerdo con las siguientes relaciones:

- Tiempo Medio Entre Fallas
- Tiempo Medio Para Reparación
- Tiempo Medio Para la Falla
- Disponibilidad de Equipos
- Costo de Mantenimiento por Facturación
- Costo de Mantenimiento por el Valor de Reposición

Gestión de Equipos (Tavares, 2000)

Además de los cuatro índices de equipos identificados como "clase mundial", existen otros índices, que pueden auxiliar en la evaluación de los criterios de intervención y del proceso de gestión.

- Tiempo medio Entre Mantenimientos Preventivos
- Tiempo medio Para Intervenciones Preventivas
- Tasa de Falla Observada
- Tasa de Reparación
- No conformidad de mantenimientos

- Sobrecarga de servicios de mantenimiento
- Alivio de servicios de mantenimiento

Los tres últimos índices, pueden generar informes mensuales, trimestrales o semestrales, en función del deseo y capacidad de análisis de los usuarios, que además contengan los motivos de las reprogramaciones o cancelaciones.

2. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

2.1. EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL.

En este apartado se presenta la metodología utilizada para realizar el diagnóstico del área en estudio, definiendo los conceptos generales y los instrumentos aplicados.

2.2. MARCO TEÓRICO PARA LA AUDITORÍA

Para realizar un diagnóstico de la situación actual, se tomaron como base los diferentes modelos de auditoría que existen actualmente para evaluación de la gestión de mantenimiento de la maquinaria y equipo en una organización, específicamente en este caso en particular, para el área de molinos de un ingenio azucarero.

2.2.1. AUDITORÍA

En forma sencilla y clara, la auditoría es el examen de las demostraciones y registros administrativos.

El objetivo de la Auditoría consiste en apoyar a los miembros de la empresa en el desempeño de sus actividades. Para ello, la Auditoría les proporciona análisis, evaluaciones, recomendaciones, asesoría e información concerniente a las actividades revisadas. Es importante diferenciar entre Auditorías Técnicas y Auditorías de Gestión. Las primeras tratan de determinar el estado de una instalación y las segundas, tratan de determinar el grado de excelencia de una organización de mantenimiento y de su forma de gestionar. (Vásquez, 2011)

Auditoría Técnica

El Manual de Auditoría Técnica y Gestión de la Calidad Total la define como: “Es el proceso de acumular y evaluar evidencia, realizado por profesionales competentes e independientes a los auditados acerca de cualquier información cuantificable y medible, con el propósito de informar a los diferentes niveles jerárquicos auditados y a la dirección superior sobre el grado de cumplimiento o correspondencia existente entre una información evaluable y comparable a partir de ciertos criterios establecidos”.

Auditoría de Gestión

La denominación auditoría de gestión es la unión de dos clasificaciones que tradicionalmente se tenían: auditoría administrativa y auditoría operacional.

Por lo tanto, la auditoría de gestión por su enfoque involucra una revisión sistemática de las actividades de una entidad en relación a determinados objetivos y metas y, respecto a la utilización eficiente y económica de los recursos. Su propósito general es identificar las oportunidades de mejoras, desarrollar recomendaciones para promover mejoras u otras acciones correctivas

y evaluar el desempeño (rendimiento). Sin embargo, siguiendo el mismo método para realizar los conceptos de Auditoría es posible afirmar que auditoría de gestión es: el examen crítico, sistemático y detallado de las áreas y controles operacionales de un ente, realizado con independencia y utilizando técnicas específicas, con el propósito de emitir un informe profesional sobre la eficacia eficiencia y economicidad en el manejo de los recursos, para la toma de decisiones que permitan la mejora de la productividad del mismo. (Vásquez, 2011)

Metodologías utilizadas en auditorías de mantenimiento

Las metodologías existentes para Auditar la Gestión de Mantenimiento se basan en cuestionarios para ser aplicados a todo el personal de la Organización de Mantenimiento (Mantenedores, Supervisores, Gerentes/Administradores) y una Matriz de Calidad de mantenimiento que debe ser completada por el auditor. (Vásquez, 2011)

El punto más importante de realizar una Auditoría de Gestión de Mantenimiento y usar estas metodologías es proponer un plan de acción, en el que se identifican los problemas que se detectan en la gestión de mantenimiento de la organización o parte de ella, y como se propone solucionarlos en pro de implantar principios adecuados de gestión que permitan el mejoramiento continuo. (Vásquez, 2011)

Las metodologías son las siguientes:

- **Maintenance Effectiveness Survey (MES).** (Parra Márquez & Crespo Márquez, 2017)

La auditoría MES es una auditoria propuesta por el Instituto Marshall y está basada en un cuestionario de evaluación de 60 preguntas repartidas en 5 áreas del mantenimiento. Las respuestas a cada pregunta, como veremos, se limitan a cinco posibles opciones.

- **Maintenance Qualification Survey (MQS).** (Vásquez, 2011)

Este cuestionario está basado en una Metodología de Auditoría Semicuantitativa elaborado por ABS – Reliability and Risk Group JBFA Training y cuyo resultado permite auditar de forma numérica las áreas de mantenimiento que requieren mayor atención, identificar los puntos débiles, apuntar las acciones correctivas y ayudar consecuentemente al responsable de mantenimiento a establecer sus objetivos y necesidades.

- **Maintenance World Class Survey (MWCS)**

La auditoría MWCS es una auditoria basada en un cuestionario de evaluación de 105 preguntas repartidas en 9 áreas del mantenimiento. Las respuestas a cada pregunta, se limitan igualmente a cinco posibles opciones (Parra & Omaña, 2001)

El proceso de aplicación es a nivel de personal de gerencia, supervisión, operaciones y mantenimiento (y se recomienda igualmente aplicar el cuestionario a 8 participantes, como mínimo).

- **RENOVETEC.**

Su objetivo es saber en qué situación se encuentra un departamento de mantenimiento en un momento determinado, identificar puntos de mejora y determinar qué acciones son necesarias para mejorar los resultados; trata de determinar el grado de excelencia de un departamento de mantenimiento y de su forma de gestionar. (RENOVETEC, 2009)

RENOVETEC es una empresa de ingeniería y de formación técnica, y su especialidad es el desarrollo de proyectos en las áreas de Generación de Energía, Mantenimiento Industrial y Energías Renovables.

2.3. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

2.3.1. DIAGNÓSTICO DEL ÁREA DE MANTENIMIENTO

Esta etapa, identificada como diagnóstico del área de Mantenimiento, fue desarrollada con la participación de especialistas del área de molinos de un ingenio azucarero, debiendo todos los participantes poseer la delegación del poder de decisión en sus actividades, para que el sistema desarrollado alcance el objetivo deseado.

2.3.2. PROCEDIMIENTO GENERAL DE IMPLANTACIÓN DE UNA AUDITORÍA.

El proceso de implantación de una auditoría debe pasar por un conjunto de etapas siguiendo un orden lógico específico, en la Figura 2. 1, se presenta un procedimiento básico de implantación de una auditoría. (Parra Márquez & Crespo Márquez, 2017)

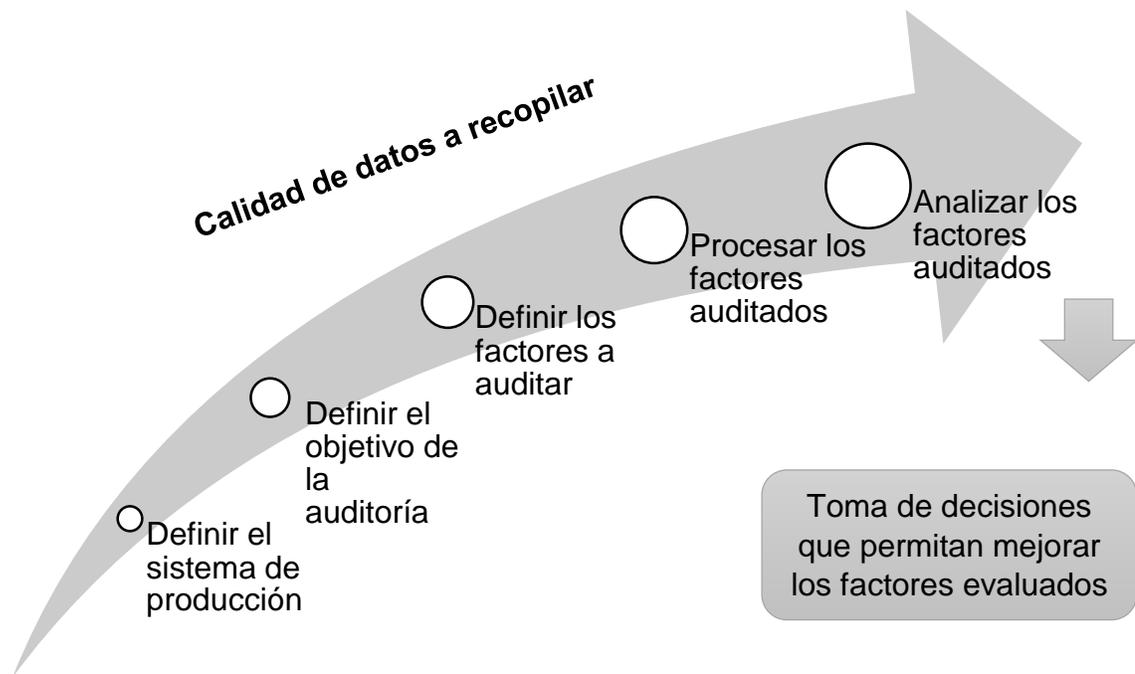


Figura 2. 1. Procedimiento general de implementación de una auditoría (Parra Márquez & Crespo Márquez, 2017).

A continuación, se definen cada una de las etapas:

✓ **Definir el sistema de producción**

La maquinaria y equipo que involucre mantenimiento mecánico en el área de molinos de un ingenio azucarero.

✓ **Definir el objetivo de la auditoría**

Las auditorías de mantenimiento, deben tener como objetivo principal el evaluar los procesos más importantes de la gestión del mantenimiento, de tal forma que uno de los aspectos de mayor relevancia en el desarrollo de una auditoría de mantenimiento, está relacionado con la definición de los objetivos claves a ser auditados. Es por ello que se debe tomar como punto de partida el objetivo que se ha planteado para esta investigación, el cual es el siguiente:

- Diseñar una propuesta de mejora del mantenimiento para el área de molinos en un ingenio azucarero.

Una vez planteado el objetivo de la investigación, se establece el de la auditoría:

- Evaluar el estado actual del mantenimiento de la maquinaria y equipo mecánico del área de molinos de un ingenio azucarero

A través de los resultados de la aplicación de la auditoría se pretende fortalecer la implementación de índices de mantenimiento que permitan el registro y control de todas las variables incidentes y el tipo de mantenimiento a implementar en el área de molinos de un ingenio azucarero.

✓ **Definir los factores a auditar**

Técnicas a implementar y factores:

Los factores auditados se seleccionaron de cuatro técnicas, las cuales son MES, MQS, MWCS y RENOVETEC, que evalúan la gestión del mantenimiento; esto con la finalidad de generar un instrumento de recolección que contenga todos aquellos aspectos acordes a los objetivos claves definidos previamente. Como resultado se obtuvo una herramienta de evaluación a la que se denominó: “Encuesta de Calificación y Efectividad del Mantenimiento” y cuyos factores se definen a continuación:

1. Gerencia de la información (software de mantenimiento).

Es posible que se pueda operar sin un sistema de control de gestión de mantenimiento, pero no es eficiente, pues la capacidad de

procesamiento de la información y la generación de reportes para la toma rápida de decisiones sería muy confusa.

2. Manejo de la información sobre equipos.

Este factor tiene como finalidad evaluar el grado de información con la que se cuenta, recolecta y/o registra de los equipos.

3. Equipos y técnicas de mantenimiento preventivo (MP)

En principal se desea evaluar si se realizan actividades de mantenimiento preventivo a los equipos y de la misma manera conocer si se les da seguimiento a las mismas.

4. Soporte y Calidad.

Evalúa si se dispone de repuestos y materiales en las actividades de mantenimiento, así como el conocer los criterios de calidad al momento de realizarlas.

5. Criticidad de las rutas de inspección.

Principalmente se busca conocer si los equipos se clasifican de acuerdo a su criticidad en función de las fallas que presentan.

6. Situación actual del mantenimiento.

La finalidad de este factor es evaluar la situación actual del mantenimiento en función de las rutinas de intervención, controles de horas extras y de los registros de mantenimientos.

7. Efectividad del mantenimiento actual.

El tiempo de respuesta ante una falla que presente un equipo es importante para medir el nivel de eficiencia del mantenimiento.

8. Generación de órdenes de trabajo y herramientas informáticas de soporte.

Las órdenes de trabajo son uno de los aspectos importantes que se deben considerar en la gestión del mantenimiento, en principal porque son la fuente de información que alimenta el sistema informático y que a través del correcto llenado de éstas puede lograrse una mejor respuesta ante fallas que puedan presentar los equipos.

9. Manejo de indicadores técnicos de mantenimiento.

En principal se desea conocer si se recolecta la información necesaria para generar indicadores que permitan medir y evaluar las actividades de mantenimiento.

10. Antecedentes del costo de mantenimiento.

Este factor busca evaluar si se realizan registros de los costos involucrados en las actividades de mantenimiento.

Procesar los factores auditados

La investigación se basa sobre una población compuesta por el personal estratégico operativo en el área de molinos de un ingenio azucarero, la cual se define como: “unidad de estudio”.

En este caso la muestra es del mismo tamaño de la población, ya que la unidad de estudio está compuesta de una cantidad pequeña de personas, y las metodologías planteadas recomiendan no dejar ningún elemento fuera de consideración.

Población muestra: 12 participantes.

Personal Gestión = 2 participantes. (Gerencia de mantenimiento en el área de molinos)

Personal Operativo = 10 participantes. (Técnicos operativos en el área de molinos)

Las técnicas e instrumentos de recolección de datos que se utilizan en el desarrollo de la investigación se mencionan a continuación:

- Observación Directa: Es un proceso de reconocimiento y registro de personas, objetos y sucesos de interés para la investigación.
- Entrevista: Técnica que permite la interacción entre evaluador y la unidad de estudio para recolección de información útil. El evaluador o entrevistador formula preguntas al personal de mantenimiento para obtener información acerca de la situación actual de la gestión del mantenimiento, las necesidades y la manera de satisfacerlas.
- Encuesta: Técnica que permite obtener información mediante la realización de una serie de preguntas organizadas.

Analizar los factores auditados

Este apartado consiste en definir la manera en cómo se analizarán los datos recolectados a través de los cuestionarios correspondientes a las técnicas MES, MQS, MWCS y RENOVETEC. Se define un sistema de análisis integrando estas técnicas el cual permite realizar una evaluación personalizada y específica para el área de molinos de un ingenio azucarero, la que llamaremos: “Encuesta de Calificación y Efectividad del Mantenimiento” (ECEM).

Encuesta de Calificación y Efectividad del Mantenimiento (ECEM).

El proceso de cuantificación de las áreas de mantenimiento a diagnosticar se realizó de la siguiente forma: las personas seleccionadas, evalúan las 81 preguntas en función de una escala del 1 al 4. Para la calificación se puntúa, de acuerdo con la siguiente escala: 1 = deficiente, 2 = regular, 3 = bueno y 4 = excelente, el número par evita sesgo por tendencia central en los resultados y permite realizar un mejor análisis de estos. Cada factor a evaluar se considera con el mismo nivel de importancia. Las posibles puntuaciones máximas y mínimas a obtener son:

Puntuación máxima por los 10 factores: 324 unidades.

Puntuación mínima por los 10 factores: 81 unidades.

Las puntuaciones totales se suman y promedian entre el número de personas encuestadas. Finalmente, se estima la posición del mantenimiento en función de los siguientes rangos:

324–260: Categoría “Clase Mundial” / nivel de excelencia en mantenimiento

259–195: Categoría “Muy buena” / nivel de buenas prácticas en mantenimiento

194–130: Categoría “Por arriba del nivel promedio” / nivel aceptable en mantenimiento

129–65: Categoría “Por debajo del promedio” / nivel no muy bueno de mantenimiento, con oportunidades para mejorar

Menos de 65: Categoría “Muy por debajo del promedio” / nivel muy malo, mantenimiento con muchas oportunidades para mejorar.

Toma de decisiones que permitan mejorar los factores evaluados.

El análisis y comparación de todos los instrumentos, permiten generar un informe con los hallazgos que indican las áreas en donde se pueden evidenciar las necesidades de mejora. Por lo tanto, de acuerdo con los objetivos planteados poder definir las oportunidades de mejora para la gestión del mantenimiento en el área de molinos de un ingenio azucarero.

Documentación a preparar previo a la auditoría de mantenimiento. (RENOVETEC, 2009)

Antes de realizar una Auditoría de Mantenimiento, es necesario preparar una serie de documentos, cuyo análisis constituirá una parte del trabajo del encargado de realizarla. No obstante, el trabajo más importante del auditor es el que hace en campo, en los equipos, en los almacenes y con el personal de

mantenimiento. La documentación a preparar es la que se presenta a continuación:

Mano de obra:

- Organigrama. Categoría, especialidad y funciones del personal
- Cualificación del personal directo
- Plan de formación
- Estadística de absentismo

Medios técnicos:

- Inventario de herramientas

Métodos de trabajo:

- Lista de equipos que componen la planta o instalación auditada
- Plan de mantenimiento de los equipos significativos
- Gamas de mantenimiento realizadas (hojas rellenas) en un periodo determinado
- Lista de Equipos Críticos de la planta
- Procedimientos de trabajo habituales
- Informes mensuales de mantenimiento
- Listas de averías típicas (síntomas, causa y solución)
- Lista de repuesto que hay en planta, y stock mínimo que se considera necesario
- Propuestas de mejora realizadas por mantenimiento

Materiales y subcontratos:

- Lista de repuesto mínimo que se considera necesario tener en stock
- Inventario de materiales en almacenes
- Lista de materiales consumidos en un periodo determinado, valorados

Resultados obtenidos:

- Disponibilidad de planta
- Indicadores de que se disponga
- Coste Global de mantenimiento

Instrumento de recolección de información

Se presenta un instrumento de recolección de información o cuestionario de acuerdo con las técnicas de auditoría seleccionadas para evaluar el estado actual de la gestión del mantenimiento en el área de molinos de un ingenio azucarero, ver anexo A.

2.3.3. RESULTADOS DE AUDITORÍA

El análisis y comparación de los instrumentos aplicados permiten identificar hallazgos que conduzcan a la identificación de las oportunidades de mejora. Por lo tanto, a continuación, se muestran los resultados obtenidos en la evaluación de la situación actual en el área de molinos en un ingenio azucarero.

La puntuación obtenida total y para cada factor desde el punto de vista de Gestión se muestra en la Tabla 2.1. El total de 214 puntos corresponde a la categoría de mantenimiento “Muy Buena” de acuerdo a la escala mostrada en la Figura. 2. 2.

Tabla 2. 1. Resultados de la puntuación obtenida en cada factor de acuerdo al criterio de personal de Gestión del mantenimiento en el área de molinos en un ingenio azucarero.

N°	FACTORES EVALUADOS	SUMATORIA GESTIÓN	PROMEDIO DE GESTIÓN
1	Gerencia de la información (software de mantenimiento)	19	2.40
2	Manejo de la Información sobre equipos	20	2.30
3	Equipos y técnicas de mantenimiento preventivo (MP)	15	3.70
4	Soporte y Calidad	24	2.20
5	Criticidad de las rutas de inspección	14	2.80
6	Situación actual del mantenimiento	31	3.40
7	Efectividad del mantenimiento actual	23	2.60
8	Generación de órdenes de trabajo y herramientas informáticas de soporte	29	2.90
9	Manejo de indicadores técnicos de mantenimiento	25	2.80
10	Antecedentes de costos de mantenimiento	14	2.30
PUNTUACIÓN FINAL:		214	2.7

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN



Figura. 2. 2. Escala de puntuación para definir la categoría de gestión del mantenimiento a la que pertenece.

La puntuación de 237, mostrada en la Tabla 2.2 obtenida por parte de los operativos del mantenimiento en el área de molinos de un ingenio azucarero corrobora que la categoría a la que pertenece sigue siendo “Muy buena”.

Tabla 2. 2. Resultados de la puntuación obtenida en cada factor de acuerdo al criterio de personal operativo del mantenimiento en el área de molinos en un ingenio azucarero.

N°	FACTORES EVALUADOS	SUMATORIA OPERATIVO	PROMEDIO DE OPERATIVO
1	Gerencia de la información (software de mantenimiento)	25	3.1
2	Manejo de la Información sobre equipos	24	2.7
3	Equipos y técnicas de mantenimiento preventivo (MP)	14	3.5
4	Soporte y Calidad	31	2.9
5	Criticidad de las rutas de inspección	14	2.8
6	Situación actual del mantenimiento	31	3.5
7	Efectividad del mantenimiento actual	25	2.8
8	Generación de órdenes de trabajo y herramientas informáticas de soporte	33	3.3
9	Manejo de indicadores técnicos de mantenimiento	29	3.2
10	Antecedentes de costos de mantenimiento	11	1.8
	PUNTUACIÓN FINAL:	237	2.9

Al comparar los resultados de las tablas 2. 1 y 2. 2, personal de gestión y operativos, respectivamente, se observa que la calificación por factor difiere, evidenciando sesgo de respuesta, al pretender mostrar que todo está bien con la realidad. Sin embargo, podemos identificar cuáles son los puntos con menor ponderación por parte de Gestión y Operativos y de esta manera proponer mejoras en aquellos factores donde ambos presenten puntaje similar o aproximado. Con tal fin, en la Figura 2.3 se muestran los resultados en conjunto y en las Figuras 2.4 y 2.5, de manera individual.

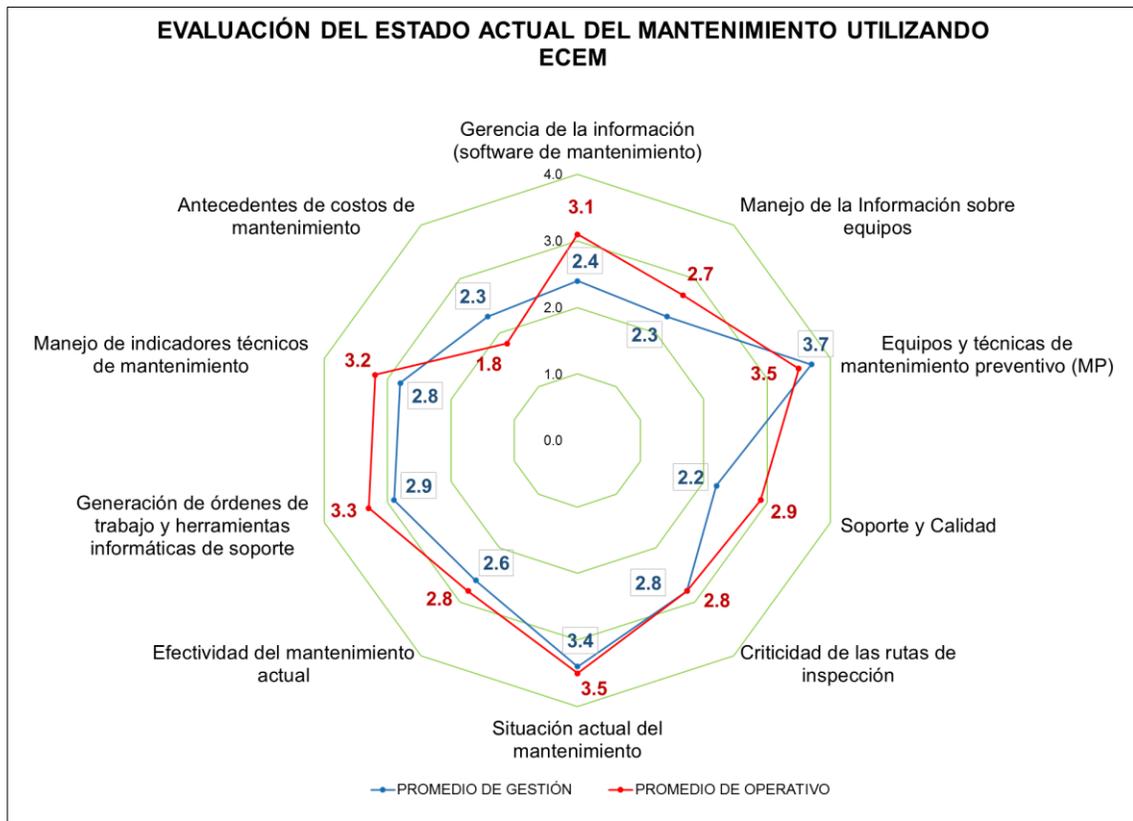


Figura 2. 3. Diagrama de Radar con la calificación promedio de cada factor evaluado por parte de Gestión y Operativos.

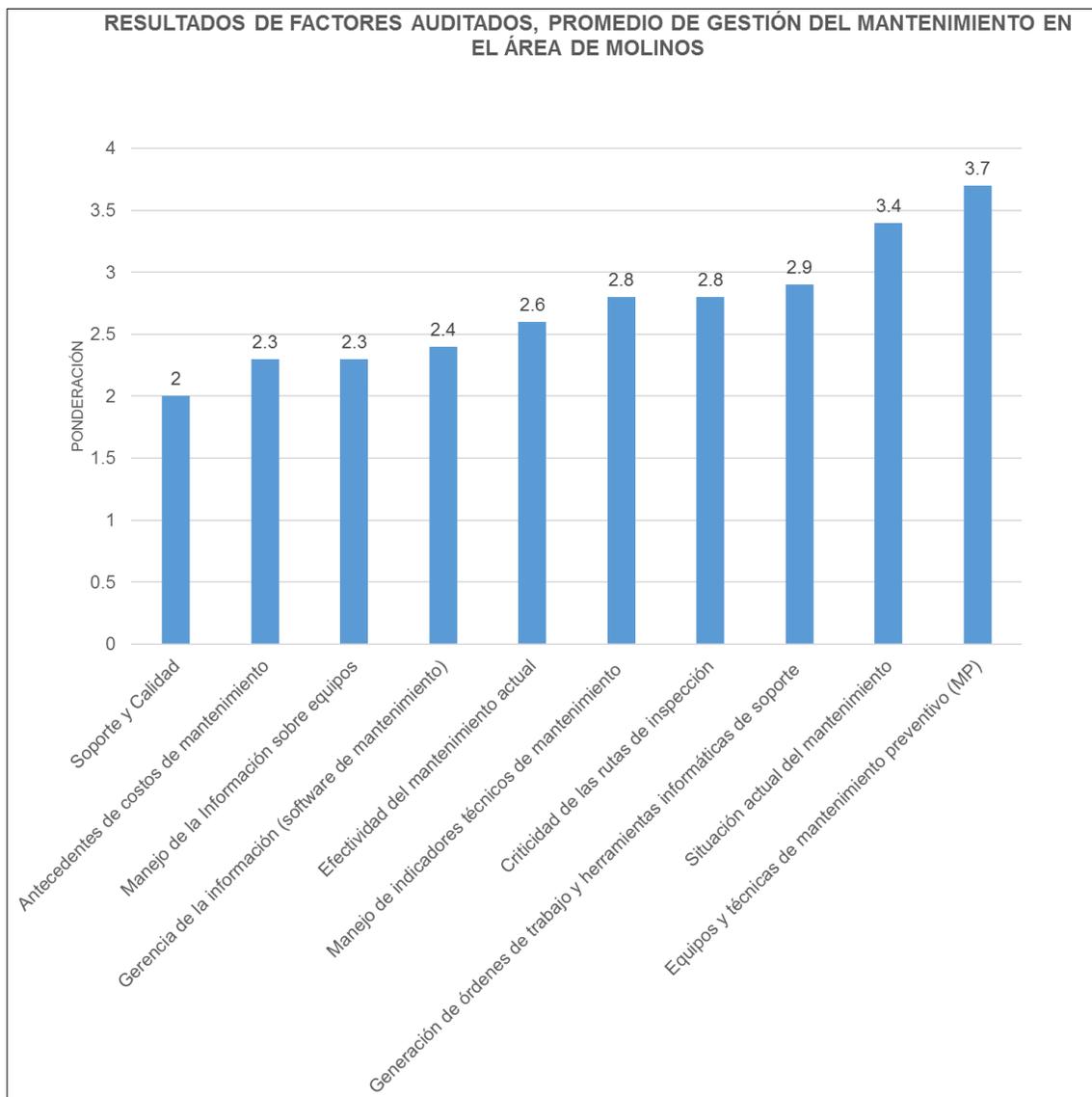


Figura 2. 4. Resultados de factores auditados, promedio de gestión del mantenimiento en el área de molinos.

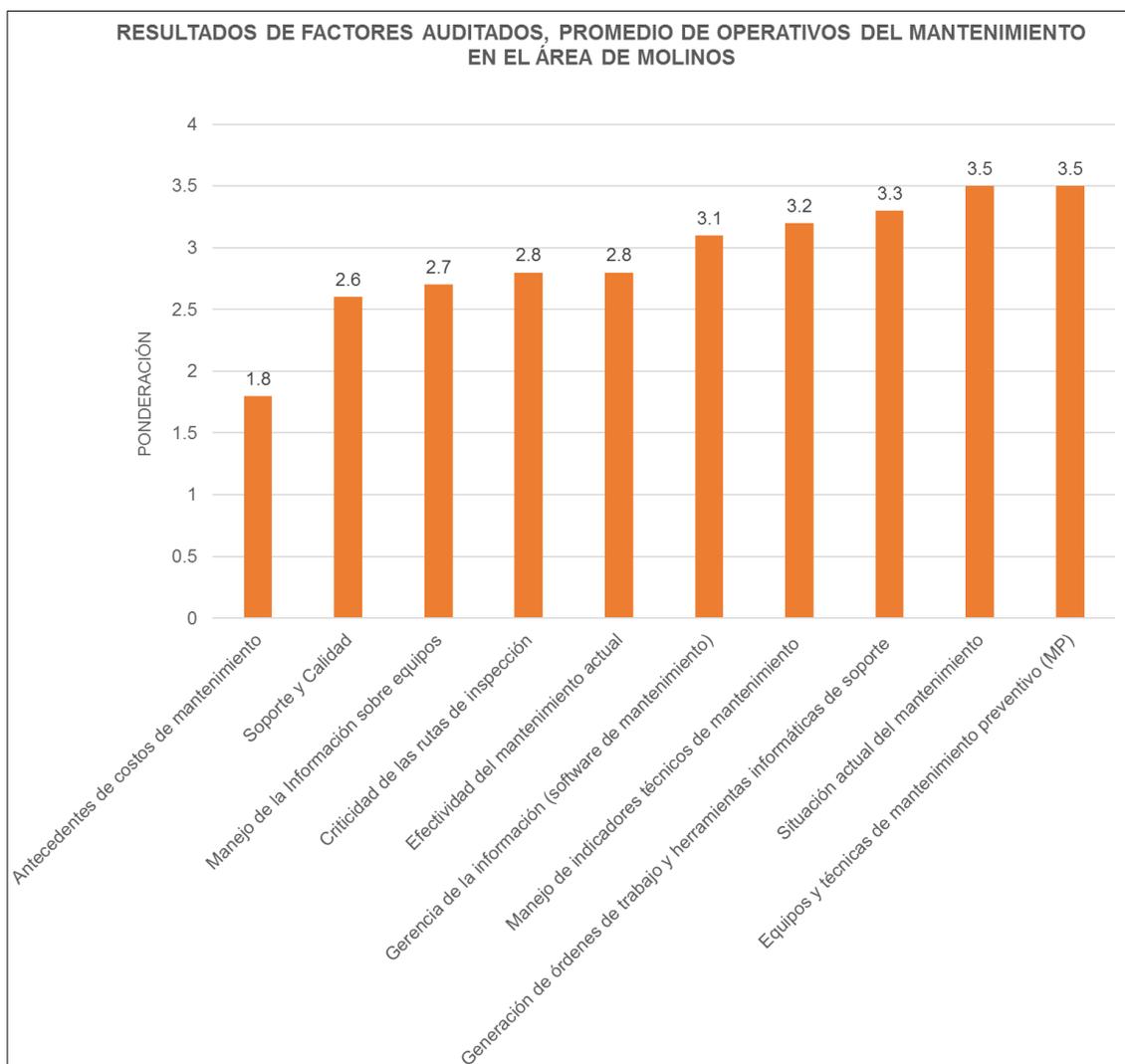


Figura 2. 5. Resultados de Factores auditados, promedio de operativos del mantenimiento en el área de molinos.

A continuación, se presentan de manera gráfica los resultados por cada factor evaluado.

Como se muestra en la Figura 2. 6, la pregunta P4 obtuvo la menor puntuación tanto por Gestión como por los Operativos. Dado que el enunciado dice: ¿El departamento de mantenimiento mantiene registros precisos de fallas de sus maquinarias y equipos dentro del software?, se evidencia la oportunidad de

mejora en el manejo de registros precisos de las fallas de la maquinaria y equipos en el área de molinos de un ingenio azucarero.

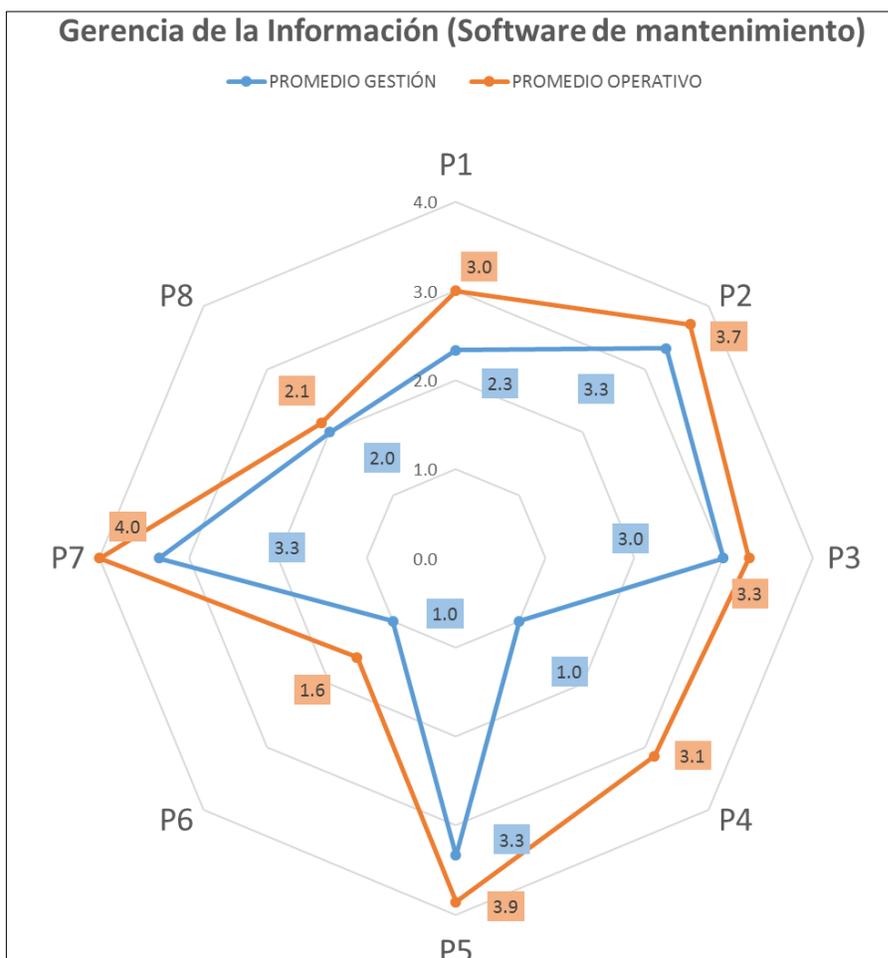


Figura 2. 6. Resultados, Gerencia de la información (software de mantenimiento).

En la Figura 2. 7, Manejo de la Información Sobre Equipos, es notable la igualdad de opinión con respecto a la pregunta P15 y P16, las cuales mencionan respectivamente: ¿Sabe cuál es la tasa de fallas de cada equipo? ¿Puede

determinar la confiabilidad de cada equipo? Dando como resultado la oportunidad de aplicación de indicadores que permitan conocer el valor actual de estos factores, evaluar tendencias y tomar decisiones basadas en data real.

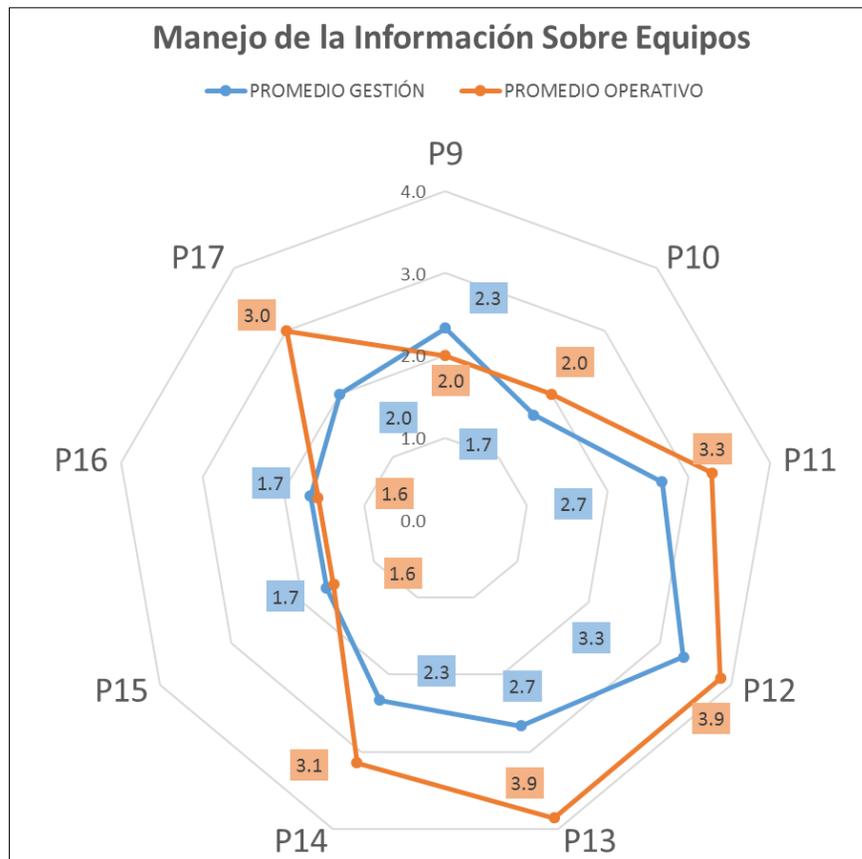


Figura 2. 7. Resultados, Manejo de la Información Sobre Equipos.

De acuerdo a la Figura 2.8, la pregunta P19 es la que obtuvo menor puntuación para el factor de Equipos y técnicas de mantenimiento preventivo, la cual dice: ¿Se revisan periódicamente los planes de MP?

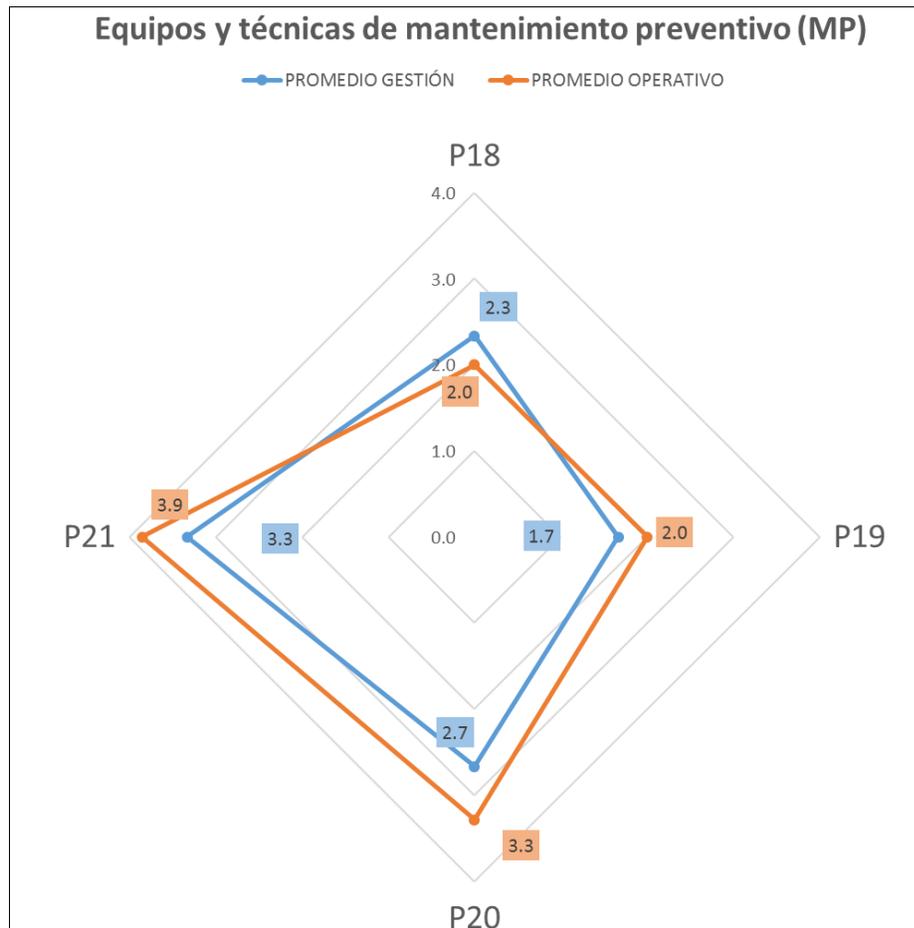


Figura 2. 8. Resultados, Equipos y técnicas de mantenimiento preventivo (MP).

En la Figura 2. 9, se observa que las preguntas P23, P26 y P31, tienen la puntuación más baja, las cuales plantean respectivamente: ¿Se tienen identificados los tiempos de reposición y los costos de los repuestos? ¿La cualificación del personal del área de mantenimiento es la adecuada? ¿Se emite un informe periódico del sistema informático que analiza la evolución del mantenimiento en el área de molinos? Estos hallazgos evidencian oportunidades

de mejora, en procesos relacionados con inventario y abastecimiento, formación del personal y documentación de acuerdo a los resultados obtenidos en el factor de Soporte y Calidad, para el área de molinos de un ingenio azucarero.

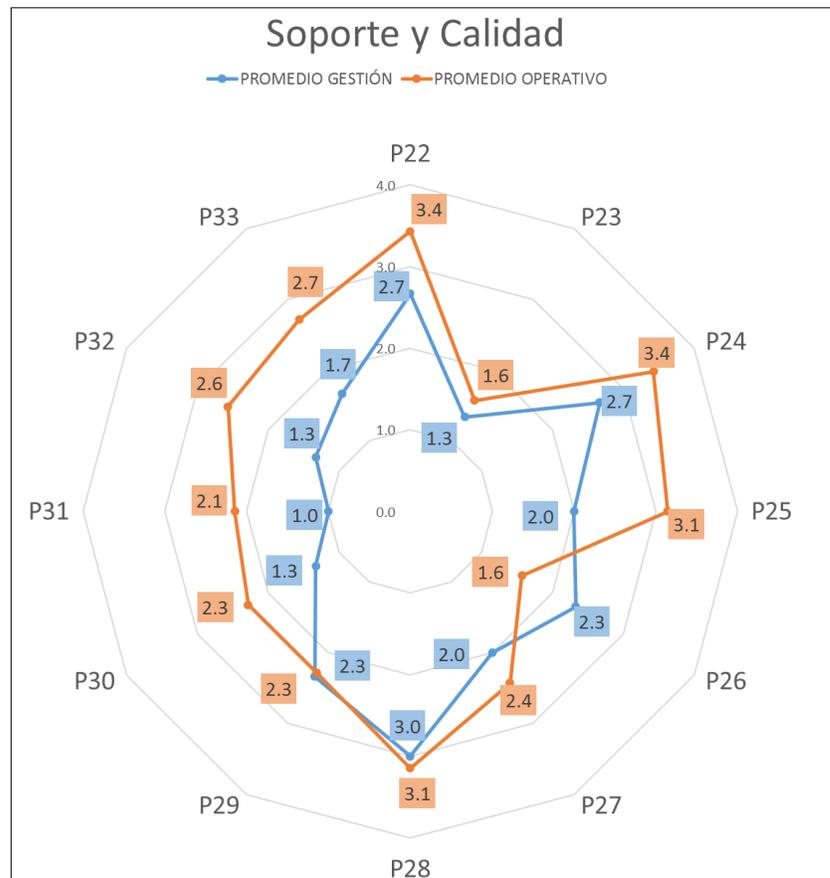


Figura 2. 9. Resultados, Soporte y Calidad.

La Figura 2. 10 muestra que la pregunta con menor puntuación es la P35, la cual dice: ¿Puede cuantificar la incidencia de la falla de un equipo sobre otro(s)? Esto sugiere que en la criticidad de rutas de inspección existe la oportunidad de mejora aplicando índice de incidencia de fallas en la maquinaria y equipos en el área de molinos de un ingenio azucarero.

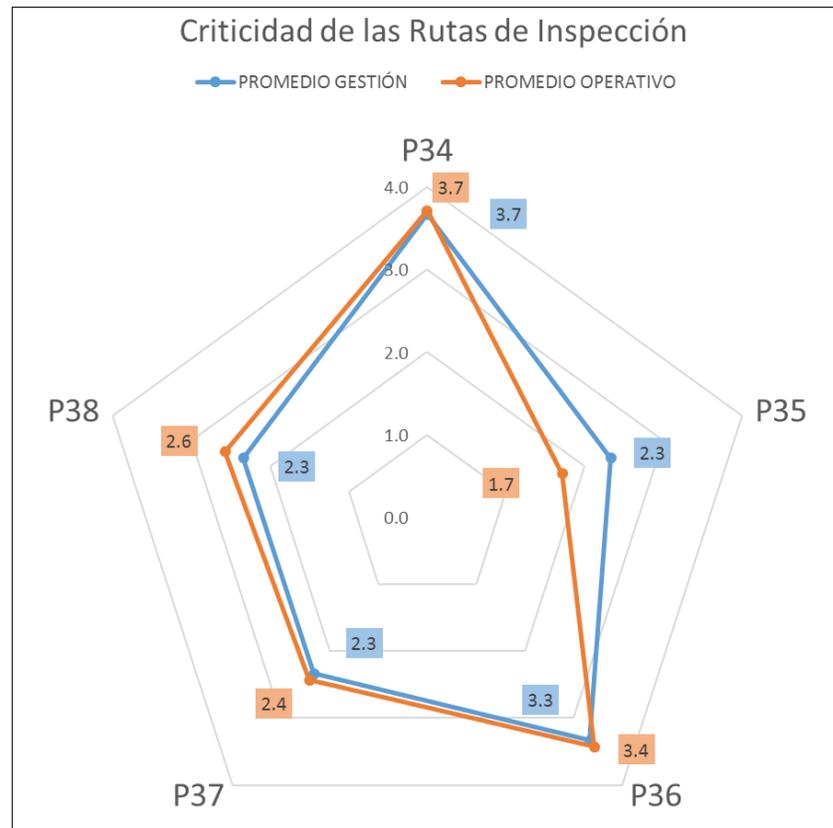


Figura 2. 10. Resultados, Criticidad de Rutas de Inspección.

Para el factor, Situación Actual del Mantenimiento (véase Figura 2. 11) se observan resultados muy favorables, lo cual se debe a la alta experiencia del personal a cargo del mantenimiento de la maquinaria y equipos en un ingenio azucarero.



Figura 2. 11. Resultados, Situación Actual del Mantenimiento.

¿Conoce el lapso de tiempo medio entre el aviso de la falla y la emisión de la O.T.? ¿Sabe cuál es la relación de trabajos pendientes y trabajos programados? P51 y P55 respectivamente son las preguntas que obtuvieron menor puntuación en el factor de efectividad del mantenimiento, mostrado en la Figura 2. 12

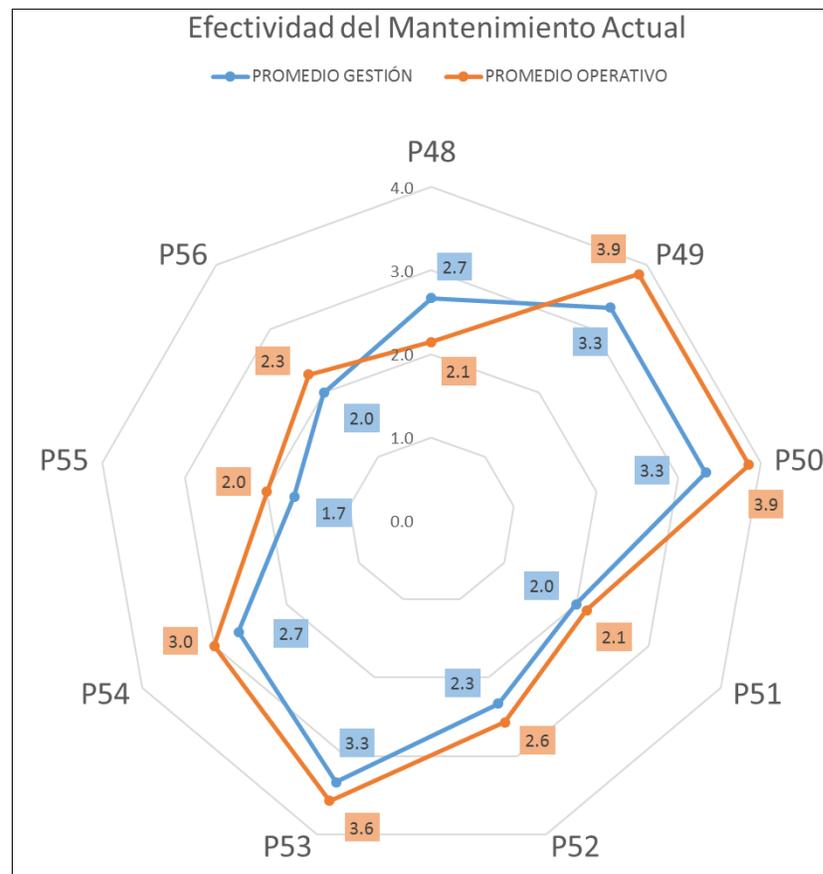


Figura 2. 12. Resultados, Efectividad del Mantenimiento Actual.

Para el factor Generación de Órdenes de Trabajo y Herramientas Informáticas de Soporte, la Figura 2.13 muestra que todos los puntajes tanto del personal de Gestión como los operativos, se encuentran arriba del promedio, en el área de molinos de un ingenio azucarero.

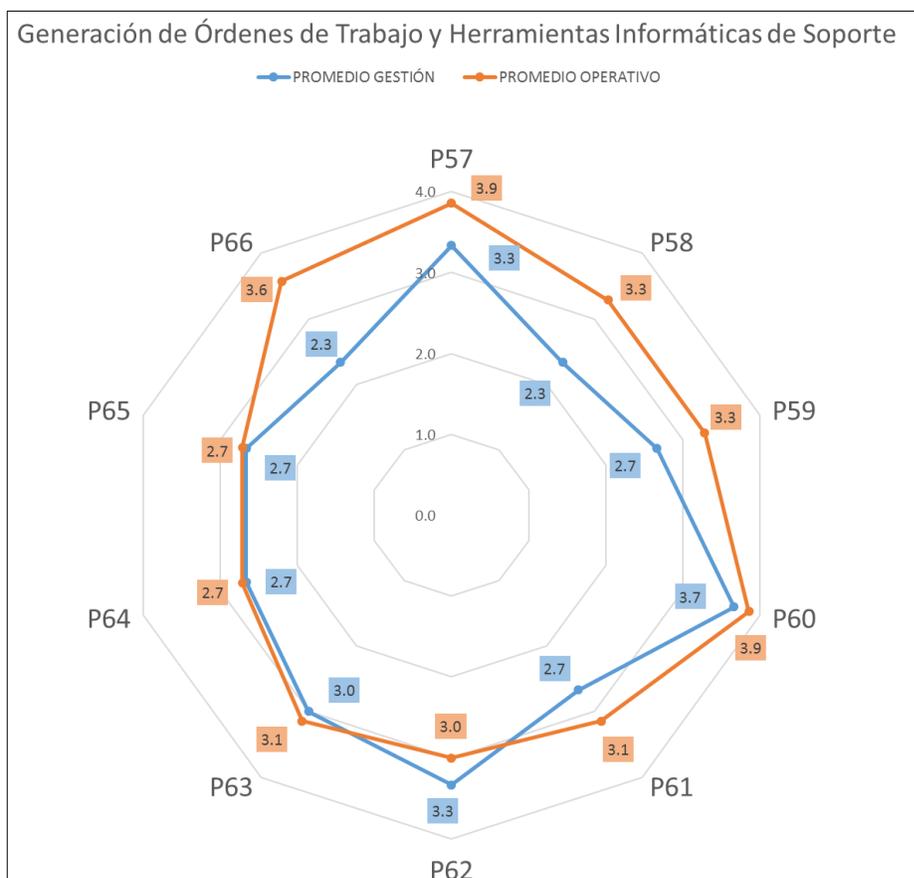


Figura 2. 13. Resultados, Generación de Órdenes de Trabajo y Herramientas Informáticas de Soporte.

En la Figura 2. 14, el factor Manejo de Indicadores Técnicos de Mantenimiento presenta una puntuación favorable, sin embargo, a través de entrevistas al personal por parte de gestión se identificó la necesidad de implementar indicadores en el área de molinos para la maquinaria y equipos. Las preguntas relacionadas a este factor dan apertura a una inclinación de que está bien, pero surge la oportunidad de indicadores, ya que no se encuentran implementados actualmente.

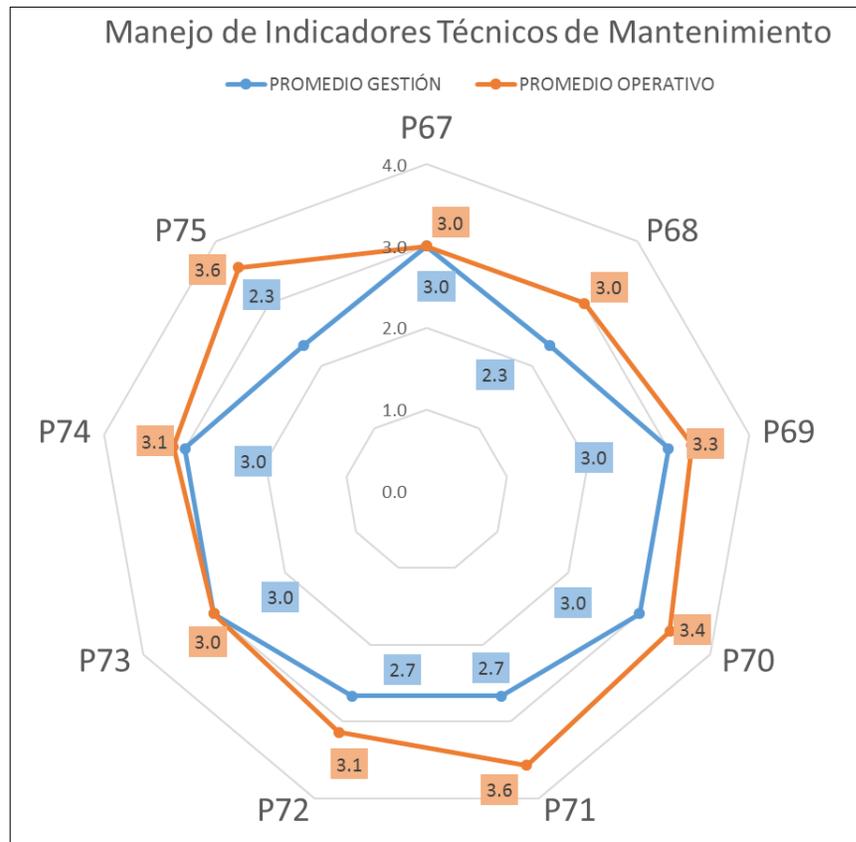


Figura 2. 14. Resultados, Manejo de Indicadores Técnicos de Mantenimiento.

Los resultados del factor Antecedentes de Costos de Mantenimiento (véase Figura 2.15) indican que es uno de los factores con puntuación más baja encontrados en la evaluación, por lo que dichos hallazgos permiten proponer iniciativas de mejora orientadas al registro y análisis de información sobre los aspectos considerados en la herramienta de diagnóstico.

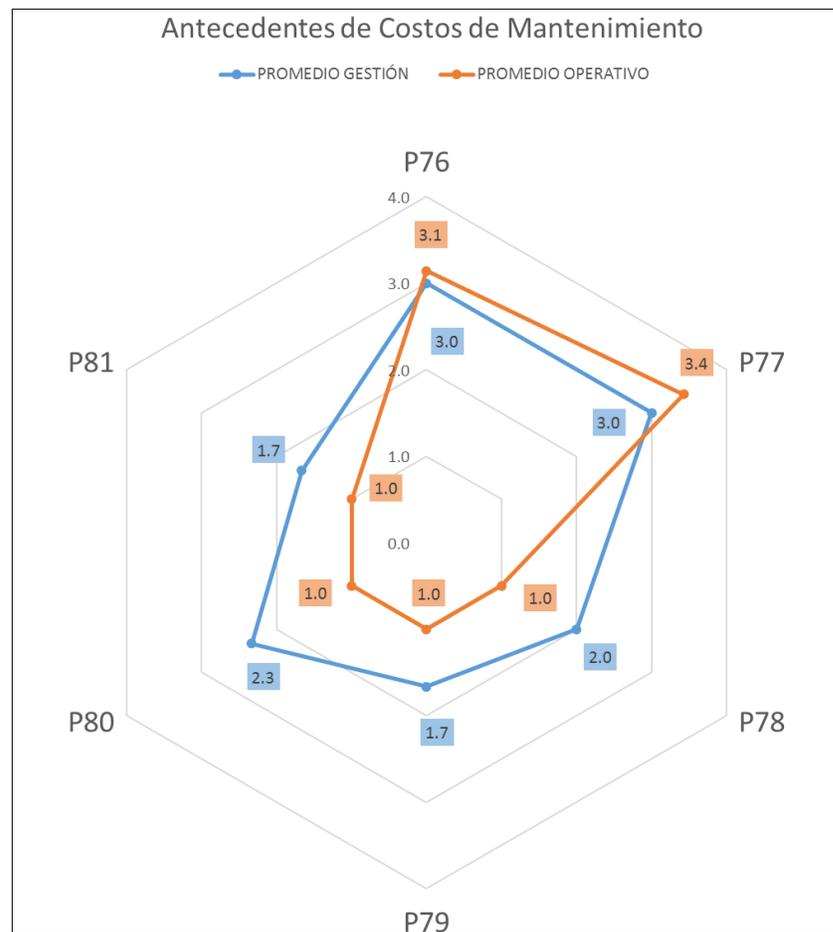


Figura 2. 15. Resultados, Antecedentes de Costos de Mantenimiento.

2.4. ORGANIZACIÓN DE LA MAQUINARIA Y EQUIPOS

En toda gestión de mantenimiento debe existir total conocimiento de la maquinaria y equipos que existen y el ambiente en el que cada uno se encuentra. El encargado de esta maquinaria y equipo por lo general los organiza de acuerdo a la distribución en planta en la que se encuentran o en las varias opciones de agrupación de la información objetiva que facilita el análisis, como en los ejemplos:

- Agrupación por línea de producción
- Agrupación por tipo de equipo;
- Agrupación por área geográfica;
- Agrupación por unidad de producción;
- Agrupación por importancia operacional;
- Agrupación por unidad móvil.

Tanto en el Catastro por el Sistema Manual, como en los Sistemas Automatizados o por Computadora, podría ser necesario definir los criterios de arreglo de la información archivada, de las listas emitidas por la impresora y/o a través de la pantalla. Sin embargo, con las visitas y las entrevistas realizadas se sugiere que una de las opciones más convenientes es agrupar la maquinaria y equipos del área de molinos de un ingenio azucarero por su función en el proceso para facilitar la comprensión de la criticidad de estos y poder sugerir acciones de mejoras de mantenimiento, tal como se muestra a continuación:

- Edificación
- Filtrado
- Grúa
- Instrumentación
- Limpieza
- Lubricación
- Proceso de Molienda
- Refrigeración
- Traslado de Materia Prima

Cada uno de estos arreglos en los cuales se ha agrupado la maquinaria y equipos pertenecientes al área de molinos de un ingenio azucarero, se definen a continuación:

- Edificación: Toda la estructura y subáreas donde está ubicada la maquinaria y equipos en el área de molinos de un ingenio azucarero, como, por ejemplo, Cuarto de control, Edificación en general.
- Filtrado: Toda maquinaria y equipo que funciona con el fin de filtrar el producto, como, por ejemplo, Filtro rotativo, Sinfín de bagacillo de filtro rotativo...
- Grúa: Todos los equipos y estructura cuya acción es izar y desplazar cargas pesadas, permitiendo que se puedan movilizar piezas de gran porte en forma horizontal y vertical.
- Instrumentación: Todo equipo que su acción es un indicador de alerta en el recorrido del producto en el proceso, tales, como, Transmisores de presión y temperatura, Indicadores de Nivel...
- Intercambio de Calor: Toda maquinaria y equipo involucrado que facilita la refrigeración de los sistemas que lo requieren. La torre de enfriamiento es uno de los principales equipos de esta agrupación.
- Limpieza: Todo equipo que ayuda a la acción de limpieza como por ejemplo las bombas de asepsia.
- Lubricación: Todos los equipos pertenecientes al sistema de lubricación que permiten que cada componente o pieza sean lubricados como, por ejemplo, Sistema de lubricación de planetarios de molinos, bombas de sistemas de lubricación.

- Proceso de Molienda: Toda la maquinaria y equipo involucrados en la acción o función de moler, tales como, Acoples flexibles de molinos, Sistema de presurización de cabezotes, Sistemas planetarios de Molinos, Molinos...
- Traslado de materia prima: Toda maquinaria y equipo involucrado en la acción de acarreo y estación del producto, como, por ejemplo, Conductor intermedio, Tanque de maceración, Reductor de conductor intermedio, Bomba de maceración...

A continuación, en la Tabla 2. 3 se presenta la lista de la maquinaria y equipos mecánicos con sus respectivos códigos y al grupo perteneciente de acuerdo a lo mencionado anteriormente.

Tabla 2. 3. Lista de maquinaria y equipos agrupados de acuerdo a la función que cumplen en el paso del producto por cada etapa del proceso en el área de molinos de un ingenio azucarero.

MÁQUINA POR FUNCIÓN	CÓDIGO DE LOS EQUIPOS AGRUPADOS POR FUNCIÓN	AGRUPACIÓN PERTENECIENTE
Conductor intermedio molinos 1 y 2	TPT-12001	Traslado de Materia Prima
Reductor de conductor intermedio molinos 1 y 2	RDT-12001	Traslado de Materia Prima
Conductor intermedio molinos 2 y 3	TPT-12002	Traslado de Materia Prima
Reductor de conductor intermedio molinos 2 y 3	RDT-12002	Traslado de Materia Prima
Conductor intermedio molinos 3 y 4	TPT-12003	Traslado de Materia Prima
Reductor de conductor intermedio molinos 3 y 4	RDT-12003	Traslado de Materia Prima
Bomba de maceración de molino 3 a 2	BMB-12008	Traslado de Materia Prima
Tanque de maceración del molino 3	TNQ-12002	Traslado de Materia Prima
Conductor intermedio molinos 4 y 6	TPT-12004	Traslado de Materia Prima
Reductor de conductor intermedio molinos 4 y 6	RDT-12004	Traslado de Materia Prima
Tanque de maceración del molino 4	TNQ-12003	Traslado de Materia Prima
Bomba de maceración de molino 4 a 3	BMB-12009	Traslado de Materia Prima
Tanque de maceración del molino 6	TNQ-12004	Traslado de Materia Prima
Bomba de maceración de molino 6 a 4	BMB-12010	Traslado de Materia Prima
Transmisor de nivel desplazamiento molino 1	TMN-12006	Instrumentación
Transmisor de flotación de masa superior de molino 1 lado turbos	TMU-12001	Instrumentación
Transmisor de flotación de masa superior de molino 1 lado calderas	TMU-12002	Instrumentación
Transmisor de presión cabezote molino 1 lado calderas	PT_2043	Instrumentación
Transmisor de presión cabezote molino 1 lado turbos	PT_2044	Instrumentación
Transmisor de temperatura de aceite del planetario 1	TT_2042	Instrumentación

Transmisor de presión bomba planetario molino 1	PT_2041	Instrumentación
Transmisor de nivel tanque jugo a filtro	TMN-12002	Instrumentación
Nivel tanque jugo mezclado	LT-0507	Instrumentación
Transmisor de desplazamiento molino 1 lado caldera	TMN-00144	Instrumentación
Transmisor de presión cabezote molino 2 lado calderas	PT_2047	Instrumentación
Transmisor de presión cabezote molino 2 lado turbos	PT_2048	Instrumentación
Transmisor de temperatura de aceite del planetario 2	TT_2046	Instrumentación
Transmisor de presión bomba planetario molino 2	PT_2045	Instrumentación
Transmisor de presión cabezote molino 3 lado calderas	PT_2051	Instrumentación
Transmisor de presión cabezote molino 3 lado turbos	PT_2052	Instrumentación
Transmisor de temperatura de aceite del planetario 3	TT_2050	Instrumentación
Transmisor de presión bomba planetario molino 3	PT_2049	Instrumentación
Transmisor de presión cabezote molino 4 lado calderas	PT_2055	Instrumentación
Transmisor de presión cabezote molino 4 lado turbos	PT_2056	Instrumentación
Transmisor de temperatura de aceite del planetario 4	TT_2054	Instrumentación
Transmisor de presión bomba planetario molino 4	PT_2053	Instrumentación
Transmisor de presión cabezote molino 6 lado calderas	PT_2059	Instrumentación
Transmisor de presión cabezote molino 6 lado turbos	PT_2060	Instrumentación
Transmisor de temperatura de aceite del planetario 6	TT_2058	Instrumentación
Transmisor de presión bomba planetario molino 6	PT_2057	Instrumentación
Nivel tanque pulmón de molinos	LT-0302	Instrumentación
Transmisor de temperatura de agua de imbibición	TMT-12001	Instrumentación
Nivel tanque de imbibición	LT-0302A	Instrumentación
Temperatura agua de imbibición	TT-0303	Instrumentación
Transmisor de flujo de agua imbibición	TMF-00102	Instrumentación
Transmisor de flujo molinos asepsia	TMF-00100	Instrumentación
Instrumentos transmisores de temperatura de Molinos	ITT-12001	Instrumentación
Instrumentos transmisores de presión de Molinos	ITP-12001	Instrumentación
Instrumentos transmisores de nivel de Molinos	ITN-12001	Instrumentación
Edificación molinos	EDF-12001	Edificación
Bomba 2 de jugo mezclado a filtro rotativo	BMB-12007B	Filtrado
Bomba 1 de jugo mezclado a filtro rotativo	BMB-12007A	Filtrado
Tanque de jugo mezclado a filtro rotativo	TNQ-12001	Filtrado
Válvula on/off protección jugo mezclado	VCF-12004	Filtrado
Filtro rotativo	FTR-12001	Filtrado
Sinfín de bagacillo de filtro rotativo	SFN-12001	Filtrado
Reductor de sinfín de bagacillo	RDT-12006	Filtrado
Reductor de filtro rotativo	RDT-12005	Filtrado
Tanque de jugo mezclado a fábrica	TNQ-12005	Filtrado
Bomba 2 de jugo mezclado a fabrica	BMB-12011B	Filtrado
Bomba 1 de jugo mezclado a fabrica	BMB-12011A	Filtrado

Flujo jugo mezclado	FT-0303	Filtrado
Grúa puente 1 de molinos	GRP-12001	Grúa
Grúa puente 2 de molinos	GRP-12002	Grúa
Bomba 2 de asepsia	BMB-12016B	Limpieza
Bomba 1 de asepsia	BMB-12016A	Limpieza
Sistema de lubricación de sistema planetario de molino 1	STL-12001	Lubricación
Bomba de sistema de lubricación molino 1	BMB-12001	Lubricación
Bomba de sistema de lubricación molino 2	BMB-12002	Lubricación
Sistema de lubricación de sistema planetario de molino 3	STL-12003	Lubricación
Bomba de sistema de lubricación molino 3	BMB-12003	Lubricación
Bomba de sistema de lubricación molino 4	BMB-12004	Lubricación
Sistema de lubricación de sistema planetario de molino 6	STL-12006	Lubricación
Bomba de sistema de lubricación molino 6	BMB-12006	Lubricación
Sistema de lubricación de chumaceras de molinos	STL-12007	Lubricación
Sistema de lubricación de coronas molinos	STL-12008	Lubricación
Sistema de presurización de cabezotes	STP-12001	Proceso de Molienda
Bomba de sistema hidráulico cabezotes	BMB-12015	Proceso de Molienda
Molino 1	MLN-12001	Proceso de Molienda
Sistema planetario de molino 1	PNT-12001	Proceso de Molienda
Motor de molino 1	MTR-12001	Proceso de Molienda
Motor de ventilador molino 1	MTR-12011	Proceso de Molienda
Acople flexible de molino 1	ACP-12001	Proceso de Molienda
Molino 2	MLN-12002	Proceso de Molienda
Sistema planetario de molino 2	PNT-12002	Proceso de Molienda
Sistema de lubricación de sistema planetario de molino 2	STL-12002	Proceso de Molienda
Acople flexible de molino 2	ACP-12002	Proceso de Molienda
Molino 3	MLN-12003	Proceso de Molienda
Sistema planetario de molino 3	PNT-12003	Proceso de Molienda
Acople flexible de molino 3	ACP-12003	Proceso de Molienda
Molino 4	MLN-12004	Proceso de Molienda
Sistema planetario de molino 4	PNT-12004	Proceso de Molienda
Sistema de lubricación de sistema planetario de molino 4	STL-12004	Proceso de Molienda

Acople flexible de molino 4	ACP-12004	Proceso de Molienda
Molino 6	MLN-12006	Proceso de Molienda
Sistema planetario de molino 6	PNT-12006	Proceso de Molienda
Acople flexible de molino 6	ACP-12006	Proceso de Molienda
Tanque de imbibición para molinos	TNQ-12006	Proceso de Molienda
Bomba 2 de imbibición molinos	BMB-12014B	Proceso de Molienda
Bomba 1 de imbibición molinos	BMB-12014A	Proceso de Molienda
Válvula agua fresca tanque imbibición	LV-0210	Proceso de Molienda
Válvula de control agua imbibición	FV-0301	Proceso de Molienda
Válvula agua condensada de tanque imbibición	ZV-0225	Proceso de Molienda
Válvula agua filtros a tanque imbibición	ZV-0225B	Proceso de Molienda
Torre de enfriamiento de molinos	TRE-12001	Intercambio de Calor
Ventilador de torre de enfriamiento molinos	VTL-12001	Intercambio de Calor
Reductor de ventilador de torre de enfriamiento	RDT-12007	Intercambio de Calor
Bomba respaldo 1 de retorno a torre de enfriamiento molinos	BMB-12013B	Intercambio de Calor
Bomba titular de retorno a torre de enfriamiento molinos	BMB-12013A	Intercambio de Calor
Tanque de agua de chumaceras	TNQ-12007	Intercambio de Calor
Bomba titular de tanque de agua de chumaceras	BMB-12017A	Intercambio de Calor
Bomba respaldo1 de tanque de agua de chumaceras	BMB-12017B	Intercambio de Calor
LUBRICACIÓN GENERAL	LUB-1200	Intercambio de Calor
Bomba 1 Chiller Robicon	BMB-12018	Intercambio de Calor
Intercambiador de Calor Planetario 1	ICP-12001	Intercambio de Calor
Intercambiador de Calor Planetario 2	ICP-12002	Intercambio de Calor
Intercambiador de Calor Planetario 3	ICP-12003	Intercambio de Calor
Intercambiador de Calor Planetario 4	ICP-12004	Intercambio de Calor
Intercambiador de Calor Planetario 6	ICP-12006	Intercambio de Calor

2.5. CRITICIDAD DE LA MAQUINARIA Y EQUIPOS

Las técnicas de análisis de criticidad son herramientas que permiten identificar y jerarquizar por su importancia los activos de una instalación sobre los cuales vale la pena dirigir recursos (humanos, económicos y tecnológicos). En otras palabras, el proceso de análisis de criticidad ayuda a determinar la importancia y las consecuencias de los eventos potenciales de fallos de los sistemas de producción dentro del contexto operacional en el cual se desempeñan (Woodhouse, 1994).

El término “crítico” y la propia definición de criticidad pueden tener diferentes interpretaciones dependiendo del objetivo que se está tratando de jerarquizar. El objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de un proceso de producción complejo, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable. Desde esta óptica existe una gran diversidad de posibles criterios que permiten evaluar la criticidad de un activo de producción. Los motivos de priorización pueden variar según las oportunidades y las necesidades de la organización. A continuación, se presentan algunos criterios comunes a utilizar dentro de los procesos de jerarquización:

- Flexibilidad operacional (disponibilidad de función alterna o de respaldo)
- Efecto en la continuidad operacional / capacidad de producción
- Efecto en la calidad del producto
- Efecto en la seguridad, ambiente e higiene
- Costos de paradas y del mantenimiento

- Frecuencia de fallas / confiabilidad
- Condiciones de operación (temperatura, presión, fluido, caudal, velocidad)
- Flexibilidad / accesibilidad para inspección & mantenimiento
- Requerimientos / disponibilidad de recursos para inspección y mantenimiento
- Disponibilidad de repuestos...

2.5.1. METODOLOGÍA PARA DEFINIR LA CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS

Determinar la criticidad de una máquina es muy importante para definir el plan estratégico de mantenimiento, conocer los recursos humanos y materiales consumidos por dichas máquinas y calcular de forma correcta el ROI (Retorno sobre la Inversión) de la inversión y gasto en mantenimiento de dicha máquina.

Como objetivo primordial es dar a conocer el cálculo de criticidad de máquinas por medio de variables intrínsecas y extrínsecas de la máquina, cómo afectan cada una de ellas y como se traduce en un valor de criticidad. El examen exhaustivo que pasan las máquinas para el cálculo de criticidad se traduce en una orientación cualitativa, ya que la gran cantidad de sectores y tipologías de máquinas ubicadas en entornos distintos hace inviable presentar una ponderación de las variables de criticidad para cada caso.

Es importante que el encargado de mantenimiento haga un ejercicio de introspección en cómo funcionan sus máquinas y como le afectan dichas variables, para posteriormente “alzar la mirada” y postular sus variables en grupos identificados en su planta.

El cálculo de criticidades de máquinas que se muestra, se basa en la ponderación numérica de 22 variables con 5 rangos de cada una, un total de 132 variables valoradas o ponderadas su criticidad según criterios de experiencia y comparación entre las mismas, de 0 a 50.

El tipo de variable EQUIPO, dispone de 6 variables (E1 a E6) donde se concentran las características técnicas más importantes que definen la máquina. Es sabido que puede haber muchas más características que son importantes, pero estas seis son las más importantes y agrupas. El usuario determina en cada variable en su código 001 a 005 el que más se adecua.

El tipo de variable PROCESO, dispone de 3 variables (P1 a P3) donde se definen conceptos de tipo de proceso donde está ubicado la máquina, tipo de producto con el que trabaja y un argumento técnico que caracteriza el proceso y producto, variables P3 TÉCNICA.

El tipo de variable OPERATIVA, dispone de 5 variables (O1 a O5) y es usada para conocer la carga de trabajo de la máquina, así como se distribuye dicha carga. Es una variable que permite conocer la usabilidad de la máquina como también los espacios de disponibilidad de parada de la máquina para realizar mantenimiento preventivo y correctivo.

El tipo de variable ECONÓMICO, dispone de 3 variables (C1 a C3), siendo que el precio de la máquina con su coste de indisponibilidad conlleva estudios exhaustivos en el área de molinos de un ingenio azucarero que busca, por supuesto, rentabilizar sus máquinas y actividad operativa.

El tipo de variable MANTENIBILIDAD, dispone de 2 variables (M1 y M2), aglutina conceptos muy necesarios de disposición de recambios, capacidad

mantener máquinas e historia del mantenimiento de cada una (gestión). La intercambiabilidad es muy necesaria, ya que reduce costes de stock y operativa.

El tipo de variable SOSTENIBILIDAD, cuenta con 3 variables (S1 a S3), intenta tomar en consideración el grado de afectación a las normas de inocuidad, medio ambiente y de la seguridad industrial, de una manera global, no detallada, pues el detalle se encuentra en los manuales particulares de cada sistema de gestión.

Tabla 2. 4. Grupo de variables consideradas para determinar la criticidad de la maquinaria y equipos en un ingenio azucarero.

EQUIPO	E1	Tipo máquina
EQUIPO	E2	Potencia (kW o CV)
EQUIPO	E3	RPM
EQUIPO	E4	Temperatura (°C)
EQUIPO	E5	Número de ejes
EQUIPO	E6	Entorno
PROCESO	P1	Tipo proceso
PROCESO	P2	Tipo producto
PROCESO	P3	Variable Técnica predominante
OPERATIVA	O1	Tipo producción
OPERATIVA	O2	Funcionamiento
OPERATIVA	O3	Pérdida de Calidad
OPERATIVA	O4	Equipo de Respaldo
OPERATIVA	O5	Indisponibilidad (por fallas)
ECONÓMICO	C1	Precio equipo (k\$)
ECONÓMICO	C2	Coste por ralentización / día (k\$)
ECONÓMICO	C3	Coste indisponibilidad / día (k\$)
MANTENIBILIDAD	M1	Recambios
MANTENIBILIDAD	M2	Tipo mantenimiento

SOSTENIBILIDAD	S1	Impacto a la Inocuidad
SOSTENIBILIDAD	S2	Impacto al Medio Ambiente
SOSTENIBILIDAD	S3	Seguridad Industrial

La selección de cada variable de criticidad no es engorrosa, debe realizarse de forma espontánea y rápida, ya que se recuerda que el valor de criticidad se transforma de cuantitativo a cualitativo.

Se debe seleccionar el grupo o rango que define mejor las características de cada máquina, siendo los valores del 1 al 5 y colocarlos en cada tipo de variables de criticidad, al cual se le ha dado un valor que varía de 0 hasta 50, según la criticidad.

En la Tabla 2.5 se presenta el desglose de cada variable descrita anteriormente, las sub variables y sus rangos correspondientes, los cuales varían del 001 al 005, así como los pesos correspondientes, de acuerdo al criterio establecido por la gerencia (véase Tabla 2.6) y colocado al lado derecho de cada criterio. Los rangos de puntuación de criticidad que permiten clasificar la maquinaria y equipos, así como los colores que los representan, se detallan en la Tabla 2.7

Tabla 2. 5. Cuadro resumen de variables y criterios de calificación con su peso correspondiente.

VARIABLE	DESCRIPCIÓN	001	002	003	004	005
EQUIPO	E1 Tipo máquina	Motores, Tableros, Intercambiadores de Calor, Filtros, Medidores	Ventiladores, Torres de Enfriamiento, Tableros, Transmisores, Tanques	Bombas, Centrifugas, Transformadores, Equipos Acarreo, Sistemas de Tratamiento de Líquidos	Reductores de Velocidad, Sistema Hidráulico, Neumático (compresores) o de gas, Subestaciones, DCS's	Turbogeneradores, Calderas, Preparadores de Caña, Molinos, Transportadores, Variadores de Frecuencia, Arrancadores y Protecciones
EQUIPO	E2 Potencia (kW ó CV)	< 30 kW	30 < 100	100 < 300	300 < 1000	> 1000
EQUIPO	E3 RPM	< 100	100 < 1200	1200 < 2000	2000 < 4000	> 4000
EQUIPO	E4 Temperatura (°C)	< Ambiente	Amb. < 90	90 < 200	200 < 600	> 600
EQUIPO	E5 Número de ejes	Ninguno	1 ó 2	3 ó 4	5	> 5
EQUIPO	E6 Entorno	Normal	Sumergido	Altura	Explosivo	Tóxico
PROCESO	P1 Tipo proceso	Reacción	Serial	Paralelo	Transformación	Logístico
PROCESO	P2 Tipo producto	Líquido	Sólido	Gaseoso o Vapor	Tóxico o Corrosivo	Químico
PROCESO	P3 Variable Técnica	Presión	Temperatura	Viscosidad	Pureza	Humedad
OPERATIVA	O1 Tipo producción	Continuo	Batch	Bajo demanda	Contra stock	Otro
OPERATIVA	O2 Funcionamiento	24/7	< 3,500 horas/año	< 2,500 horas/año	< 1,500 horas/año	< 500 horas/año
OPERATIVA	O3 Pérdida de Calidad	75 a 100%	50 a 75%	25 a 50%	0 a 25%	Ninguna
OPERATIVA	O4 Equipo de Respaldo	Ninguno	1	2	3	> 3
OPERATIVA	O5 Disponibilidad (por fallas)	> 4/Zaifa	3 a 4/Zaifa	2 a 3/Zaifa	1 a 2/Zaifa	< 1/Zaifa
ECONÓMICO	C1 Precio equipo (k\$)	< 5	5 < 10	10 < 100	100 < 1000	> 1000
ECONÓMICO	C2 Coste por lanzamiento / día	< 1	1 < 5	5 < 15	25 < 50	> 50
ECONÓMICO	C3 Coste de indisponibilidad / día	< 5	5 < 25	25 < 50	50 < 100	> 100
MANTEABILIDAD	M1 Recambios	Baja	Alta	Plazo entrega largo	Corto plazo de entrega	Manejable con alternativas
MANTEABILIDAD	M2 Tipo mantenimiento	Proactivo	Predictivo	Preventivo	Correctivo	Afectivo
SOSTENIBILIDAD	S1 Impacto a la inocuidad	Alto Impacto a los Puntos Críticos	Sensible, difícil de controlar	Controlable	Sin incumplimiento a normas	No genera ningún impacto
SOSTENIBILIDAD	S2 Impacto al Medio Ambiente	Alto	Sensible	Afectación controlable	Sin repercusión sobre normativa legal	No genera ningún impacto
SOSTENIBILIDAD	S3 Seguridad Industrial	Muerte	Lesión incapacitante	Daños menores a la integridad Física	Sin incumplimiento a LGPRLT y sus reglamentos	No genera ningún impacto

Tabla 2. 6. Peso de cada variable de acuerdo el criterio de la gestión de mantenimiento.

VARIABLE	PESO	CANTIDAD
EQUIPO	20.0%	6
PROCESO	10.0%	3
OPERATIVA	20.0%	5
ECONÓMICO	20.0%	3
MANTENIBILIDAD	15.0%	2
SOSTENIBILIDAD	15.0%	3
	100.0%	22

Tabla 2. 7. Rango de puntuación de criticidad de la maquinaria y equipos.

CRITICIDAD	RANGO
MODERADA	≤ 62
MEDIA	$63 < 88$
ALTA	≥ 88

2.5.2. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD

A partir de la metodología planteada en la sección anterior, la Tabla 2. 8 presenta los resultados obtenidos del análisis de criticidad, la penúltima columna presenta el grupo al que pertenece cada sistema y equipo mientras que la última columna señala el nivel de criticidad que le corresponde, baja, media o alta. Partiendo de un formato base para análisis de criticidad se desarrolló una hoja de cálculo en Excel conteniendo tablas dinámicas que permiten la segmentación de los equipos y el análisis de criticidad para los criterios considerados. Capturas de pantalla del software se presentan en el anexo B.

Tabla 2. 8. Resultados del análisis de criticidad y grupo al que pertenece cada sistema o equipo del área de molinos de un ingenio azucarero.

MAQUINA POR FUNCIÓN	Tipo máquina	Potencia (kW o CV)	RPM	Temperatura (°C)	Número de ejes	Entorno	Tipo proceso	Tipo producto	Variable Técnica predominante	Tipo producción	Funcionamiento	Pérdida de Calidad	Equipo de Respaldo	Indisponibilidad (por fallas)	Precio equipo (k\$)	Coste por ralentización / día (k\$)	Coste indisponibilidad / día (k\$)	Recambios	Tipo mantenimiento	Impacto a la Inocuidad	Impacto al Medio Ambiente	Seguridad Industrial	CRITICIDAD	Agrupación perteneciente	Nivel de Criticidad
	2	3	3	2	2	1	2	1	2	1	1	5	1	4	3	5	5	1	3	5	5	1			
Torre de enfriamiento de molinos	2	3	3	2	2	1	2	1	2	1	1	5	1	4	3	5	5	1	3	5	5	1	79.50	Intercambio de Calor	MEDIA
Ventilador de torre de enfriamiento molinos	2	1	3	2	2	1	2	1	2	1	1	5	1	5	3	3	5	1	3	5	5	1	71.25	Intercambio de Calor	MEDIA
Reductor de ventilador de torre de enfriamiento	4	2	3	2	2	1	2	1	2	1	1	5	1	3	3	3	5	1	3	5	5	2	75.25	Intercambio de Calor	MEDIA
Bomba respaldo 1 de retorno a torre de enfriamiento molinos	3	1	3	2	2	1	2	1	1	1	1	5	1	4	3	2	3	1	3	5	5	4	62.50	Intercambio de Calor	BAJA

Bomba titular de retorno a torre de enfriamiento molinos	3	1	3	2	2	1	2	1	1	1	1	5	2	4	3	1	1	1	3	5	5	4	54.50	Intercambio de Calor	BAJA
Tanque de agua de chumaceras	2	1	1	2	1	1	2	1	2	1	1	5	1	5	1	1	1	1	3	5	5	4	51.00	Intercambio de Calor	BAJA
Bomba titular de tanque de agua de chumaceras	3	1	3	2	2	1	2	1	1	1	1	5	2	4	1	1	1	1	3	5	5	4	51.50	Intercambio de Calor	BAJA
Bomba respaldo1 de tanque de agua de chumaceras	3	1	3	2	2	1	2	1	1	1	1	5	1	4	1	2	2	1	3	5	5	4	57.50	Intercambio de Calor	BAJA
LUBRICACIÓN GENERAL	4	2	1	2	1	1	2	1	3	1	1	5	1	4	4	2	2	1	2	4	4	3	68.25	Intercambio de Calor	MEDIA
Transmisor de nivel desplazamiento molino 1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	4	1	5	1	1	1	1	3	5	5	5	49.50	Instrumentación	BAJA
Bomba 2 de asepsia	3	1	4	2	2	1	2	1	1	1	1	5	1	5	2	1	1	1	3	5	4	5	53.00	Limpieza	BAJA
Bomba 1 chiller robicon	3	1	3	2	2	1	2	1	1	1	1	5	2	4	1	2	2	1	3	5	4	4	57.50	Intercambio de Calor	BAJA
Sistema de presurización de cabezotes	4	1	3	2	2	1	2	1	1	1	1	5	1	4	3	1	5	1	3	5	4	3	69.25	Proceso de Molienda	MEDIA
Bomba de sistema hidráulico cabezotes	3	1	3	2	2	1	2	1	1	1	1	5	1	4	1	1	5	1	3	5	4	4	63.50	Proceso de Molienda	MEDIA
Molino 1	5	4	1	2	3	1	2	2	1	1	1	4	1	2	5	3	3	1	3	4	4	1	93.75	Proceso de Molienda	ALTA
Conductor intermedio molinos 1 y 2	5	2	3	2	2	3	2	2	1	1	1	4	1	4	3	5	5	1	3	4	4	2	88.50	Traslado de Materia Prima	ALTA
Reductor de conductor intermedio molinos 1 y 2	4	2	3	2	2	3	2	2	1	1	1	4	1	4	3	5	5	1	3	4	4	2	87.75	Traslado de Materia Prima	MEDIA

Transmisor de flotación de masa superior de molino 1 lado turbos	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	4	1	5	1	1	1	1	3	5	5	5	49.50	Instrumentación	BAJA
Transmisor de flotación de masa superior de molino 1 lado calderas	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	4	1	5	1	1	1	1	3	5	5	5	49.50	Instrumentación	BAJA
Transmisor de presión cabezote molino 1 lado calderas	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	4	1	5	1	1	1	1	3	5	5	5	49.50	Instrumentación	BAJA
Transmisor de presión cabezote molino 1 lado turbos	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	4	1	5	1	1	1	1	3	5	5	5	49.50	Instrumentación	BAJA
Sistema planetario de molino 1	5	5	1	1	3	1	2	2	1	1	1	4	1	4	4	5	5	1	2	5	4	1	95.00	Proceso de Molienda	ALTA
Sistema de lubricación de sistema planetario de molino 1	4	1	3	1	2	1	2	1	2	1	1	5	1	5	2	1	1	1	3	5	4	4	58.75	Lubricación	BAJA
Transmisor de temperatura de aceite del planetario 1	2	1	1	2	1	1	2	1	2	1	1	5	1	5	1	1	1	2	3	5	5	5	46.25	Instrumentación	BAJA
Transmisor de presión bomba planetario molino 1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	5	1	5	1	1	1	2	3	5	5	5	79.50	Instrumentación	MEDIA
Bomba de sistema de lubricación molino 1	3	1	3	2	2	1	2	1	1	1	1	5	1	4	1	1	1	1	3	5	5	4	53.50	Lubricación	BAJA
Motor de molino 1	1	5	3	2	2	1	2	2	2	1	1	5	1	4	3	2	5	1	3	5	5	2	73.00	Proceso de Molienda	MEDIA
Motor de ventilador molino 1	1	1	3	2	2	1	2	2	2	1	1	5	1	4	3	2	5	1	3	5	5	2	68.50	Proceso de Molienda	MEDIA
Bomba 2 de jugo mezclado a filtro rotativo	3	3	3	2	2	1	2	1	1	1	1	3	1	4	3	5	5	1	3	5	4	4	80.75	Filtrado	MEDIA
Bomba 1 de jugo mezclado a filtro rotativo	3	3	3	2	2	1	2	1	1	1	1	3	2	4	3	1	1	1	3	5	4	4	62.75	Filtrado	BAJA

Acople flexible de molino 1	5	5	1	2	2	3	2	2	1	1	1	5	1	5	3	2	5	1	3	5	5	1	82.50	Proceso de Molienda	MEDIA
Tanque de jugo mezclado a filtro rotativo	2	1	1	2	1	1	2	2	2	1	1	3	1	5	1	1	1	1	3	5	4	4	57.00	Filtrado	BAJA
Válvula on/off protección jugo mezclado	1	1	1	2	2	1	2	1	1	1	1	3	1	5	1	1	1	1	3	5	5	5	53.00	Filtrado	BAJA
Transmisor de nivel tanque jugo a filtro	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	3	1	5	1	1	1	1	3	5	5	5	51.50	Instrumentación	BAJA
Nivel tanque jugo mezclado	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	3	1	5	1	1	1	1	3	5	5	5	51.50	Instrumentación	BAJA
Transmisor de desplazamiento molino 1 lado caldera	2	1	1	2	1	1	2	2	1	1	1	5	1	5	1	3	3	1	3	5	5	5	55.50	Instrumentación	BAJA
Molino 2	5	4	1	2	3	1	2	2	1	1	1	4	1	2	5	3	3	1	3	4	4	1	93.75	Proceso de Molienda	ALTA
Conductor intermedio molinos 2 y 3	5	2	3	2	2	3	2	2	1	1	1	4	1	4	3	5	5	1	3	4	4	2	88.50	Traslado de Materia Prima	ALTA
Reductor de conductor intermedio molinos 2 y 3	4	2	3	2	2	3	2	2	1	1	1	4	1	4	3	5	5	1	3	4	4	2	87.75	Traslado de Materia Prima	MEDIA
Transmisor de presión cabezote molino 2 lado calderas	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	4	1	5	1	1	1	1	3	5	5	5	49.50	Instrumentación	BAJA
Transmisor de presión cabezote molino 2 lado turbos	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	4	1	5	1	1	1	1	3	5	5	5	49.50	Instrumentación	BAJA
Sistema planetario de molino 2	5	5	1	1	3	1	2	2	1	1	1	4	1	4	4	5	5	1	2	5	4	1	95.00	Proceso de Molienda	ALTA
Sistema de lubricación de sistema planetario de molino 2	4	1	3	1	2	1	2	1	2	1	1	5	1	5	2	1	1	1	3	5	4	4	58.75	Proceso de Molienda	BAJA

Transmisor de temperatura de aceite del planetario 2	2	1	1	2	1	1	2	1	2	1	1	5	1	5	1	1	1	2	3	5	5	5	46.25	Instrumentación	BAJA
Transmisor de presión bomba planetario molino 2	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	5	1	5	1	1	1	2	3	5	5	5	46.75	Instrumentación	BAJA
Bomba de sistema de lubricación molino 2	3	1	3	2	2	1	2	1	1	1	1	5	1	4	1	1	1	1	3	5	5	4	53.50	Lubricación	BAJA
Acople flexible de molino 2	5	5	1	2	2	3	2	2	1	1	1	5	1	5	3	2	5	1	3	5	5	1	82.50	Proceso de Molienda	MEDIA
Molino 3	5	4	1	2	3	1	2	2	1	1	1	4	1	2	5	3	3	1	3	4	4	1	93.75	Proceso de Molienda	ALTA
Conductor intermedio molinos 3 y 4	5	2	3	2	2	3	2	2	1	1	1	4	1	4	3	5	5	1	3	4	4	2	88.50	Traslado de Materia Prima	ALTA
Reductor de conductor intermedio molinos 3 y 4	4	2	3	2	2	3	2	2	1	1	1	4	1	4	3	5	5	1	3	4	4	2	87.75	Traslado de Materia Prima	MEDIA
Transmisor de presión cabezote molino 3 lado calderas	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	4	1	5	1	1	1	1	3	5	5	5	49.50	Instrumentación	BAJA
Transmisor de presión cabezote molino 3 lado turbos	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	4	1	5	1	1	1	1	3	5	5	5	49.50	Instrumentación	BAJA
Sistema planetario de molino 3	5	5	1	1	3	1	2	2	1	1	1	4	1	4	4	5	5	1	2	5	4	1	95.00	Proceso de Molienda	ALTA
Sistema de lubricación de sistema planetario de molino 3	4	1	3	1	2	1	2	1	2	1	1	5	1	5	2	1	1	1	3	5	4	4	58.75	Lubricación	BAJA
Bomba de sistema de lubricación molino 3	3	1	3	2	2	1	2	1	1	1	1	5	1	4	1	1	1	1	3	5	5	4	53.50	Lubricación	BAJA
Transmisor de temperatura de aceite del planetario 3	2	1	1	2	1	1	2	1	2	1	1	5	1	5	1	1	1	2	3	5	5	5	46.25	Instrumentación	BAJA

Transmisor de presión bomba planetario molino 3	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	5	1	5	1	1	1	2	3	5	5	5	46.75	Instrumentación	BAJA
Bomba de maceración de molino 3 a 2	3	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1	5	1	3	3	5	5	1	3	5	4	3	79.00	Traslado de Materia Prima	MEDIA
Acople flexible de molino 3	5	5	1	2	2	3	2	2	1	1	1	5	1	5	3	2	5	1	3	5	5	1	82.50	Proceso de Molienda	MEDIA
Tanque de maceración del molino 3	2	1	1	2	1	1	2	2	1	1	1	5	1	5	1	2	2	1	3	5	4	5	53.50	Traslado de Materia Prima	BAJA
Molino 4	5	4	1	2	3	1	2	2	1	1	1	4	1	2	5	3	3	1	3	4	4	1	93.75	Proceso de Molienda	ALTA
Conductor intermedio molinos 4 y 6	5	2	3	2	2	3	2	2	1	1	1	4	1	4	3	5	5	1	3	4	4	2	88.50	Traslado de Materia Prima	ALTA
Reductor de conductor intermedio molinos 4 y 6	4	2	3	2	2	3	2	2	1	1	1	4	1	4	3	5	5	1	3	4	4	2	87.75	Traslado de Materia Prima	MEDIA
Tanque de maceración del molino 4	2	1	1	2	1	1	2	2	1	1	1	5	1	5	1	2	2	1	3	5	4	5	53.50	Traslado de Materia Prima	BAJA
Transmisor de presión cabezote molino 4 lado calderas	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	4	1	5	1	1	1	1	3	5	5	5	49.50	Instrumentación	BAJA
Transmisor de presión cabezote molino 4 lado turbos	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	4	1	5	1	1	1	1	3	5	5	5	49.50	Instrumentación	BAJA
Sistema planetario de molino 4	5	5	1	1	3	1	2	2	1	1	1	4	1	4	4	5	5	1	2	5	4	1	95.00	Proceso de Molienda	ALTA
Sistema de lubricación de sistema planetario de molino 4	4	1	3	1	2	1	2	1	2	1	1	5	1	5	2	1	1	1	3	5	4	4	58.75	Proceso de Molienda	BAJA
Bomba de sistema de lubricación molino 4	3	1	3	2	2	1	2	1	1	1	1	5	1	4	1	1	1	1	3	5	5	4	53.50	Lubricación	BAJA

Transmisor de temperatura de aceite del planetario 4	2	1	1	2	1	1	2	1	2	1	1	5	1	5	1	1	1	2	3	5	5	5	46.25	Instrumentación	BAJA
Transmisor de presión bomba planetario molino 4	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	5	1	5	1	1	1	2	3	5	5	5	46.75	Instrumentación	BAJA
Bomba de maceración de molino 4 a 3	3	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1	5	1	3	3	5	5	1	3	5	4	3	79.00	Traslado de Materia Prima	MEDIA
Acople flexible de molino 4	5	5	1	2	2	3	2	2	1	1	1	5	1	5	3	2	5	1	3	5	5	1	82.50	Proceso de Molienda	MEDIA
Molino 6	5	4	1	2	3	1	2	2	1	1	1	4	1	2	5	3	3	1	3	4	4	1	93.75	Proceso de Molienda	ALTA
Tanque de maceración del molino 6	2	1	1	2	1	1	2	2	1	1	1	5	1	5	1	2	2	1	3	5	4	5	53.50	Traslado de Materia Prima	BAJA
Transmisor de presión cabezote molino 6 lado calderas	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	4	1	5	1	1	1	1	3	5	5	5	49.50	Instrumentación	BAJA
Transmisor de presión cabezote molino 6 lado turbos	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	4	1	5	1	1	1	1	3	5	5	5	49.50	Instrumentación	BAJA
Sistema planetario de molino 6	5	5	1	1	3	1	2	2	1	1	1	4	1	4	4	5	5	1	2	5	4	1	95.00	Proceso de Molienda	ALTA
Sistema de lubricación de sistema planetario de molino 6	4	1	3	1	2	1	2	1	2	1	1	5	1	5	2	1	1	1	3	5	4	4	58.75	Lubricación	BAJA
Bomba de sistema de lubricación molino 6	3	1	3	2	2	1	2	1	1	1	1	5	1	4	1	1	1	1	3	5	5	4	53.50	Lubricación	BAJA
Transmisor de temperatura de aceite del planetario 6	2	1	1	2	1	1	2	1	2	1	1	5	1	5	1	1	1	2	3	5	5	5	46.25	Instrumentación	BAJA
Transmisor de presión bomba planetario molino 6	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	5	1	5	1	1	1	2	3	5	5	5	46.75	Instrumentación	BAJA

Bomba de maceración de molino 6 a 4	3	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1	5	1	3	3	5	5	1	3	5	4	3	79.00	Traslado de Materia Prima	MEDIA
Acople flexible de molino 6	5	5	1	2	2	3	2	2	1	1	1	5	1	5	3	2	5	1	3	5	5	1	82.50	Proceso de Molienda	MEDIA
Grúa puente 1 de molinos	3	3	1	2	3	3	3	2	1	5	2	5	2	5	3	5	5	1	3	5	5	1	75.00	Grúa	MEDIA
Grúa puente 2 de molinos	3	3	1	2	3	3	3	2	1	5	2	5	1	5	3	5	5	1	3	5	5	1	77.00	Grúa	MEDIA
Filtro rotativo	1	1	1	2	1	1	2	1	2	1	1	3	1	4	3	1	1	2	3	4	4	3	64.50	Filtrado	MEDIA
Sinfín de bagacillo de filtro rotativo	1	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1	2	1	4	3	5	5	1	3	4	4	3	85.50	Filtrado	MEDIA
Reductor de sinfín de bagacillo	4	1	2	2	2	1	2	2	2	1	1	4	1	5	3	1	1	1	3	5	4	3	60.75	Filtrado	BAJA
Reductor de filtro rotativo	4	1	3	2	2	1	2	2	2	1	1	5	1	4	3	1	1	1	3	5	5	4	56.75	Filtrado	BAJA
Tanque de jugo mezclado a fábrica	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	3	1	5	1	1	1	3	3	4	4	4	56.50	Filtrado	BAJA
Bomba 2 de jugo mezclado a fabrica	3	3	1	2	2	1	2	1	1	1	1	3	1	4	3	2	3	1	3	5	5	4	71.75	Filtrado	MEDIA
Bomba 1 de jugo mezclado a fabrica	3	3	1	2	2	1	2	1	1	1	1	3	2	4	3	1	1	1	3	5	5	4	63.75	Filtrado	MEDIA
Nivel tanque pulmón de molinos	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	5	1	5	1	1	1	1	3	5	4	4	53.50	Instrumentación	BAJA
Flujo jugo mezclado																							0	Filtrado	BAJA

Tanque de imbibición para molinos	2	1	1	2	1	1	2	1	2	1	1	5	1	5	1	1	1	1	3	5	5	5	47.00	Proceso de Molienda	BAJA
Transmisor de temperatura de agua de imbibición	2	1	1	2	1	1	2	1	2	1	1	5	1	5	1	1	1	1	3	5	5	5	47.00	Instrumentación	BAJA
Bomba 2 de imbibición molinos	3	1	3	2	2	1	2	1	1	1	1	5	1	4	3	1	1	1	3	5	5	4	56.50	Proceso de Molienda	BAJA
Bomba 1 de imbibición molinos	3	1	3	2	2	1	2	1	1	1	1	5	2	4	3	1	1	1	3	5	5	4	54.50	Proceso de Molienda	BAJA
Nivel tanque de imbibición	2	1	1	2	1	1	2	1	2	1	1	5	1	5	1	1	1	1	3	5	5	5	47.00	Instrumentación	BAJA
Temperatura agua de imbibición	2	1	1	2	1	1	2	1	2	1	1	5	1	5	1	1	1	1	3	5	5	5	47.00	Instrumentación	BAJA
Válvula agua fresca tanque imbibición	1	1	1	2	2	1	2	1	1	1	1	5	1	5	1	1	1	1	3	5	5	5	49.00	Proceso de Molienda	BAJA
Válvula de control agua imbibición	1	1	1	2	2	1	2	1	1	1	1	5	1	5	1	1	1	1	3	5	5	5	49.00	Proceso de Molienda	BAJA
Válvula agua condensada de tanque imbibición	1	1	1	2	2	1	2	1	1	1	1	5	1	5	1	1	1	1	3	5	5	5	49.00	Proceso de Molienda	BAJA
Válvula agua filtros a tanque imbibición	1	1	1	2	2	1	3	1	1	1	1	5	1	5	1	1	1	1	3	5	5	5	47.50	Proceso de Molienda	BAJA
Transmisor de flujo de agua imbibición	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	5	1	5	1	1	1	1	3	5	5	5	47.50	Instrumentación	BAJA
Sistema de lubricación de chumaceras de molinos	4	1	3	2	3	1	2	1	1	1	1	5	1	4	3	5	5	1	3	5	4	4	76.00	Lubricación	MEDIA
Sistema de lubricación de coronas molinos	4	5	1	2	3	1	2	1	1	1	1	5	1	4	3	1	1	1	3	5	4	4	67.50	Lubricación	MEDIA

Bomba 1 de asepsia	3	1	4	2	2	1	2	1	1	1	1	5	2	5	2	1	1	1	3	5	4	5	51.00	Limpieza	BAJA
Transmisor de flujo molinos asepsia	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	5	1	5	1	1	1	1	3	5	5	5	47.50	Instrumentación	BAJA
Edificación molinos	1	1	1	2	1	1	3	4	5	5	1	5	1	5	5	1	1	1	3	5	5	3	57.75	Edificación	BAJA
Instrumentos transmisores de temperatura de Molinos	2	1	1	2	1	1	2	1	2	1	1	5	1	5	2	2	2	2	3	5	5	5	52.25	Instrumentación	BAJA
Instrumentos transmisores de presión de Molinos	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	5	1	5	2	2	2	2	3	5	5	5	52.75	Instrumentación	BAJA
Instrumentos transmisores de nivel de Molinos	2	1	1	2	1	1	2	1	2	1	1	5	1	5	2	2	2	2	3	5	5	5	52.25	Instrumentación	BAJA
Intercambiador de Calor Planetario 1	1	1	1	1	3	1	2	2	2	1	1	4	1	4	3	5	5	1	3	5	4	4	84.25	Intercambio de Calor	MEDIA
Intercambiador de Calor Planetario 2	1	1	1	1	3	1	2	2	2	1	1	4	1	4	3	5	5	1	3	5	4	4	84.25	Intercambio de Calor	MEDIA
Intercambiador de Calor Planetario 3	1	1	1	1	3	1	2	2	2	1	1	4	1	4	3	5	5	1	3	5	4	4	84.25	Intercambio de Calor	MEDIA
Intercambiador de Calor Planetario 4	1	1	1	1	3	1	2	2	2	1	1	4	1	4	3	5	5	1	3	5	4	4	84.25	Intercambio de Calor	MEDIA
Intercambiador de Calor Planetario 6	1	1	1	1	3	1	2	2	2	1	1	4	1	4	3	5	5	1	3	5	4	4	84.25	Intercambio de Calor	MEDIA

Equipos con mayor criticidad

A continuación, en la Tabla 2. 9 se muestra la lista de sistemas y equipos que presenta mayor criticidad en el área de molinos de un ingenio azucarero.

Tabla 2. 9. Listado de sistemas y equipos que se encuentran en el mayor rango de criticidad.

Sistemas y equipos	Promedio de CRITICIDAD
Sistema planetario de molino 1	99.0
Sistema planetario de molino 6	99.0
Sistema planetario de molino 4	99.0
Sistema planetario de molino 2	99.0
Sistema planetario de molino 3	99.0
Molino 1	97.8
Molino 6	97.8
Molino 4	95.8
Molino 2	95.8
Molino 3	95.8
Conductor intermedio molinos 1 y 2	90.3
Conductor intermedio molinos 4 y 6	90.3
Conductor intermedio molinos 2 y 3	90.3
Conductor intermedio molinos 3 y 4	90.3
Reductor de conductor intermedio molinos 1 y 2	89.3
Reductor de conductor intermedio molinos 4 y 6	89.3
Reductor de conductor intermedio molinos 2 y 3	89.3
Reductor de conductor intermedio molinos 3 y 4	89.3

3. PROPUESTAS DE MEJORA

3.1. TIPO DE MANTENIMIENTO A EQUIPOS CRÍTICOS.

A la hora de implementar un sistema de mantenimiento es necesario seguir una serie de pasos que nos ayudarán a lograr el éxito, tanto a la hora de la implementación como para lograr que el sistema siga manteniéndose de forma efectiva con el paso del tiempo. (Partida, 2020)

1. Definir objetivos.

Antes de implementar un sistema de mantenimiento es imprescindible definir claramente los objetivos a alcanzar y tener en cuenta varios factores que influyen:

- ¿Qué se pretende?
- ¿Qué queremos lograr u obtener con nuestro sistema?
- ¿Qué recursos hay disponibles? Propios y externos.
- ¿Qué proveedores tenemos y cuál va a ser nuestra relación con ellos?
- ¿Podemos invertir dinero o debemos comenzar con los recursos que tenemos?
- ¿Quién va a ser nuestro cliente? Tanto interno o externo. Y establecer qué tipo de relación queremos tener con ellos.

2. Conocer el proceso productivo.

No podemos implementar un sistema si no conocemos las características del sistema productivo. Es necesario analizar y determinar las relaciones y las colaboraciones necesarias para evitar interferencias.

3. Analizar la criticidad.

En función de la criticidad de los equipos o de los procesos será necesario implementar diferentes niveles de mantenimiento.

- Criticidad del equipo de cara a una parada de producción.
- Coste de reparación o de sustitución del equipo.
- Accesibilidad para la reparación o el mantenimiento del equipo.
- Plazo de entrega de los repuestos en caso de avería o reparación.

4. Elaboración de los planes de mantenimiento.

Una vez analizada la criticidad, se procederá establecer el plan de mantenimiento de cada equipo, reuniendo tareas similares en rutas a fin de optimizar tiempos. Hemos de determinar qué tareas se van a hacer, cómo se van a hacer y quién las va a hacer (una persona, un equipo de trabajo o un departamento determinado, o bien si el trabajo va a ser realizado por la propia empresa o por una empresa externa).

5. Documentación y repuestos.

Es necesario identificar la documentación y los repuestos necesarios para realizar las tareas de mantenimiento. Es aconsejable utilizar un sistema de codificación para facilitar su gestión.

Dentro de la documentación habrá que disponer de planos, despieces y manuales para realizar un correcto mantenimiento en el menor tiempo disponible.

En cuanto a los repuestos, la criticidad nos habrá marcado la necesidad de disponer de equipos completos o de repuestos para la reparación, así como los consumibles necesarios.

6. Seguridad, Calidad, Medioambiente, Compras.

No podemos olvidarnos de las áreas relacionadas con el mantenimiento:

- Seguridad: ha de estar presente siempre a la hora de realizar cualquier tarea de mantenimiento y ha de transmitirse su importancia entre los operarios.
- Calidad: hay que determinar los niveles de calidad que exigimos en nuestros trabajos y establecer procedimientos de actuación.
- Medioambiente: inevitablemente se van a generar residuos, hay que planificar la gestión adecuada de los mismos.
- Compras: Establecer procedimientos y llegar a acuerdos de suministro con los proveedores.

7. Formación e información.

Es necesaria e imprescindible la formación del personal que va a realizar las tareas de mantenimiento. Complementado con información, puesto que tan importante es saber qué se va a hacer y cómo se va a hacer, como el por qué se va a hacer una tarea y el impacto en el proceso

8. Implementación.

A la hora de la implementación se han de establecer las etapas a seguir, las métricas y los KPI's adecuados para realizar el seguimiento. También hay que definir, en todos los niveles, la responsabilidad de cada persona.

9. Seguimiento y mejora continua (Kaizen).

Realizar el seguimiento del sistema al término de la implementación, es imprescindible para que el sistema se mantenga en el tiempo de forma eficiente. Muchos sistemas fracasan por no realizar un seguimiento del mismo.

Además, el seguimiento nos permitirá mantener el sistema vivo gracias a la mejora continua. Con el paso del tiempo se irá viendo si las medidas implementadas han sido adecuadas o si es necesario hacer modificaciones. Por otra parte, se pueden producir cambios tanto en el proceso productivo como en los equipos, bien por cambio o por actualización de los mismos, lo que provocará la actualización del sistema y una mejora continua.

Una correcta implementación del sistema de mantenimiento nos permitirá lograr una mayor rentabilidad, una optimización de tiempos y tareas, una mejor relación y colaboración entre departamentos y una adecuada gestión documental, de repuestos y de compras.

3.1.1. SELECCIÓN DEL MODELO DE MANTENIMIENTO. (Garrido, 2003)

Un modelo de mantenimiento es una mezcla de los tipos de mantenimiento en unas proporciones determinadas, y que responde adecuadamente a las necesidades de un equipo concreto. Podemos pensar que cada equipo

necesitará una mezcla distinta de los diferentes tipos de mantenimiento, una mezcla determinada de tareas, de manera que los modelos de mantenimiento posibles serán tantos como equipos puedan existir. Pero esto no es del todo correcto. Pueden identificarse claramente 4 de estas mezclas, complementadas con otros dos tipos de tareas adicionales.

Modelo correctivo

Este modelo es el más básico, e incluye, además de las inspecciones visuales y la lubricación mencionadas anteriormente, la reparación de averías que surjan. Es aplicable, como veremos, a equipos con el más bajo nivel de criticidad, cuyas averías no suponen ningún problema, ni económico ni técnico. En este tipo de equipos no es rentable dedicar mayores recursos ni esfuerzos.

- Inspecciones visuales.
- Lubricación.
- Reparación de averías.

Modelo Condicional

Incluye las actividades del modelo correctivo y, además, la realización de una serie de pruebas o ensayos que condicionarán una actuación posterior. Si tras las pruebas descubrimos una anomalía, programaremos una intervención; si, por el contrario, todo es correcto, no actuaremos sobre el equipo.

Este modelo de mantenimiento es válido en aquellos equipos de poco uso, o equipos que a pesar de ser importantes en el sistema productivo su probabilidad de fallo es baja.

- Inspecciones visuales.

- Lubricación.
- Mantenimiento Condicional.
- Reparación de averías.

Modelo Sistemático

Este modelo incluye un conjunto de tareas sin tomar en cuenta cuál es la condición del equipo; además, se debe realizar algunas mediciones y pruebas para decidir la realización de otras tareas de mayor envergadura; y, por último, resolver las averías que surjan. Es un modelo de gran aplicación en equipos de disponibilidad media, de cierta importancia en el sistema productivo y cuyas averías causan algunos trastornos. Es importante señalar que un equipo sujeto a un modelo de mantenimiento sistemático no tiene por qué tener todas sus tareas con una periodicidad fija. Simplemente, un equipo con este modelo de mantenimiento puede tener tareas sistemáticas, que se realicen sin importar el tiempo que lleva funcionando o el estado de los elementos sobre los que se trabaja. Es la principal diferencia con los dos modelos anteriores (Correctivo y condicional), en los que para realizar una tarea debe presentarse algún síntoma de fallo.

- Inspecciones visuales.
- Lubricación.
- Mantenimiento Preventivo Sistemático.
- Mantenimiento Condicional.
- Reparación de averías.

Modelo de Alta Disponibilidad

Es el modelo más exigente y exhaustivo de todos. Se aplica en aquellos equipos que bajo ningún concepto pueden sufrir una avería o un mal funcionamiento. Son equipos a los que se exige, además, unos niveles de disponibilidad altísimos, por encima del 90%.

La razón de un nivel tan alto de disponibilidad es, en general, el alto coste en producción que tiene una avería. Con una exigencia tan alta no hay tiempo para el mantenimiento que requiera parada del equipo (correctivo, preventivo sistemático). Para mantener estos equipos es necesario emplear técnicas de mantenimiento predictivo, que nos permitan conocer el estado del equipo con él en marcha, y a paradas programadas, que supondrán una revisión general completa, con una frecuencia generalmente anual o superior. En esta revisión se sustituyen, en general, todas aquellas piezas sometidas a desgaste o con probabilidad de fallo a lo largo del año (piezas con una vida inferior a dos años). Estas revisiones se preparan con gran antelación, y no tiene por qué ser exactamente iguales año tras año.

En este modelo no se incluye el mantenimiento correctivo, es decir, el objetivo que se busca en este equipo es cero averías, en general no hay tiempo para subsanar convenientemente las incidencias que ocurren, siendo conveniente en muchos casos realizar reparaciones rápidas provisionales que permitan mantener el equipo en marcha hasta la próxima revisión general. Por tanto, la puesta a cero anual debe incluir la resolución de todas aquellas reparaciones provisionales que hayan tenido que efectuarse a lo largo del año.

- Inspecciones visuales.
- Lubricación.
- Reparación de averías.
- Mantenimiento Condicional.
- Mantenimiento Sistemático.
- Puesta a cero periódica, en fecha determinada (Parada).

Tareas recomendadas de acuerdo al tipo de Mantenimiento.

Es necesario, describir algunas tareas estándar. Algunas de estas tareas corresponden a modelos de Mantenimiento Condicional; otras, a Modelos Sistemáticos, y otras, por último, a Modelos de Alta Disponibilidad (véase Tabla 3.1). A la hora de preparar el Plan de Mantenimiento habrá que tener en cuenta, pues, el tipo de equipo, los sistemas que lo componen y el modelo de mantenimiento aplicable.

Como apoyo a la planificación del mantenimiento, se desarrolló una hoja de cálculo en Excel en el que se incluyen las tareas de mantenimiento y el modelo aplicable de acuerdo a los criterios; una captura de pantalla puede verse en el anexo C.

Tabla 3. 1. Descripción de tareas de Mantenimiento, (Garrido, Organización y Gestión Integral de Mantenimiento, 2003).

SISTEMA	PERIODICIDAD	DESCRIPCIÓN DE TAREA	Modelo de Mantenimiento			
Seguridad	Anual	Comprobar que al pulsar cada una de las setas de emergencia la máquina se bloquea.	Correctivo	Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad
Seguridad	Anual	Comprobar fijación de rejillas y protecciones.	Correctivo	Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad
Seguridad	Anual	Comprobar funcionamiento de las rejillas y protecciones móviles.	Correctivo	Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad
Seguridad	Anual	Comprobar funcionamiento de sensores ópticos de presencia.	Correctivo	Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad
Seguridad	Anual	Comprobar funcionamiento de extractores y ventiladores.	Correctivo	Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad
Seguridad	Anual	Comprobar funcionamiento de interruptor general.	Correctivo	Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad
Seguridad	Anual	Comprobar funcionamiento de alarmas ópticas y acústicas.	Correctivo	Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad

Seguridad	Anual	Comprobar funcionamiento de sensores de cierre de puertas y rejillas.	Correctivo	Condiciona	Sistemático	Alta Disponibilidad
Seguridad	Anual	Comprobar el disparo de cada una de las seguridades. Comprobar que al cumplirse las condiciones de disparo el equipo efectivamente se detiene	Correctivo	Condiciona	Sistemático	Alta Disponibilidad
Mecánico	Diaria	Comprobación de ruidos anómalos en piezas móviles indicando donde se detectan).	Correctivo	Condiciona	Sistemático	Alta Disponibilidad
Mecánico	Diaria	Toma de datos de temperaturas en cojinetes y rodamientos.	Correctivo	Condiciona	Sistemático	Alta Disponibilidad
Mecánico	Diaria	Comprobación de ausencia de vibraciones extrañas en piezas móviles (indicar dónde, si se detectan).	Correctivo	Condiciona	Sistemático	Alta Disponibilidad
Mecánico	Diaria	Comprobar ausencia de defectos en la producción.	Correctivo	Condiciona	Sistemático	Alta Disponibilidad
Mecánico	Diaria	Medición de temperaturas en cojinetes y rodamientos.		Condiciona	Sistemático	Alta Disponibilidad
Mecánico	Diaria	Comprobación del ciclo de funcionamiento del equipo.		Condiciona	Sistemático	Alta Disponibilidad
Mecánico	Diaria	Limpieza de la zona.			Sistemático	Alta Disponibilidad
Mecánico	Mensual	Comprobación de la sujeción de motores.	Correctivo	Condiciona	Sistemático	Alta Disponibilidad
Mecánico	Mensual	Comprobar que el ventilador de los motores no roza y está en buen estado.	Correctivo	Condiciona	Sistemático	Alta Disponibilidad

Mecánico	Mensual	Control de funcionamiento y reposición de niveles en central de engrase.	Correctivo	Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad
Mecánico	Mensual	Comprobar y reponer niveles en reductores (Cambiar el aceite si fuese necesario, observando si el aceite usado presenta olor o color extraños. Buscar partículas extrañas en el aceite sustituido).	Correctivo	Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad
Mecánico	Mensual	Engrase de rodamientos y cadenas.	Correctivo	Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad
Mecánico	Mensual	Comprobar el estado de válvulas, bridas y absorbedores de dilataciones (Buscar posibles fugas o fallos de funcionamiento).	Correctivo	Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad
Mecánico	Mensual	Comprobar estado general y limpieza de la máquina.		Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad
Mecánico	Mensual	Control del estado de piñones y cremalleras (Buscar holguras y dientes dañados. Engrasar si es necesario).		Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad
Mecánico	Mensual	Control del estado de rodamientos y soportes (Buscar ruidos y holguras anómalas. Engrasar si es necesario).		Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad
Mecánico	Mensual	Comprobar el estado de ejes, cadenas, mallas y correas (engrasar, sustituir o tensar según necesidad).		Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad
Mecánico	Mensual	Comprobar el estado de líneas de tuberías propios o cercanos a la máquina. Incidir especialmente en aquellas cuya rotura o fuga pueda producir averías.		Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad

Mecánico	Mensual	Medición de consumo de corriente de motores (comparar con el nominal).		Condiciona	Sistemático	Alta Disponibilidad
Mecánico	Mensual	Cambio de filtros si corresponde (ver diferencial de presión).		Condiciona	Sistemático	Alta Disponibilidad
Mecánico	Mensual	Cambio sistemático de filtros.			Sistemático	Alta Disponibilidad
Mecánico	Mensual	Desmontaje de elementos para limpiezas técnicas específicas.			Sistemático	Alta Disponibilidad
Mecánico	Anual	Revisiones de acuerdo con normativas legales.	Correctivo	Condiciona	Sistemático	Alta Disponibilidad
Mecánico	Anual	Comprobar el estado de acoplamientos.		Condiciona	Sistemático	Alta Disponibilidad
Mecánico	Anual	Ajustes u reglajes en elementos móviles.			Sistemático	Alta Disponibilidad
Mecánico	Anual	Alineamiento de acoplamientos de motores.			Sistemático	Alta Disponibilidad
Mecánico	Anual	Limpiezas interiores de motores.			Sistemático	Alta Disponibilidad
Mecánico	Anual	Reapriete general de todas las partes mecánicas.			Sistemático	Alta Disponibilidad
Mecánico	Anual	Sustitución de todos los elementos sometidos a desgaste como cojinetes, rodamientos, correas y filtros.				Alta Disponibilidad

Neumático	Diaria	Comprobación visual del nivel de aceite en lubricadores	Correctivo	Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad
Neumático	Diaria	Revisión visual de fugas de aire	Correctivo	Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad
Neumático	Diaria	Purgar condensación de filtros		Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad
Neumático	Semanal	Comprobar que el lubricador no está obstruido	Correctivo	Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad
Neumático	Semanal	Puesta a nivel del vaso de la unidad de mantenimiento	Correctivo	Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad
Neumático	Semanal	Revisar y reparar las fugas de aire detectadas	Correctivo	Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad
Neumático	Semanal	Comprobar que el manómetro del regulador de presión funciona perfectamente			Sistemático	Alta Disponibilidad
Neumático	Mensual	Revisiones de acuerdo con normativas legales	Correctivo	Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad
Neumático	Mensual	Comprobar el estado general de fijaciones de cilindros neumáticos	Correctivo	Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad
Neumático	Mensual	Reparación de fugas en cilindros. Cambios en juntas interiores, rascadora y obturadora si es necesario. Cambios de cilindros.		Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad
Neumático	Mensual	Comprobar el estado general de tubos, conexiones y fijaciones		Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad

Neumático	Mensual	Comprobar el desgaste de guías, juntas rascadora y obturadora de los cilindros neumáticos				Alta Disponibilidad
Neumático	Mensual	Limpiar o renovar silenciosos				Alta Disponibilidad
Hidráulico	Diaria	Verificar el nivel de aceite de grupos hidráulicos. Rellenar si es necesario	Correctivo	Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad
Hidráulico	Diaria	Verificar el estado de los filtros (diferencial de presión)	Correctivo	Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad
Hidráulico	Diaria	Comprobar temperatura del aceite	Correctivo	Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad
Hidráulico	Diaria	Comprobar ausencia de fugas	Correctivo	Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad
Hidráulico	Diaria	Comprobar funcionamiento del motor hidráulico		Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad
Hidráulico	Diaria	Comprobar presiones en diferentes puntos del circuito hidráulico		Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad
Hidráulico	Mensual	Reparar fugas detectadas en mantenimiento diario	Correctivo	Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad
Hidráulico	Mensual	Purgar tanque hidráulico (retirar el agua del fondo del depósito abriendo la válvula situada en el punto inferior del depósito)		Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad
Hidráulico	Mensual	Comprobar temperatura de funcionamiento del motor		Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad

Hidráulico	Mensual	Comprobar revoluciones del motor	Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad
Hidráulico	Mensual	Comprobar consumo del motor de la bomba hidráulica	Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad
Hidráulico	Mensual	Limpieza y/o cambio de filtros, si procede	Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad
Hidráulico	Mensual	Toma muestra de aceite para analizar	Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad
Hidráulico	Anual	Cambio de filtros si procede	Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad
Hidráulico	Anual	Comprobación de válvulas de seguridad	Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad
Hidráulico	Anual	Comprobación del estado del acumulador	Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad
Hidráulico	Anual	Reapriete de tornillos de fijación motor-bomba		Sistemático	Alta Disponibilidad
Hidráulico	Anual	Limpieza de refrigeradores por agua, con descalcificadores		Sistemático	Alta Disponibilidad
Hidráulico	Anual	Limpieza del motor (aletas de refrigeración)		Sistemático	Alta Disponibilidad
Hidráulico	Anual	Desmontaje de tapas y ventiladores de motores para limpieza e inspección		Sistemático	Alta Disponibilidad
Hidráulico	Anual	Comprobación de alineamiento de bombas		Sistemático	Alta Disponibilidad

Hidráulico	Anual	Limpieza de válvulas		Sistemático	Alta Disponibilidad
Hidráulico	Anual	Ajuste de válvulas proporcionales		Sistemático	Alta Disponibilidad
Hidráulico	Anual	Cambio de filtros		Sistemático	Alta Disponibilidad
Hidráulico	Anual	Sustitución del aceite hidráulico		Sistemático	Alta Disponibilidad
Hidráulico	Anual	Desmontaje de la bomba. Limpieza interior		Sistemático	Alta Disponibilidad
Hidráulico	Anual	Calibración de manómetros		Sistemático	Alta Disponibilidad
Hidráulico	Anual	Calibración y comprobación de presostatos		Sistemático	Alta Disponibilidad
Hidráulico	Anual	Limpieza del interior del depósito		Sistemático	Alta Disponibilidad
Eléctrico	Mensual	Inspeccionar el cuadro eléctrico, para comprobar que no hay elementos sueltos o en mal estado	Condiciona	Sistemático	Alta Disponibilidad
Eléctrico	Mensual	Inspeccionar visualmente todos los sensores de la máquina, comprobando que funcionan	Condiciona	Sistemático	Alta Disponibilidad
Eléctrico	Mensual	Inspeccionar visualmente cableado	Condiciona	Sistemático	Alta Disponibilidad
Eléctrico	Mensual	Comprobar consumo de motores eléctricos	Condiciona	Sistemático	Alta Disponibilidad

Eléctrico	Mensual	Comprobar el consumo general el equipo	Condicional	Sistemático	Alta Disponibilidad
Eléctrico	Anual	Comprobar que los sensores funcionan adecuadamente		Sistemático	Alta Disponibilidad
Eléctrico	Anual	Comprobar que los sensores están perfectamente colocados y sujetos		Sistemático	Alta Disponibilidad
Eléctrico	Anual	Comprobar arranque estrella-triángulo de los motores		Sistemático	Alta Disponibilidad
Eléctrico	Anual	Limpieza de cuadros eléctricos (aspirado)		Sistemático	Alta Disponibilidad
Eléctrico	Anual	Limpieza de contactos con un limpia-contactos		Sistemático	Alta Disponibilidad
Eléctrico	Anual	Cambio de filtros en cuadros		Sistemático	Alta Disponibilidad
Eléctrico	Anual	Reapriete de tornillos del cuadro.		Sistemático	Alta Disponibilidad
Eléctrico	Anual	Comprobar el buen funcionamiento de las seguridades eléctricas y electrónicas		Sistemático	Alta Disponibilidad
Eléctrico	Anual	Análisis termográfico de cuadros eléctricos			Alta Disponibilidad

Otras consideraciones

En el diseño del Plan de Mantenimiento, deben tenerse en cuenta dos consideraciones muy importantes que afectan a algunos equipos en particular. En primer lugar, algunos equipos están sometidos a normativas legales que regulan su mantenimiento, obligando a que se realicen en ellos determinadas actividades con una frecuencia de intervenciones establecidas.

En segundo lugar, algunas de las actividades de mantenimiento no pueden realizarse con el equipo habitual de mantenimiento (sea propio o contratado) pues se requieren conocimientos y/o medios específicos que solo están en manos del fabricante, distribuidor o de un especialista en el equipo.

Estos dos aspectos deben ser valorados al decidir el modelo de mantenimiento que debe aplicarse a un equipo.

La criticidad del equipo permite decidir sobre el modelo de mantenimiento a aplicar, (véase Figura 3.1) de acuerdo a los siguientes criterios:

Si el equipo resulta ser Crítico, el modelo de mantenimiento será alguno de los tres que corresponden a Mantenimiento Programado. Si el equipo es Importante (mediana criticidad), se vuelve necesario analizar un poco más las consecuencias de una avería. Si el equipo, por último, es Prescindible (Baja criticidad), el modelo que le corresponde será el Modelo Correctivo.

Si el equipo necesita estar en funcionamiento la mayor parte del tiempo (más del 90%), el modelo será el de Alta Disponibilidad. Este modelo es el más caro y completo y es el único que no incluye la reparación de averías, porque se parte de la base de que estas averías no pueden surgir. En la práctica, estas averías ocurren, ya que es imposible controlar todos los aspectos, algunos de

ellos dependientes del azar. Por tanto, debe fijarse como objetivo, aunque no se consiga plenamente.

Si es un equipo del que se precisa una disponibilidad media (por ejemplo, no funciona las 24 horas del día o hay épocas semanas, meses en los que permanece parado), el modelo será el Sistemático. Estarían incluidos aquí aquellos equipos que no funcionan de manera continua, pero que cuando lo hacen deben hacerlo con absoluta fiabilidad.

El tercer caso será aquel que corresponde a equipos cuya posibilidad de fallo es baja, o bien, que la disponibilidad que precisa es muy baja (equipos que se requieren ocasionalmente o, que están duplicados o triplicados). El modelo correspondiente será el Condicional, en el que se realizaran determinadas pruebas funcionales o determinados ensayos, y solo demandan actuar en caso de observar algo anormal en estas pruebas o ensayos. De todos los modelos de mantenimiento programado es el más básico.

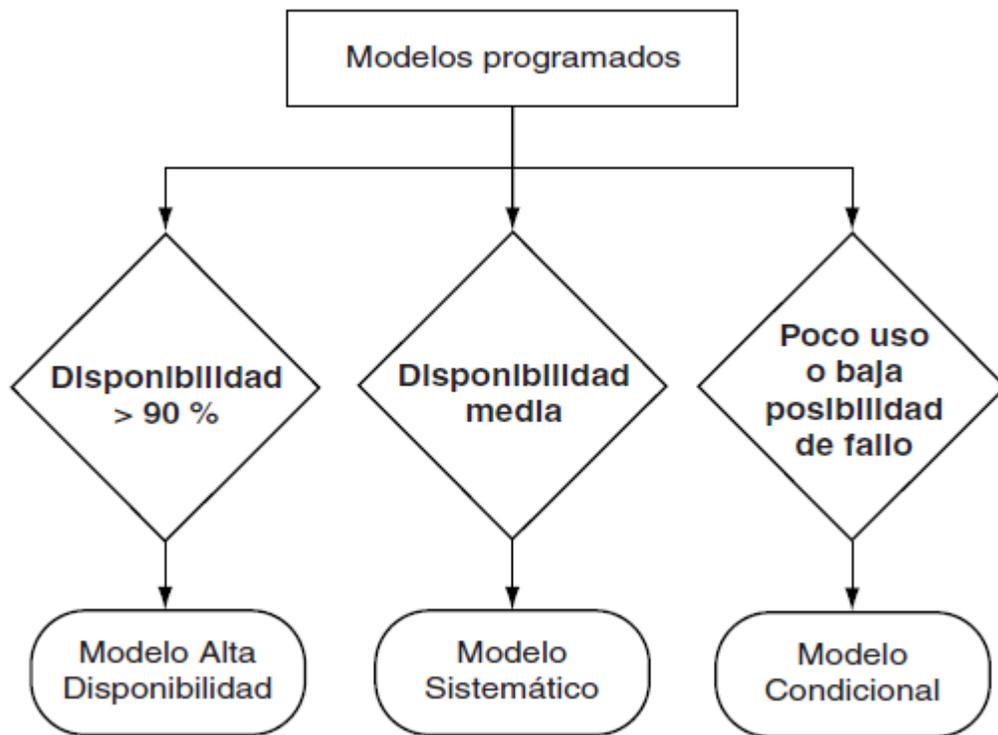


Figura 3. 1. Modelo básico para tipo de mantenimiento a implementar de acuerdo a su disponibilidad (Garrido, 2003)

Además, se deben valorar los aspectos complementarios relativos a normativas legales que sean de aplicación y a la necesidad de contratar tareas de mantenimiento a fabricantes o especialistas, tal como se muestra en la Figura 3.2

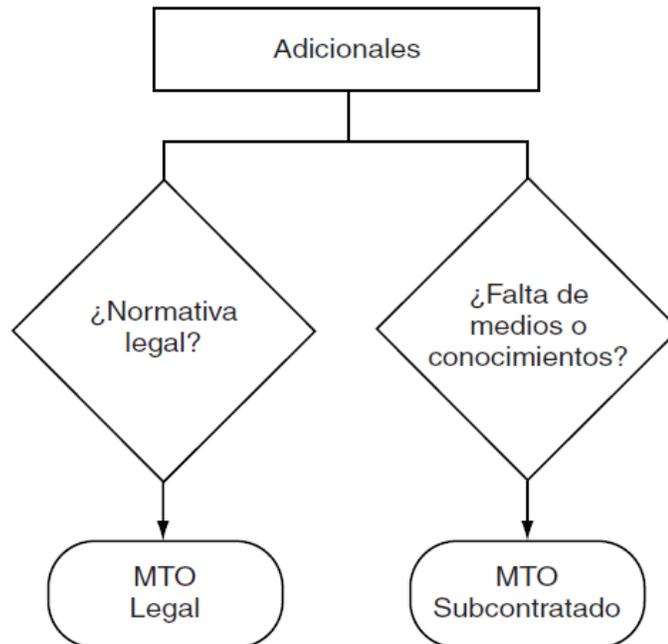


Figura 3. 2. Modelo básico (adicional), para tipo de mantenimiento a implementar de acuerdo a su disponibilidad. (Garrido, 2003)

Una vez decidido cuál de los 4 modelos anteriores le corresponde a cada equipo, deben identificarse aquellos equipos sometidos a normativas reguladoras de la Administración, que exige que se realicen determinadas tareas con una periodicidad definida. Junto al modelo correspondiente, se añade ese mantenimiento legal. Lo mismo sucederá con el mantenimiento subcontratado al fabricante: al identificar equipos para los que no se posee la formación suficiente o los medios técnicos suficientes, se añade al modelo los subcontratos necesarios, que pueden suponer subcontratar el mantenimiento preventivo, el correctivo, un servicio de inspecciones periódicas o una puesta a cero.

A continuación, en la Tabla 3.2 se presenta la lista con la maquinaria y equipo ubicados en el área de molinos en un ingenio azucarero con la asignación de un modelo de mantenimiento de acuerdo a como lo plantea Garrido en su libro Organización y Gestión Integral del mantenimiento. (Garrido, 2003)

Tabla 3. 2. Asignación de un Modelo de Mantenimiento para la Maquinaria y equipos de un ingenio azucarero.

MÁQUINA POR FUNCIÓN	Sistema perteneciente	Nivel de Criticidad	Modelo de Mantenimiento
Torre de enfriamiento de molinos	Intercambio de Calor	MEDIA	Sistemático
Ventilador de torre de enfriamiento molinos	Intercambio de Calor	MEDIA	Sistemático
Reductor de ventilador de torre de enfriamiento	Intercambio de Calor	MEDIA	Sistemático
Bomba respaldo 1 de retorno a torre de enfriamiento molinos	Intercambio de Calor	MEDIA	Sistemático
Bomba titular de retorno a torre de enfriamiento molinos	Intercambio de Calor	BAJA	Condicional
Tanque de agua de chumaceras	Intercambio de Calor	BAJA	Condicional
Bomba titular de tanque de agua de chumaceras	Intercambio de Calor	BAJA	Condicional
Bomba respaldo1 de tanque de agua de chumaceras	Intercambio de Calor	BAJA	Condicional
Lubricación general	Intercambio de Calor	MEDIA	Sistemático
Transmisor de nivel desplazamiento molino 1	Instrumentación	BAJA	Condicional

Bomba 2 de asepsia	Limpieza	BAJA	Condicional
Bomba 1 chiller robicon	Intercambio de Calor	BAJA	Condicional
Sistema de presurización de cabezotes	Proceso de Molienda	MEDIA	Sistemático
Bomba de sistema hidráulico cabezotes	Proceso de Molienda	MEDIA	Sistemático
Molino 1	Proceso de Molienda	ALTA	Alta Disponibilidad
Conductor intermedio molinos 1 y 2	Traslado de Materia Prima	ALTA	Alta Disponibilidad
Reductor de conductor intermedio molinos 1 y 2	Traslado de Materia Prima	ALTA	Alta Disponibilidad
Transmisor de flotación de masa superior de molino 1 lado turbos	Instrumentación	BAJA	Condicional
Transmisor de flotación de masa superior de molino 1 lado calderas	Instrumentación	BAJA	Condicional
Transmisor de presión cabezote molino 1 lado calderas	Instrumentación	BAJA	Condicional
Transmisor de presión cabezote molino 1 lado turbos	Instrumentación	BAJA	Condicional
Sistema planetario de molino 1	Proceso de Molienda	ALTA	Alta Disponibilidad
Sistema de lubricación de sistema planetario de molino 1	Lubricación	BAJA	Condicional
Transmisor de temperatura de aceite del planetario 1	Instrumentación	BAJA	Condicional
Transmisor de presión bomba planetario molino 1	Instrumentación	MEDIA	Sistemático
Bomba de sistema de lubricación molino 1	Lubricación	BAJA	Condicional

Motor de molino 1	Proceso de Molienda	MEDIA	Sistemático
Motor de ventilador molino 1	Proceso de Molienda	MEDIA	Sistemático
Bomba 2 de jugo mezclado a filtro rotativo	Filtrado	MEDIA	Sistemático
Bomba 1 de jugo mezclado a filtro rotativo	Filtrado	MEDIA	Sistemático
Acople flexible de molino 1	Proceso de Molienda	MEDIA	Sistemático
Tanque de jugo mezclado a filtro rotativo	Filtrado	BAJA	Condicional
Válvula on/off protección jugo mezclado	Filtrado	BAJA	Condicional
Transmisor de nivel tanque jugo a filtro	Instrumentación	BAJA	Condicional
Nivel tanque jugo mezclado	Instrumentación	BAJA	Condicional
Transmisor de desplazamiento molino 1 lado caldera	Instrumentación	BAJA	Condicional
Molino 2	Proceso de Molienda	ALTA	Alta Disponibilidad
Conductor intermedio molinos 2 y 3	Traslado de Materia Prima	ALTA	Alta Disponibilidad
Reductor de conductor intermedio molinos 2 y 3	Traslado de Materia Prima	ALTA	Alta Disponibilidad
Transmisor de presión cabezote molino 2 lado calderas	Instrumentación	BAJA	Condicional
Transmisor de presión cabezote molino 2 lado turbos	Instrumentación	BAJA	Condicional
Sistema planetario de molino 2	Proceso de Molienda	ALTA	Alta Disponibilidad

Sistema de lubricación de sistema planetario de molino 2	Proceso de Molienda	BAJA	Condicional
Transmisor de temperatura de aceite del planetario 2	Instrumentación	BAJA	Condicional
Transmisor de presión bomba planetario molino 2	Instrumentación	BAJA	Condicional
Bomba de sistema de lubricación molino 2	Lubricación	BAJA	Condicional
Acople flexible de molino 2	Proceso de Molienda	MEDIA	Sistemático
Molino 3	Proceso de Molienda	ALTA	Alta Disponibilidad
Conductor intermedio molinos 3 y 4	Traslado de Materia Prima	ALTA	Alta Disponibilidad
Reductor de conductor intermedio molinos 3 y 4	Traslado de Materia Prima	ALTA	Alta Disponibilidad
Transmisor de presión cabezote molino 3 lado calderas	Instrumentación	BAJA	Condicional
Transmisor de presión cabezote molino 3 lado turbos	Instrumentación	BAJA	Condicional
Sistema planetario de molino 3	Proceso de Molienda	ALTA	Alta Disponibilidad
Sistema de lubricación de sistema planetario de molino 3	Lubricación	BAJA	Condicional
Bomba de sistema de lubricación molino 3	Lubricación	BAJA	Condicional
Transmisor de temperatura de aceite del planetario 3	Instrumentación	BAJA	Condicional
Transmisor de presión bomba planetario molino 3	Instrumentación	BAJA	Condicional
Bomba de maceración de molino 3 a 2	Traslado de Materia Prima	MEDIA	Sistemático

Acople flexible de molino 3	Proceso de Molienda	MEDIA	Sistemático
Tanque de maceración del molino 3	Traslado de Materia Prima	BAJA	Condicional
Molino 4	Proceso de Molienda	ALTA	Alta Disponibilidad
Conductor intermedio molinos 4 y 6	Traslado de Materia Prima	ALTA	Alta Disponibilidad
Reductor de conductor intermedio molinos 4 y 6	Traslado de Materia Prima	ALTA	Alta Disponibilidad
Tanque de maceración del molino 4	Traslado de Materia Prima	BAJA	Condicional
Transmisor de presión cabezote molino 4 lado calderas	Instrumentación	BAJA	Condicional
Transmisor de presión cabezote molino 4 lado turbos	Instrumentación	BAJA	Condicional
Sistema planetario de molino 4	Proceso de Molienda	ALTA	Alta Disponibilidad
Sistema de lubricación de sistema planetario de molino 4	Proceso de Molienda	BAJA	Condicional
Bomba de sistema de lubricación molino 4	Lubricación	BAJA	Condicional
Transmisor de temperatura de aceite del planetario 4	Instrumentación	BAJA	Condicional
Transmisor de presión bomba planetario molino 4	Instrumentación	BAJA	Condicional
Bomba de maceración de molino 4 a 3	Traslado de Materia Prima	MEDIA	Sistemático
Acople flexible de molino 4	Proceso de Molienda	MEDIA	Sistemático
Molino 6	Proceso de Molienda	ALTA	Alta Disponibilidad
Tanque de maceración del molino 6	Traslado de Materia Prima	BAJA	Condicional

Transmisor de presión cabezote molino 6 lado calderas	Instrumentación	BAJA	Condicional
Transmisor de presión cabezote molino 6 lado turbos	Instrumentación	BAJA	Condicional
Sistema planetario de molino 6	Proceso de Molienda	ALTA	Alta Disponibilidad
Sistema de lubricación de sistema planetario de molino 6	Lubricación	BAJA	Condicional
Bomba de sistema de lubricación molino 6	Lubricación	BAJA	Condicional
Transmisor de temperatura de aceite del planetario 6	Instrumentación	BAJA	Condicional
Transmisor de presión bomba planetario molino 6	Instrumentación	BAJA	Condicional
Bomba de maceración de molino 6 a 4	Traslado de Materia Prima	MEDIA	Sistemático
Acople flexible de molino 6	Proceso de Molienda	MEDIA	Sistemático
Grúa puente 1 de molinos	Grúa	MEDIA	Sistemático
Grúa puente 2 de molinos	Grúa	MEDIA	Sistemático
Filtro rotativo	Filtrado	MEDIA	Sistemático
Sinfín de bagacillo de filtro rotativo	Filtrado	MEDIA	Sistemático
Reductor de sinfín de bagacillo	Filtrado	BAJA	Condicional
Reductor de filtro rotativo	Filtrado	BAJA	Condicional
Tanque de jugo mezclado a fábrica	Filtrado	BAJA	Condicional
Bomba 2 de jugo mezclado a fabrica	Filtrado	MEDIA	Sistemático

Bomba 1 de jugo mezclado a fabrica	Filtrado	MEDIA	Sistemático
Nivel tanque pulmón de molinos	Instrumentación	BAJA	Condicional
Flujo jugo mezclado	Filtrado	BAJA	Condicional
Tanque de imbibición para molinos	Proceso de Molienda	BAJA	Condicional
Transmisor de temperatura de agua de imbibición	Instrumentación	BAJA	Condicional
Bomba 2 de imbibición molinos	Proceso de Molienda	BAJA	Condicional
Bomba 1 de imbibición molinos	Proceso de Molienda	BAJA	Condicional
Nivel tanque de imbibición	Instrumentación	BAJA	Condicional
Temperatura agua de imbibición	Instrumentación	BAJA	Condicional
Válvula agua fresca tanque imbibición	Proceso de Molienda	BAJA	Condicional
Válvula de control agua imbibición	Proceso de Molienda	BAJA	Condicional
Válvula agua condensada de tanque imbibición	Proceso de Molienda	BAJA	Condicional
Válvula agua filtros a tanque imbibición	Proceso de Molienda	BAJA	Condicional
Transmisor de flujo de agua imbibición	Instrumentación	BAJA	Condicional
Sistema de lubricación de chumaceras de molinos	Lubricación	MEDIA	Sistemático
Sistema de lubricación de coronas molinos	Lubricación	MEDIA	Sistemático
Bomba 1 de asepsia	Limpieza	BAJA	Condicional
Transmisor de flujo molinos asepsia	Instrumentación	BAJA	Condicional

Edificación molinos	Edificación	BAJA	Condicional
Instrumentos transmisores de temperatura de Molinos	Instrumentación	BAJA	Condicional
Instrumentos transmisores de presión de Molinos	Instrumentación	BAJA	Condicional
Instrumentos transmisores de nivel de Molinos	Instrumentación	BAJA	Condicional
Intercambiador de Calor Planetario 1	Intercambio de Calor	MEDIA	Sistemático
Intercambiador de Calor Planetario 2	Intercambio de Calor	MEDIA	Sistemático
Intercambiador de Calor Planetario 3	Intercambio de Calor	MEDIA	Sistemático
Intercambiador de Calor Planetario 4	Intercambio de Calor	MEDIA	Sistemático
Intercambiador de Calor Planetario 6	Intercambio de Calor	MEDIA	Sistemático

3.2. INDICADORES DE MANTENIMIENTO.

Indicadores de mantenimiento son parámetros cuantitativos de control que permiten determinar el comportamiento y la efectividad del sistema de mantenimiento de un sistema productivo. (Telenchana, 2017)

En lo que se refiere a la actividad de mantenimiento en una empresa industrial, la necesidad de un procedimiento de este tipo es mucho más reconocida. Las características fundamentales que deben cumplir los indicadores de mantenimiento, son las siguientes:

- Pocos, pero suficientes para analizar la gestión.
- Claros de entender y calcular.

- Útiles para conocer rápidamente como van las cosas y por qué.

Es por ello que los indicadores deben:

- Identificar los factores claves del mantenimiento y su afectación a la producción.
- Dar los elementos necesarios que permiten realizar una evaluación profunda de la actividad en cuestión.
- Establecer un registro de datos que permita su cálculo periódico.
- Establecer unos valores plan o consigna que determinen los objetivos a lograr.

A partir de la información cuantitativa provista por los indicadores, se identifican tendencias y se toman decisiones. Los principales indicadores utilizados en la gestión del mantenimiento son:

- Confiabilidad
- Mantenibilidad
- Disponibilidad
- Coste

Confiabilidad: Es la probabilidad de que un objeto o sistema opere bajo condiciones normales durante un periodo de tiempo establecido, el parámetro que identifica la confiabilidad es el Tiempo Medio de Fallas, es decir son lapsos de tiempos entre una falla y otra. (Telenchana, 2017)

Mantenibilidad: Es la probabilidad de que un objeto o sistema sea reparado durante un periodo de tiempo establecido bajo condiciones procedimentales establecidas para ello, siendo su parámetro básico el Tiempo Promedio Fuera de Servicio. (Telenchana, 2017)

Disponibilidad: Es el tiempo que un objeto o sistema permanece funcionando dentro del sistema productivo bajo ciertas condiciones determinadas. Este parámetro es tal vez el más importante dentro de un sistema productivo, ya que de él depende de la planificación del resto de actividades de la organización. (Telenchana, 2017)

Coste: Aunque los costes no parecen en principio un indicador habitual para mantenimiento, nada está más alejado de esa realidad. El coste, junto con la disponibilidad, son los dos parámetros que el responsable de mantenimiento maneja constantemente, y eso es porque la información que le aportan es determinante en su gestión. (Garrido, Renovetec, 2018)

3.2.1. INDICADORES BÁSICOS DE CLASE MUNDIAL EN UNA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

A continuación, en las Tablas 3.3 a 3.11 se presenta el conjunto de indicadores claves a ser considerados dentro de un cuadro integral de mando del área de mantenimiento. (Parra Márquez & Crespo Márquez, Cuadro de Mando Integral e Indicadores básicos de la Gestión del Mantenimiento, 2020).

Indicador de Fiabilidad.

Tabla 3.3. Indicador de Fiabilidad, Tiempo Promedio Operativo.

Indicador:	Fiabilidad; TPO = MTTF		
Descripción:	Es un indicador técnico que mide el tiempo promedio que es capaz de operar un equipo sin interrupciones, es el indicador básico de fiabilidad o continuidad operacional por autonomía.		
Expresión de Cálculo	Variables		
$MTTF = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} TTF_i}{n}$	<i>MTTF</i>	Tiempo Promedio Operativo hasta el Fallo (en inglés “mean time to failure”, en siglas: MTTF). Unidad de medición: (horas, días, meses, etc.).	
	<i>TTF_i</i>	Tiempos Operativos hasta el Fallo	
	<i>n</i>	Número total de fallos en período evaluado	
Periodicidad:	C/ Zafra	Valor de Referencia:	

Tabla 3.4. Indicador de Fiabilidad, Frecuencia de Fallos.

Indicador	Fiabilidad; FF(Frecuencia de Fallos)		
<i>Descripción:</i>	La frecuencia de fallos es igualmente un indicador técnico de fiabilidad que mide el número de fallos que aparecen en el período de evaluación considerado. Unidad de medición: fallos/tiempo (fallos/año, fallos/mes, fallos/semana, fallos/hora).		
<i>Expresión de Cálculo</i>	<i>Variables</i>		
$FF = \frac{1}{MTTF}$	<i>MTTF</i>	Tiempo Promedio Operativo hasta el Fallo (en inglés “mean time to failure”, en siglas: MTTF). Unidad de medición: (horas, días, meses, etc.).	
	<i>FF</i>	Frecuencia de Fallos	
<i>Periodicidad:</i>	C/ Zafra	<i>Valor de Referencia:</i>	

Tabla 3.5. Utilidad de los indicadores MTTF (TPO) y FF. (Parra Márquez & Crespo Márquez, Cuadro de Mando Integral e Indicadores básicos de la Gestión del Mantenimiento, 2020).

Nivel de detalle	Utilidad
Componentes críticos (partes): sello, rodamiento, acople, etc.	Definir planes de mantenimiento
Sistemas/equipos: bomba, intercambiador, horno, etc.	Definir planes de producción
Planta: destilación, generación, etc.	Definir presupuestos generales y asignación de recursos
Los indicadores MTTF y FF representan la Fiabilidad (continuidad operacional y la tasa de aumento o disminución de los fallos)	

Indicador de Mantenibilidad.

Tabla 3.6. Indicador de Mantenibilidad, (Tiempo Promedio Fuera de Servicio).

Indicador	Mantenibilidad; TPFS = MDT		
<i>Descripción:</i>	Es un indicador técnico que mide el tiempo promedio que se tarda en restituir a un componente a unas condiciones adecuadas de operación después de un fallo. Es el indicador más importante de mantenibilidad		
<i>Expresión de Cálculo</i>	<i>Variables</i>		
$MDT = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} DT_i}{n}$	<i>MDT</i>	Tiempo Promedio Fuera de Servicio (TPFS), (en inglés “Mean Down Time”, MDT). Unidad de medición: (horas, días, meses, etc.).	
	<i>DT_i</i>	Tiempos fuera de servicio	
	<i>n</i>	Número total de fallos en período evaluado	
<i>Periodicidad:</i>	C/ Zafra	<i>Valor de Referencia:</i>	

Tabla 3.7. Utilidad del indicador MDT (TPFS). (Parra Márquez & Crespo Márquez, Cuadro de Mando Integral e Indicadores básicos de la Gestión del Mantenimiento, 2020)

Nivel de detalle	Utilidad
Componentes críticos (partes): sello, rodamiento, acople, etc.	Definir el alcance del mantenimiento y el impacto por indisponibilidad por fallos de partes
Sistemas/equipos: bomba, intercambiador, horno, etc.	Definir el alcance del mantenimiento y el impacto por indisponibilidad a nivel de sistemas/equipos.
Planta: destilación, generación, etc.	Definir el alcance de grandes mantenimientos (overhaul) y el impacto por indisponibilidad de planta.
El indicador MDT representa la Mantenibilidad (tiempos de restauración de los eventos que generan indisponibilidad)	

Indicador de Costes

Tabla 3.8. Indicador de Costes, Costes de Indisponibilidad por Fallos.

Indicador	Costes; CIF	
<i>Descripción:</i>	Los costes de indisponibilidad por fallos (CIF) son un indicador que mide el impacto económico ocasionado por los efectos que trae consigo un modo de fallo en un período de tiempo específico.	
<i>Expresión de Cálculo</i>	<i>Variables</i>	
$CIF = FF \times MDT \times (CD + CP)$	<i>CIF</i>	Costes de Indisponibilidad por fallos. Unidad de medición: dinero/tiempo (dólares/año, dólares/mes, etc.)
	<i>FF</i>	Frecuencia de fallos = Fallos/mes, fallos/año, etc.
	<i>MDT</i>	Tiempo Promedio fuera de Servicio = horas/falla
	<i>CD</i>	Costos directos de corrección por fallos por hora = \$/hora (incluye los costes de materiales y mano de obra).
	<i>CP</i>	Costes Penalización por hora = \$/ hora (incluye los costes de oportunidad provocados por los eventos de fallos (paradas de plantas, retrasos

		de producción, productos deteriorados, baja calidad, retrabajo, impacto en seguridad, ambiente, etc.)	
<i>Periodicidad:</i>	C/ Zafra	<i>Valor de Referencia:</i>	

Tabla 3.9. Utilidad del indicador CIF. (Parra Márquez & Crespo Márquez, Cuadro de Mando Integral e Indicadores básicos de la Gestión del Mantenimiento, 2020)

Nivel de detalle	Utilidad
Componentes críticos (partes): sello, rodamiento, acople, etc.	Definir el impacto económico por fallos a niveles de partes
Sistemas/equipos: bomba, intercambiador, horno, etc.	Definir el impacto económico por fallos a nivel de sistemas/equipos
Planta: destilación, generación, etc.	Definir el impacto económico por fallos a nivel de planta.
El indicador CIF representa el impacto económico de los fallos (riesgo económico generado por los eventos de fallos)	

Indicador de Disponibilidad

Tabla 3.10. Indicador de Disponibilidad. (Parra Márquez & Crespo Márquez, Cuadro de Mando Integral e Indicadores básicos de la Gestión del Mantenimiento, 2020)

Indicador	Disponibilidad; D		
<i>Descripción:</i>	Es un indicador técnico que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total que un equipo está en condiciones para cumplir su función requerida.		
<i>Expresión de Cálculo</i>	<i>Variables</i>		
$D = \frac{MTTF}{(MTTF + MDT)} \cdot 100\%$	<i>D</i>	Indicador de disponibilidad. Unidad de medición: % (relación de tiempos operativos y tiempos fuera de servicio).	
	<i>MTTF</i>	Tiempo Promedio Operativo hasta la Falla (en inglés “mean time to failure”, en siglas: MTTF). Unidad de medición: (horas, días, meses, etc.).	
	<i>MDT</i>	Tiempo Promedio Fuera de Servicio (TPFS), (en inglés “Mean Down Time”, MDT). Unidad de medición: (horas, días, meses, etc.).	
<i>Periodicidad:</i>	C/ Zafra	<i>Valor de Referencia:</i>	

Tabla 3.11. Utilidad del indicador D. (Parra Márquez & Crespo Márquez, Cuadro de Mando Integral e Indicadores básicos de la Gestión del Mantenimiento, 2020).

Nivel de detalle	Utilidad
Componentes críticos (partes): sello, rodamiento, acople, etc.	Disponibilidad de partes (no es de mucha utilidad)
Sistemas/equipos: bomba, intercambiador, horno, etc.	Definir planes de producción
Panta: destilación, generación, etc.	Permite a nivel gerencial, evaluar el comportamiento de disponibilidad de toda la planta
El indicador D representa el porcentaje de tiempo disponible de los activos (integra los indicadores de fiabilidad: MTTF y el de mantenibilidad: MDT)	

3.2.2. RESULTADO DE INDICADORES BÁSICOS DE MANTENIMIENTO DE CLASE MUNDIAL.

A continuación, en las tablas 3.12, 3.13 y 3.14 se presentan los datos proporcionados por parte de la gestión para poder calcular los indicadores básicos de mantenimiento de clase mundial a la maquinaria y equipos del área de molino de un ingenio azucarero. Estos fueron calculados utilizando una herramienta de análisis electrónica a partir del Software Excel con tal fin.

Tabla 3.12. Resultados del indicador de fiabilidad para la maquinaria y equipos críticos de un ingenio azucarero.

Sistemas y Equipos, Molinos	Nivel de Críticidad	INDICADOR			
		Fiabilidad			
		Sumatoria de Tiempos Operativos Hasta el Fallo en horas	Número total de Fallos en Período Evaluado	Tiempo Promedio Operativo hasta el Fallo en horas	Frecuencia de Fallos
		TTFi	n	MTTF	FF
Sistema planetario de molino 4	99.0				
Sistema planetario de molino 2	99.0	641.52	1.00	641.52	0.002
Sistema planetario de molino 6	99.0				
Sistema planetario de molino 1	99.0				
Sistema planetario de molino 3	99.0				
Molino 1	97.8				
Molino 6	97.8	614.16	2.00	307.08	0.003
Molino 4	95.8				
Molino 2	95.8	639.60	2.00	319.80	0.003
Molino 3	95.8				
Conductor intermedio molinos 2 y 3	90.3				
Conductor intermedio molinos 1 y 2	90.3				
Conductor intermedio molinos 3 y 4	90.3				
Conductor intermedio molinos 4 y 6	90.3				

Reductor de conductor intermedio molinos 3 y 4	89.3
Reductor de conductor intermedio molinos 1 y 2	89.3
Reductor de conductor intermedio molinos 4 y 6	89.3
Reductor de conductor intermedio molinos 2 y 3	89.3

Tabla 3.13. Resultados del indicador de Mantenibilidad y Disponibilidad para la maquinaria y equipos críticos de un ingenio azucarero.

Sistemas y Equipos, Molinos	Nivel de Criticidad	INDICADOR		
		Mantenibilidad		Disponibilidad
		Sumatoria de Tiempos fuera de Servicio en horas	Tiempo Promedio Fuera de Servicio en horas	Disponibilidad
		DTi	MDT	D
Sistema planetario de molino 4	99.0			
Sistema planetario de molino 2	99.0	7.00	7.00	98.92%
Sistema planetario de molino 6	99.0			
Sistema planetario de molino 1	99.0			
Sistema planetario de molino 3	99.0			

Molino 1	97.8			
Molino 6	97.8	34.42	17.21	94.69%
Molino 4	95.8			
Molino 2	95.8	9.00	4.50	98.61%
Molino 3	95.8			
Conductor intermedio molinos 2 y 3	90.3			
Conductor intermedio molinos 1 y 2	90.3			
Conductor intermedio molinos 3 y 4	90.3			
Conductor intermedio molinos 4 y 6	90.3			
Reductor de conductor intermedio molinos 3 y 4	89.3			
Reductor de conductor intermedio molinos 1 y 2	89.3			
Reductor de conductor intermedio molinos 4 y 6	89.3			
Reductor de conductor intermedio molinos 2 y 3	89.3			

Tabla 3.14. Resultados del indicador de fiabilidad para la maquinaria y equipos críticos de un ingenio azucarero.

Sistemas y Equipos, Molinos	Nivel de Críticidad	INDICADOR						
		Costes						
		Costos de Mano de Obra total en Zafra \$	Costos de Materiales total en Zafra \$	Costos por paro de una hora \$	Tiempo total de paros en Zafra en horas	Costos Directos de Corrección por Fallos por hora \$	Costes Penalización por hora \$	Costes de Indisponibilidad por Fallos (\$/hora)
	CMO	CM	CH	t	CD	CP	CIF	
Sistema planetario de molino 4	99.0			500.00			352.00	
Sistema planetario de molino 2	99.0	262.84	3,986.83	500.00	7.00	607.10	352.00	15.92
Sistema planetario de molino 6	99.0			500.00			352.00	
Sistema planetario de molino 1	99.0			500.00			352.00	
Sistema planetario de molino 3	99.0			500.00			352.00	
Molino 1	97.8			500.00			352.00	
Molino 6	97.8			500.00			352.00	
Molino 4	95.8			500.00			352.00	
Molino 2	95.8	362.84	3,986.83	500.00	9.00	483.30	352.00	18.79
Molino 3	95.8			500.00			352.00	

Conductor intermedio molinos 2 y 3	90.3	4,500.00	352.00
Conductor intermedio molinos 1 y 2	90.3	4,500.00	352.00
Conductor intermedio molinos 3 y 4	90.3	4,500.00	352.00
Conductor intermedio molinos 4 y 6	90.3	4,500.00	352.00
Reductor de conductor intermedio molinos 3 y 4	89.3	4,500.00	352.00
Reductor de conductor intermedio molinos 1 y 2	89.3	4,500.00	352.00
Reductor de conductor intermedio molinos 4 y 6	89.3	4,500.00	352.00
Reductor de conductor intermedio molinos 2 y 3	89.3	4,500.00	352.00

En los resultados que se muestran en las Tablas 3.12, 3.13 y 3.14, se pueden observar espacios sin rellenar, dejando en evidencia que los resultados obtenidos por la evaluación del estado actual concuerdan. Dicha evaluación refleja una menor puntuación en los factores de Gerencia de la información (software de mantenimiento), Manejo de la información sobre equipos y Antecedentes de costos de mantenimiento; el resultado de la baja puntuación de estos factores concluye en la dificultad del manejo de indicadores técnicos de mantenimiento; como consecuencia la escasez de información que permita un continuo análisis para aumentar la eficiencia de la maquinaria y equipos. En esta investigación se desarrolla una propuesta de acciones de mejora que pretenden dar solución a la actual situación del ingenio azucarero.

3.3. ANÁLISIS DE COSTOS DE CICLO DE VIDA

El uso de las técnicas de ACCV se ha incrementado de forma notable debido principalmente al desarrollo de un gran número de metodologías, las cuales proponen métodos para evaluar distintos diseños o vías alternativas de acción, con el objetivo de poder escoger la mejor forma de emplear los recursos humanos y económicos disponibles al momento de desarrollar un sistema de producción. Es importante comentar que los resultados obtenidos de los Análisis de Costes de Ciclo de Vida, alcanzan su máxima efectividad durante el diseño conceptual y preliminar. Una vez que se ha completado el diseño, resulta difícil modificar sustancialmente los resultados económicos. Es más, las consideraciones económicas relacionadas con el ciclo de vida deben plantearse específicamente durante la fase de diseño del activo, si es que se quiere explotar totalmente las posibilidades de una ingeniería económica efectiva. (Parra Márquez & Crespo Márquez, Impacto económico de la confiabilidad dentro de los Costos de Ciclo de Vida de un Activo Industrial., 2020)

Hay que tener en cuenta que casi dos tercios del coste del ciclo de vida de un activo o sistema se ven ya determinados en la fase conceptual y de diseño preliminar. El cálculo del coste del ciclo de vida se debe aplicar en todas las fases de diseño del sistema: diseño, desarrollo, producción, construcción, uso operativo y apoyo logístico. Al principio del ciclo de vida se debe poner énfasis en los aspectos de costes, al establecer ciertos factores cuantitativos de coste como requisitos propios del diseño. A medida que transcurre el ciclo de vida, el coste se emplea como un parámetro de importancia en la evaluación de configuraciones de diseño alternativos y en la selección de una solución de preferencia. Por tanto, los datos de costes se preparan basándose en las

características establecidas del diseño y la producción, y se usan en el desarrollo de la estimación del coste del ciclo de vida. A su vez, estas estimaciones se comparan con los requisitos iniciales para determinar el grado de cumplimiento y la necesidad de una acción correctiva. En esencia, el coste del ciclo de vida evoluciona desde una serie de estimaciones cualitativas hasta una metodología relativamente refinada, empleándose como una herramienta de gestión orientada a la optimización del proceso de toma de decisiones. (Parra Márquez & Crespo Márquez, Impacto económico de la confiabilidad dentro de los Costos de Ciclo de Vida de un Activo Industrial., 2020)

El aspecto clave del término fiabilidad está relacionado con la continuidad operacional. En otras palabras, se puede afirmar, que un sistema de producción es “Fiable” cuando es capaz de cumplir su función de forma segura y eficiente a lo largo de su ciclo de vida. Ahora, cuando el proceso de producción comienza a estar afectado por una gran cantidad de eventos de fallos imprevistos (baja fiabilidad), este escenario provoca altos costes, asociados principalmente con la recuperación de la función (costes directos) e impacto en el proceso de producción (costes de penalización).

- Costes por penalización:

Downtime (indisponibilidad de producción), pérdidas de oportunidad/producción diferida, pérdidas de producción, pérdidas operacionales, impacto en la calidad, impacto en seguridad y ambiente.

- Costes directos por mantenimiento correctivo:

Mano de obra: costes directos relacionados con la mano de obra (propia o contratada) en caso de una acción no planificada.

Materiales y repuestos: costes directos relacionados con los consumibles y los repuestos utilizados en caso de una acción no planificada.

El impacto en los costes que genera un activo de baja fiabilidad está asociado directamente con el comportamiento de los siguientes dos índices

El tiempo promedio entre fallos (MTBF):

$$MTBF = \frac{\textit{tiempos operacionales}}{\textit{número de fallos}}$$

Sistemas con MTBF pequeños, reflejan valores de Fiabilidad bajos y un alto número de fallos.

El tiempo promedio para reparar (MTTR):

$$MTTR = \frac{\textit{tiempos de reparación}}{\textit{número de fallos}}$$

Sistemas con MTTR largos, reflejan valores de Mantenibilidad bajos (sistemas en los que se necesita gran cantidad de tiempo para poder recuperar su función).

3.3.1. MODELO DE ACCV DE WOODWARD.

En términos generales, el Modelo de ACCV de Woodward, propone la siguiente secuencia de actividades para calcular el impacto de los costes de fallos en el ciclo de vida de un activo industrial:

1. Establecer las condiciones operacionales del sistema. Describir los modos de operación del sistema (carga completa, media carga, sin carga) y las capacidades de producción a satisfacer.
2. Establecer los factores de utilización. Estos factores deben indicar el estado de funcionamiento dentro de cada modo de operación.
3. Identificar las distintas opciones a ser evaluadas. Seleccionar las alternativas existentes que pueden cubrir con las necesidades de producción exigidas.
4. Identificar para cada alternativa todas las categorías de costes básicos: inversión inicial, desarrollo, adquisición, mantenimiento planificado, reposición.
5. Determinar para cada alternativa los costes totales por Confiabilidad (TCPF). Identificar los principales tipos de fallos y la frecuencia de ocurrencia en el tiempo, la cual será un valor constante a lo largo del ciclo de vida del activo (este aspecto se detalla más adelante).
6. Determinar los costes críticos. Identificar las categorías de costes de mayor impacto, y analizar los factores que propician los altos costes (proponer estrategias de control).
7. Calcular todos los costes en valor presente (P) para cada alternativa. Definir el factor de descuento y el período de vida útil

esperado y estimar los costes totales en valor presente por cada alternativa evaluada.

8. Seleccionar la alternativa ganadora. Comparar los costes totales de las alternativas evaluadas y seleccionar la opción que menor coste genere para el período de vida útil esperado.

En referencia al esquema anterior, el modelo de Woodward propone la siguiente expresión para calcular los diferentes costes que genera un activo industrial a lo largo de su ciclo de vida. (Parra Márquez & Crespo Márquez, Impacto económico de la confiabilidad dentro de los Costos de Ciclo de Vida de un Activo Industrial., 2020).

$$CTCV(P) = \sum_{T=1}^T CI + CO + CMP + TCPf + CMM$$

Dónde:

(P) = Valor presente.

$CTCV(P)$ = Costes totales del ciclo de vida en valor presente (P), para una tasa de descuento (i) y un período de vida útil esperado (T).

CI = Coste inicial de adquisición e instalación, normalmente dado en valor Presente.

CO = Costes operacionales, normalmente dado como valor Anualizado**.

CMP = Costes de Mantenimiento Preventivo, normalmente dado como valor Anualizado**.

$TCPF$ = Costes Totales por Confiabilidad (costes por fallos), normalmente dado como valor Anualizado. En este caso se asume tasa de fallos constante, por lo cual el impacto en costes es igual en todos los años **.

CMM = Costes de Mantenimiento Mayor - Especiales, normalmente dado como valor Futuro**.

** Todas las categorías de costes se convertirán a valor presente (P) a una tasa de interés (i) y un período de vida útil esperado (T).

En relación a la cuantificación de los costes por Confiabilidad (TCPF), el Modelo de Woodward propone evaluar el impacto de los principales fallos sobre la estructura de costes de un sistema de producción, a partir de un proceso sencillo, el cual se resume a continuación:

1. Definir los tipos de fallos (f). Dónde $f = 1 \dots F$ para F tipos de fallos.
2. Definir la frecuencia de fallos esperada por año δ_f . Se expresa en fallos por año. Esta frecuencia se asume como un valor constante por año para el ciclo de vida útil esperado y se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$\delta_f = \frac{N}{T}$$

Dónde:

N = número total de fallos

T = número total esperado de años de vida útil

3. Calcular los costes asociados a cada tipo de fallo f C_f (\$/fallo). Estos costes incluyen: costes de repuestos, mano de obra, penalización por pérdida de producción e impacto operacional.

$$C_f = \sum_{f=1}^F MTTR_f \times Cpe_f$$

Dónde:

$MTTR$ = Tiempo medio para reparar cada fallo = horas/fallo

Cpe = Costes de penalización por hora (producción, mano de obra, repuestos) = \$/hora

4. Calcular los costes totales por fallos por año TCP_f (\$/año), a partir de la siguiente expresión:

$$TCP_f = \sum_{f=1}^F C_f \times \delta_f$$

5. Calcular los costes totales por fallo en valor presente $PTCP_f$ (\$). Dado un valor anualizado TCP_f , se estima su valor monetario en función del número de años de vida útil esperada (T), para una tasa de descuento (i). La expresión a utilizar para estimar los $PTCP_f$ en valor presente es:

$$PTCP_f = TCP_f \times \frac{(1+i)^T - 1}{i \times (1+i)^T}$$

Posteriormente, a los costes calculados por Confiabilidad, se adicionarían el resto de costes evaluados (inversión, mantenimiento planificado, operaciones, etc.). Se calcula el coste total en valor presente para la tasa de interés seleccionada y los años de vida útil esperados y se compara el resultado obtenido con los costes totales de las otras opciones evaluadas.

3.3.2. EJEMPLO BÁSICO DE EVALUACIÓN DE LOS COSTOS TOTALES POR FIABILIDAD A PARTIR DEL MODELO DE ACCV DE WOODWARD

En un ingenio azucarero se obtienen los datos de fallos los cuales son de 2 fallos por año durante los primeros 25 años de vida útil esperada del **Sistema Planetario del Molino 2** (Pertenece a la maquinaria de alta criticidad en el área de molinos). Se requiere comparar los costes totales por fiabilidad entre el sistema planetario del Molino 2 “A” con otra alternativa “B” de sistema planetario para el molino 2 (propuesta de compra).

A partir del procedimiento de 5 pasos propuesto por el modelo de Woodward (descrito en la sección 3.3.1.), se procede a cuantificar el impacto de los costes de los fallos de cada alternativa. Este cálculo se realizó por medio de una hoja de cálculo diseñada en Excel con tal fin.

ALTERNATIVA “A”

- Se definen los tipos de fallos.

Dónde $f = 1 \dots F$ para $F = 1$ tipo de fallo.

- Se define la frecuencia de fallos esperada por año δ_f .

$N = 2$ eventos, $T = 25$ años

$$\delta_f = \frac{N}{T}$$

$$\delta_f = 0.08 \frac{\text{fallos}}{\text{año}}$$

Esta frecuencia se asume como un valor constante durante el período total de vida útil estimado $T = 25$ años.

- Se calculan los costes por fallos C_f (\$/fallo). Estos costes incluyen: costes de repuestos, mano de obra, penalización por pérdida de producción e impacto operacional.

$$C_f = \sum_{f=1}^F MTTR_f \times Cpe_f$$

$MTTR = 7 \text{ horas/fallo}$ (Actualmente no se cuenta con el valor de MTTR, pero utilizaremos el valor de MDT (tiempo promedio fuera de servicio)).

Cpe = Sumatoria en un año de: Costos de pérdidas de oportunidad/producción diferida; costos de pérdidas de producción; costos de pérdidas operacionales; costos de impacto en la calidad; costos de impacto en seguridad y ambiente. Dichos costos se resumen en la Tabla 3.15

Tabla 3.15. Costes por penalización, alternativa “A”
sistema planetario molino 2.

<i>Costes por penalización, Cpe</i>			
Costos de Pérdidas de oportunidad/Producción diferida	Costos de pérdidas de Producción	Costos de impacto en la calidad	Costos de impacto en seguridad y ambiente
\$ -	\$4,928.00	\$ -	\$ -

$$C_{pe} = \$0.00 + \$4,928.00 + \$0.00 + \$0.00$$

$$C_{pe} = \$4,928.00$$

$$C_f = 7 * 4928.00$$

$$C_f = 34,496.00 \frac{\$}{falla}$$

- Se calculan los costes totales por fallos por año TCP_f

$$TCP_f = \sum_{f=1}^F C_f \times \delta_f$$

$$TCP_f = 34,496.00 * 0.08$$

$$TCP_f = \$2,759.68$$

- Se calculan los costes totales por fallo en valor presente $PTCP_f$, para un período $T = 25$ años y para una tasa de descuento $i = 5\%$:

$$PTCP_f = TCP_f \times \frac{(1+i)^T - 1}{i \times (1+i)^T}$$

$$PTCP_f = 2,759.68 \times \frac{(1+0.05)^{25} - 1}{0.05 \times (1+0.05)^{25}}$$

$$PTCP_{f_A} = \$38,894.78$$

Luego de determinar el costo total por fallo de la alternativa "A" se realiza la evaluación del impacto económico de la fiabilidad.

Se desarrolla para identificar la mejor opción técnico - económica, entre dos posibles alternativas de sistema planetario del molino 2 a ser seleccionado por un ingenio azucarero.

A continuación, en la Tabla 3.16 se presentan los datos anuales de costes, tasa de interés, periodo de vida útil esperada y en la Tabla 3.17, el detalle de costes totales por fallo en valor presente

Tabla 3.16. Datos económicos por año, alternativa "A".

Alternativa A [Sistema Planetario Molino 2]						
Coste inicial (inversión)	Coste Operacionales (anual)	Costes de mantenimiento preventivo (anual)	Costes de overhaul (mantenimiento mayor) [Especificar cada cuanto tiempo hacer el CMM]		Tasa de interés	Periodo de vida útil esperada
<i>CI</i>	<i>CO</i>	<i>CMP</i>	<i>CMM</i>		<i>i</i>	<i>T</i>
\$539,900.44	\$4,270.23	\$6,616.52	t = Cada 5 años	\$100,000.00	5%	25.0

Tabla 3. 17. Resultados económicos a valor presente, alternativa "A".

Alternativa A [Sistema Planetario Molino 2]					
Coste inicial (inversión a valor presente)	Coste Operacionales (a valor presente)	Costes de mantenimiento preventivo (a valor presente)	costes de overhaul (mantenimiento mayor) (a valor presente)	Tasa de interés	Periodo de vida útil esperada
<i>CI</i>	<i>CO</i>	<i>CMP</i>	<i>CMM</i>	<i>i</i>	<i>T</i>
\$539,900.44	\$60,184.38	\$93,252.86	$\Sigma =$ \$3489,308.00	5%	25.0
			t= 5años		\$432947.67
			t= 10años		\$772173.49
			t= 15años		\$1037965.80
			t= 20años		\$1246221.03

Datos económicos sin evaluar los costes por fallos:

$$CTCV (P) = \sum_{T=1}^T CI + CO + CMP + CMM$$

$$CTCV (P) = \$539,900.44 + \$60,184.38 + \$93,252.86 + (\$432,947.67 + \\ \$772,173.49 + \$1,037,965.80 + \$1,246,221.03)$$

$$CTCV (P)_A = \$4182,645.69$$

ALTERNATIVA “B”

Para este caso en particular los datos son similares a excepción del periodo de realización del mantenimiento mayor, desplazando estos costos cada 10 años para la misma vida útil esperada.

A continuación, se plantea el mismo procedimiento para la alternativa “B” que para la alternativa “A”.

- Se definen los tipos de fallos.

Dónde $f = 1 \dots F$ para $F = 1$ tipo de fallo.

- Se define la frecuencia de fallos esperada por año δ_f .

$N = 2$ eventos, $T = 25$ años

$$\delta_f = \frac{N}{T}$$

$$\delta_f = 0.08 \frac{\text{fallos}}{\text{año}}$$

Esta frecuencia se asume como un valor constante durante el período total de vida útil estimado $T = 25$ años.

- Se calculan los costes por fallos C_f (\$/fallo). Estos costes incluyen: costes de repuestos, mano de obra, penalización por pérdida de producción e impacto operacional.

$$C_f = \sum_{f=1}^F MTTR_f \times Cpe_f$$

$MTTR = 7$ horas/fallo (Actualmente no se cuenta con el valor de MTTR, pero utilizaremos el valor de MDT (tiempo promedio fuera de servicio)).

Cpe = Sumatoria en un año de: Costos de pérdidas de oportunidad/producción diferida; costos de pérdidas de producción; costos de pérdidas operacionales; costos de impacto en la calidad; costos de impacto en seguridad y ambiente. Estos datos se detallan en la Tabla 3.18

Tabla 3.18. Costes por penalización, alternativa “B”
sistema planetario molino 2.

Costes por penalización, C_{pe}			
Costos de pérdidas de oportunidad/Producción diferida	Costos de pérdidas de Producción	Costos de impacto en la calidad	Costos de impacto en seguridad y ambiente
\$ -	\$4,928.00	\$ -	\$ -

$$C_{pe} = \$0.00 + \$4,928.00 + \$0.00 + \$0.00$$

$$C_{pe} = \$4,928.00$$

$$C_f = 7 * 4928.00$$

$$C_f = 34,496.00 \frac{\$}{falla}$$

- Se calculan los costes totales por fallos por año TCP_f

$$TCP_f = \sum_{f=1}^F C_f \times \delta_f$$

$$TCP_f = 34,496.00 * 0.08$$

$$TCP_f = \$2,759.68$$

- Se calculan los costes totales por fallo en valor presente $PTCP_f$, para un período $T = 25$ años y para una tasa de descuento $i = 5\%$:

$$PTCP_f = TCP_f \times \frac{(1+i)^T - 1}{i \times (1+i)^T}$$

$$PTCP_f = 2,759.68 \times \frac{(1+0.05)^{25} - 1}{0.05 \times (1+0.05)^{25}}$$

$$PTCP_{f_B} = \$38,894.78$$

Luego de determinar el costo total por fallo de la alternativa "B" se realiza la evaluación del impacto económico de la fiabilidad.

Se desarrolla para identificar la mejor opción técnico - económica, entre dos posibles alternativas de sistema planetario del molino 2 a ser seleccionado por un ingenio azucarero.

Los datos de costes, tasa de interés, periodo de vida útil esperada por año y a valor presente, se describen en las Tablas 3.19 y 3.20, respectivamente.

Tabla 3.19. Datos económicos por año, alternativa "B".

Alternativa B [Sistema Planetario Molino 2]						
Coste inicial (inversión)	Coste Operacionales (anual)	Costes de mantenimiento preventivo (anual)	costes de overhaul (mantenimiento mayor) [Especificar cada cuanto tiempo hacer el CMM]		Tasa de interés	Periodo de vida útil esperada
<i>CI</i>	<i>CO</i>	<i>CMP</i>	<i>CMM</i>		<i>i</i>	<i>T</i>
\$539,900.44	\$4,270.23	\$6,616.52	t = Cada 10 años	\$100,000.00	5%	25.0

Tabla 3. 20. Resultados económicos, alternativa "B".

Alternativa B [Sistema Planetario Molino 2]					
Coste inicial (inversión a valor presente)	Coste Operacionales (a valor presente)	Costes de mantenimiento preventivo (a valor presente)	costes de overhaul (mantenimiento mayor) (a valor presente)	Tasa de interés	Periodo de vida útil esperada
<i>CI</i>	<i>CO</i>	<i>CMP</i>	<i>CMM</i>	<i>i</i>	<i>T</i>
\$539,900.44	\$60,184.38	\$93,252.86	$\Sigma =$ \$2018,394.53	5%	25.0
			t= 10años	\$772,173.49	
			t= 20años	\$1246,221.03	

Datos económicos sin evaluar los costes por fallos:

$$CTCV (P) = \sum_{T=1}^T CI + CO + CMP + CMM$$

$$CTCV (P) = \$539,900.44 + \$60,184.38 + \$93,252.86 + (\$772,173.49 + \$1246,221.03)$$

$$CTCV (P)_B = \$2750,626.99$$

COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE LAS ALTERNATIVAS “A” Y “B”

La comparación de resultados entre los costes totales por fiabilidad entre el sistema planetario del Molino 2 “A” y otra alternativa “B” de sistema planetario para el molino 2 (propuesta de compra) se detallan en la Tabla 3.21

Tabla 3. 21. Resultados económicos sin evaluar los costes por fallos.

CTCV(P): Costos	Alternativa “A”	Alternativa “B”
Totales de Ciclo de Vida en valor presente, i: 5%, T:25 años	\$4, 182, 645. 69	\$2, 711, 732. 22

En los resultados presentados en la Tabla 3.21 al no tomarse en cuenta el posible impacto económico por eventos de fallos, la opción “B” resulta como la mejor alternativa de las dos evaluadas (opción más económica para el período de vida útil evaluado de 25 años), con una diferencia de aproximadamente: \$1,509,808.25 (esta cantidad sería el potencial ahorro por seleccionar la opción B, sin considerar los posibles costes por eventos de fallos). A continuación, se presenta la evaluación económica de las dos alternativas presentadas anteriormente, pero ahora incluyendo el impacto económico de los eventos de fallos. Los datos de frecuencia de fallos (δ_f), de tiempos medios de reparación (*MTTR*) y de costos de penalización relacionados con los fallos (*C_{pe}*) se presentan en la tabla 3.22.

Tabla 3. 22. Datos de costes de fallos, mantenibilidad y confiabilidad.

Datos	Alternativa "A"	Alternativa "B"
C_{pe} : costes penalización (\$/fallo)	4,928.00	4,928.00
$MTTR$: tiempo medio de reparación (horas/fallo)	7	7
δ_f : frecuencia de fallos (fallos/año)	0.08	0.08

También es necesario la comparativa de costes totales por fallo en valor presente $PTCP_f$. A continuación, se presentan los resultados de los costes totales por fallos de las dos opciones evaluadas (Tabla 3.23).

Tabla 3. 23. Resultados de los costes por fallos.

Resultados	Alternativa "A"	Alternativa "B"
TCP_f : costes totales por fallos por año (\$/año)	2,759.68	2,759.68
$PTCP_f$: costes totales en valor presente (\$)	38,894.78	38,894.78
Para (i=5%, T=25 años)		

Posteriormente, se desarrolla una segunda evaluación económica incluyendo los costos por fallos y se comparan estos resultados con los obtenidos en la primera evaluación (Tabla 3.21: Resultados económicos sin evaluar los costes por fallos). Los resultados de la segunda evaluación económica se detallan en la Tabla 3.24

Tabla 3. 24. Resultados económicos evaluando los costes por fallos.

$CTCV(P)$: Costos	Alternativa "A"	Alternativa "B"
Totales de Ciclo de Vida en valor presente, $i: 5\%$, $T: 25$ años	\$4,221,540.46	\$2,750,626.99
$PTCP_f(P) / CTCV(P) =$ %(costes totales por fallos en presente/ costes totales de ciclo de vida en presente)	0.92%	1.41%

Analizando los resultados económicos obtenidos en la segunda evaluación económica (Tabla 3.24), en la cual se incluyen los potenciales costes totales por fallos, la opción B se convierte en la mejor alternativa económica comparada con la opción A. La diferencia económica entre ambas opciones es de \$1,470,913.47 (esta cantidad representa el potencial ahorro por seleccionar la opción B). Un aspecto de vital importancia a ser considerado en este análisis, está relacionado con la evaluación de los costes totales por fallos ($PTCP_f$), al incluir esta categoría de costes en el proceso de evaluación económica, la misma se convierte en el

factor económico de mayor peso dentro del proceso de comparación de las dos alternativas evaluadas. Para la alternativa B la categoría de costes ($PTCP_f$) representa el 1.41% y para la alternativa A la categoría de costes ($PTCP_f$) representa el 0.92%.

Este ejemplo fue resuelto con información proporcionada por parte de gestión, evidenciando la oportunidad de mejora en el manejo de la información y la implementación de los indicadores básicos de mantenimiento de clase mundial y así, poder realizar evaluaciones de costos con diferentes alternativas con una mejor aproximación de éstos.

3.4. PROPUESTA DE OPORTUNIDADES DE MEJORA.

Teniendo en consideración los resultados obtenidos en la auditoría y el análisis de criticidad, se proponen las siguientes acciones de mejora a la gestión del mantenimiento en el área de molinos de un ingenio azucarero:

- ✓ Implementar indicadores básicos de mantenimiento que expresen el comportamiento y desempeño general del proceso, sentando bases para acciones a tomar a futuro que permitan mantener los indicadores en los niveles deseados
- ✓ Determinar los valores numéricos de los objetivos o valores de referencia para los indicadores, aplicando el criterio de selección más conveniente: valores históricos, teóricos o sugeridos por el fabricante, corporativos o requeridos por el usuario.
- ✓ Revisar y dar seguimiento a los factores y aspectos evaluados. Especialmente aquellos en los que, los resultados del personal operativo tienen mayor puntaje que el reportado por la gerencia. Este hallazgo da a entender que el aspecto evaluado tiene un mejor nivel que el real y no podría necesitar acciones de mejora.
- ✓ Iniciar la recopilación de datos históricos de los equipos, cuyo análisis en conjunto con la aplicación de análisis causa raíz, (físicas, humanas

y organizacionales) permita identificar potenciales fallos repetitivos y crónicos de la maquinaria y equipos con alta y mediana criticidad en el área de molinos de un ingenio azucarero.

- ✓ Identificar las necesidades de formación y desarrollar planes de capacitación, concientización al personal de mantenimiento del área de molinos en lo relacionado con temas técnicos, de confiabilidad, gestión de documentación, indicadores, costos y otros que sean necesarios.
- ✓ En los equipos y/o maquinaria críticos, implementar el Análisis de costo de ciclo de vida a través del modelo básico de Tasa de fallos constante de Woodward, para evaluar acciones de mejora relacionadas con el indicador de Confiabilidad.
- ✓ Aplicar el modelo de auditoria propuesto en esta investigación de manera oportuna con el fin de dar seguimiento a cada factor planteado y tener un mejor panorama del avance y oportunidades de mejora en la gestión del mantenimiento de un ingenio azucarero.

CONCLUSIONES

- Se evaluó el estado actual del sistema mecánico de la maquinaria y equipo a través de una auditoría en el área de molinos de un ingenio azucarero encontrando que los factores con menor puntuación son: Soporte y calidad, Antecedentes de costos de mantenimiento y Manejo de la información sobre equipos.
- El nivel de criticidad de la maquinaria y equipo en el área de molinos de un ingenio azucarero se distribuye de la siguiente manera: 15% en el nivel de criticidad alta, 28% en el nivel de criticidad media y 57% en el nivel de criticidad baja, cumpliéndose el criterio de 20% para el nivel de criticidad alta.
- Se organizó la maquinaria y equipo por sistemas en el área de molinos de un ingenio azucarero agrupándolos en las categorías de Edificación, Filtrado, Grúa, Instrumentación, Limpieza, Lubricación, Proceso de Molienda, Refrigeración, Traslado de Materia Prima (Tabla 2. 3.).
- Los modelos de mantenimiento adecuados para cada sistema en el área de molinos de un ingenio azucarero se distribuyen de la siguiente manera: 57% Condicional, 28% Sistemático y 15% de Alta Disponibilidad

- Para una gestión adecuada del mantenimiento mecánico de la maquinaria y el equipo en el área de molinos de un ingenio azucarero se definieron los siguientes índices básicos de gestión: Fiabilidad, Mantenibilidad, Costes por indisponibilidad y Disponibilidad.

RECOMENDACIONES

- Implementar un programa de auditorías en el área de molinos, utilizando el cuestionario propuesto de evaluación u otras herramientas para dar seguimiento a los factores que evalúan la gestión del mantenimiento.
- Antes de la siguiente aplicación del instrumento de evaluación, capacitar al personal operativo del área de molinos en el manejo de información y utilizar preguntas focalizadas en aspectos claves para prevenir el sesgo de respuesta y el efecto negativo en los hallazgos de auditoría
- Iniciar la implementación de indicadores globales de mantenimiento, tales como confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad, costes debidos a la indisponibilidad por fallos, coste de ciclo de vida para conocer el valor actual de parámetros de control, evaluar tendencias y tomar decisiones con base en la data real
- Esta investigación aborda de manera general aspectos importantes a tomar en cuenta en la evaluación del estado actual de la gestión del mantenimiento en el área de molino, se recomienda dar seguimiento a esta investigación en los sectores con menor calificación y profundizar el estudio a los equipos con mayor nivel de criticidad.

- Fortalecer el cierre de las Ordenes de trabajo, actualmente no incluyen toda la información de finalización por reparación de un fallo y materiales utilizados en la reparación, dificultando análisis que ayuden en seguimiento y evaluación de indicadores y la mejora continua de la gestión del mantenimiento.

GLOSARIO

ACCV: Análisis de Costo de Ciclo de Vida

Área de Molinos: Lugar ubicado dentro de las instalaciones del Ingenio El Ángel con la maquinaria y equipos encargados del proceso de molienda.

Auditoría: La auditoría es el examen de las demostraciones y registros administrativos.

Auditoría de gestión: La denominación auditoría de gestión es la unión de dos clasificaciones que tradicionalmente se tenían: auditoría administrativa y auditoría operacional.

Auditoría técnica: Es el proceso de acumular y evaluar evidencia, realizado por profesionales competentes e independientes a los auditados acerca de cualquier información cuantificable y medible, con el propósito de informar a los diferentes niveles jerárquicos auditados y a la dirección superior sobre el grado de cumplimiento o correspondencia existente entre una información evaluable y comparable a partir de ciertos criterios establecidos.

Avería: Estado de un elemento caracterizado por la incapacidad para desarrollar una función requerida, excluyendo la incapacidad durante el mantenimiento preventivo o por otras acciones planificadas, o debido a la falta de recursos externos.

Capacitación: La Capacitación es un proceso que posibilita al capacitando la apropiación de ciertos conocimientos, capaces de modificar los comportamientos propios de las personas y de la organización a la que pertenecen.

Ciclo de vida: Intervalo de tiempo que comienza con el inicio del diseño y termina con la retirada del elemento.

Confiabilidad: Es la probabilidad de que un componente o sistema pueda cumplir su función en las condiciones operativas especificadas durante un intervalo de tiempo dado.

Coste del ciclo de vida: Todo coste generado durante el ciclo de vida del elemento.

Costos directos: Es aquel que puede medirse y asignarse directamente y de forma inequívoca a un producto concreto. Es una categoría de coste clasificado en función de su relación con la producción.

Costos indirectos: Los costes indirectos son aquellos que no son directamente imputables a la producción de un bien o servicio en particular, es decir, los costes indirectos son aquellos costes en los que la empresa incurre durante el ejercicio de su actividad, cuya asignación es más complicada, ya que no se relacionan directamente con la producción.

Criticidad: Característica (cálculo numérico determinístico) de un sistema, que representa el impacto de la falla en cuanto a seguridad, ambiente o producción del proceso al cual pertenece; evalúa la flexibilidad operacional, costos de reparación, mantenimiento y confiabilidad. Esta característica puede ubicarse en bandas alta, media y baja.

Desviación: indica un incremento de los gastos que inicialmente no se había previsto en la elaboración de un presupuesto. En un contexto económico es posible que haya una desviación con respecto al déficit, al precio de venta o en una auditoría de gestión.

Diagnóstico: Es el proceso de reconocimiento, análisis y evaluación de una cosa o situación para determinar sus tendencias, solucionar un problema

Diagrama de Pareto: Es una técnica gráfica sencilla para clasificar aspectos en orden de mayor a menor frecuencia. La distribución de los efectos como sus posibles causas no es un proceso lineal, sino que el 20% de las causas totales hace que sean originados el 80% de los efectos y rebotes internos del pronosticado.

Diagrama Radar: Es un gráfico bidimensional que utiliza ejes radiales para representar uno o más grupos de valores sobre múltiples variables. Los gráficos de radar se pueden utilizar para visualizar y comparar el rendimiento con un estándar establecido o con el rendimiento de un grupo.

Disponibilidad: Capacidad de un elemento de encontrarse en un estado para desarrollar una función requerida bajo unas condiciones determinadas en un instante dado o bien durante un intervalo de tiempo determinado, asumiendo que se proveen los recursos externos requeridos.

ECM: Encuesta de Calificación y Efectividad del Mantenimiento.

Eficiencia del mantenimiento: Razón entre los recursos planificados o esperados, necesarios para ejecutar la tarea de mantenimiento requerida, y los recursos realmente utilizados.

Equipo: Es una máquina, conjunto de máquinas, suministros y equipamientos que se utilizan con fines productivos.

Evaluación: Es la determinación sistemática del mérito, el valor y el significado de algo o alguien en función de unos criterios respecto a un conjunto de normas.

Falla: Cese en la capacidad de un elemento para desarrollar una función requerida.

Fiabilidad: Capacidad de un elemento de desarrollar una función requerida bajo unas condiciones dadas durante un intervalo de tiempo determinado.

Gerencia: Es la acción, o el conjunto de empleados, que se encargan de dirigir, gestionar y coordinar una determinada empresa, organización o institución.

Gestión: Personal administrativo en el área de molinos.

Gestión del mantenimiento: Todas las actividades de la gestión que determinan los objetivos del mantenimiento, las estrategias y las responsabilidades y, las realizan por medio de planificación del mantenimiento, control y supervisión del mantenimiento, mejora de los métodos en la organización incluyendo los aspectos económicos.

Incidencia: Cualquier evento que no forma parte del desarrollo habitual del servicio y que causa, o puede causar una interrupción del mismo o una reducción de la calidad de dicho servicio.

Indicador: Son puntos de referencia, que brindan información cualitativa o cuantitativa, conformada por uno o varios datos, constituidos por percepciones, números, hechos, opiniones o medidas, que permiten seguir el desenvolvimiento de un proceso y su evaluación, y que deben guardar relación con el mismo.

Índices de Mantenimiento: Facilita a responsables de mantenimiento y responsables de planta su implementación y cálculo en sus sistemas de gestión de mantenimiento.

Ingenio Azucarero: es el lugar físico que permite el proceso de producción de caña de azúcar y sus derivados.

KPI's: Indicador Clave de Desempeño o Medidor de Desempeño, (Key Performance Indicator), hace referencia a una serie de métricas que se utilizan para sintetizar la información sobre la eficacia y productividad de las acciones que se lleven a cabo en un negocio con el fin de poder tomar decisiones y determinar aquellas que han sido más efectivas a la hora de cumplir con los objetivos marcados en un proceso o proyecto concreto.

Mantenibilidad: Capacidad de un elemento bajo unas condiciones de uso dadas para mantenerse en, o ser devuelto a un estado en el cual pueda desarrollar una función requerida, cuando el mantenimiento se ejecuta bajo condiciones determinadas y utilizando procedimientos y recursos preestablecidos.

Mantenimiento: Combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión, durante el ciclo de vida de un elemento, destinadas a conservarlo o devolverlo a un estado en el cual pueda desarrollar la función requerida.

Mantenimiento correctivo: Mantenimiento ejecutado después del reconocimiento de una avería y destinado a llevar un elemento a un estado en el que pueda desarrollar una función requerida.

Mantenimiento Predictivo: Mantenimiento ejecutado después del reconocimiento de una avería y destinado a llevar un elemento a un estado en el que pueda desarrollar una función requerida.

Mantenimiento Preventivo: Mantenimiento ejecutado a intervalos predeterminados o de acuerdo con unos criterios prescritos y destinado a reducir la probabilidad de fallo o la degradación de funcionamiento de un elemento.

Mantenimiento programado: Mantenimiento preventivo ejecutado de acuerdo a un programa de tiempo establecido, o a un número de unidades de uso definido.

Mantenimiento sistemático: Mantenimiento preventivo ejecutado de acuerdo a unos intervalos de tiempo establecidos, o a un número de unidades de uso, pero sin investigación previa de la condición del elemento.

Mantenimiento basado en la condición: Mantenimiento preventivo basado en la monitorización del funcionamiento y/o de los parámetros del elemento y las acciones subsiguientes.

Maquinaria: Conjunto de bienes tangibles que se dedican a la producción, a una actividad o utilidad en concreto.

Mejora: Combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión, destinadas a mejorar la seguridad de funcionamiento de un elemento sin cambiar su función requerida.

MES: Maintenance Effectiveness Survey, (Encuesta de efectividad del mantenimiento).

MQS: Maintenance Qualification Survey, (Encuesta de calificación de mantenimiento).

MWCS: Maintenance World Class Survey, (Encuesta de clase mundial de mantenimiento).

Operativo: Personal técnico calificado para operar y dar mantenimiento a la maquinaria y equipos.

OT: Orden de Trabajo, un documento donde se detallan por escrito las instrucciones para realizar algún tipo de trabajo o encargo.

Paro: Cese de la operación previamente programado, por mantenimiento o por otros propósitos.

Paro imprevisto: Es el que no está establecido en la programación de paros de todo el año.

Paro programado: Son los previstos y establecidos en la programación de paros de todo el año.

Procedimiento: Seguimiento de una serie de pasos bien definidos que permitirán y facilitarán la realización de un trabajo de la manera más correcta y exitosa posible.

RCM: Reliability Centred Maintenance, (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad) es una técnica más dentro de las posibles para elaborar un plan de mantenimiento en una instalación industrial y presenta algunas ventajas importantes sobre otras técnicas.

Recambio: Pieza de un mecanismo o aparato que es igual a otra y puede sustituirla en caso de necesidad.

Registro de mantenimiento: Parte de la documentación de mantenimiento que contiene todos los fallos, averías e información de mantenimiento relativa al elemento. Este registro puede incluir a su vez los costes de mantenimiento, la disponibilidad del elemento, el tiempo de disponibilidad y cualquier otro dato relevante.

RENOVETEC: Es una empresa de ingeniería y de formación técnica, y su especialidad es el desarrollo de proyectos en las áreas de Generación de Energía, Mantenimiento Industrial y Energías Renovables

RPM: Revoluciones por minuto.

Sacarosa: Azúcar que se encuentra en el jugo de muchas plantas y se extrae especialmente de la caña dulce.

TPM: Total Productive Maintenance, (Mantenimiento Productivo Total).

Trabajos pendientes: Es la suma de las horas estimadas en cada uno de los trabajos pendientes de realización. Es un parámetro más importante que el nº de órdenes pendientes, pues nos permite conocer la carga de trabajo estimada por realizar.

Trabajos programados: Es la suma de las horas estimadas en cada uno de los trabajos programados a realizar.

Vida útil: El intervalo de tiempo que bajo unas condiciones dadas comienza en un instante de tiempo determinado y termina cuando la tasa de fallos se hace inaceptable, o bien cuando el elemento se considera irreparable como resultado de una avería o bien de otros factores relevantes.

Zafra: Ocurre entre los meses de noviembre a marzo, en el cual se lleva a cabo la transformación de la caña de azúcar en sus productos derivados, tales como el azúcar, jugos y mieles.

BIBLIOGRAFÍA

Parra Márquez, C., & Crespo Márquez, A. (2017). Técnicas de Auditoría aplicadas en los Procesos de Gestión del Mantenimiento y de la Confiabilidad. Miami: Ingeman. Recuperado el 25 de 3 de 2020, de <http://www.confiabilidadoperacional.com/>

Alfaro Ortega, W. A., & Gómez Portillo, A. M. (2008). Diseño de un plan de marketing social que mejore la imagen empresarial de los ingenios azucareros de El Salvador. San Salvador: Universidad Francisco Gavidia.

Amaya Zometa, E. d., Flores Ayala, D. M., Rivas Rivas, N. d., & Rodriguez Rivas, R. E. (2017). Responsabilidad social empresarial, como un elemento generador de valor económico y de mercado en la cadena de producción y comercialización de Ingenio El Ángel, S.A. de C.V. en el año 2015. San Vicente: Universidad de El Salvador.

Castellanos Torres, M. E., & Sánchez Miranda, M. F. (2005). Programa de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones en equipos críticos de la industria azucarera. San Salvador.

CONSAA. (2020). Consejo Salvadoreño de la Agroindustria Azucarera. Obtenido de <https://www.consaa.gob.sv/informe-final-de-produccion-19-20/>

Fernández, F. J. (2003). Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado. Madrid: Fundación Confemetal.

Fernández, F. J. (2005). Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado. Madrid: FC Editorial.

- Garrido, S. G. (2003). Organización y Gestión Integral de Mantenimiento. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S. A.
- Garrido, S. G. (2018). Renovetec. Obtenido de <http://www.renovetec.com/590-mantenimiento-industrial/110-mantenimiento-industrial/300-indicadores-en-mantenimiento>
- Jasso, A. C. (2011). Implementación del mantenimiento predictivo en la empresa AGR-RACKED. Tula Tepeji: Universidad Tecnológica de Tula Tepeji.
- Olarte C., W., Botero A., M., & Cañon A., B. (2010). Técnicas de mantenimiento predictivo utilizadas en la industria. *Scientia et Technica*(45), 4.
- Oliverio, J. (2011). JUICE EXTRACTION SYSTEMS. DEDINI S/A Industrias de Base. São Paulo: Mills and Diffusers.
- Parra Márquez, C., & Crespo Márquez, A. (2020). Cuadro de Mando Integral e Indicadores básicos de la Gestión del Mantenimiento. IngeCon.
- Parra Márquez, C., & Crespo Márquez, A. (2020). Impacto económico de la confiabilidad dentro de los Costos de Ciclo de Vida de un Activo Industrial. IngeCon.
- Parra, C., & Omaña, C. (2001). Ponencia: Técnica cualitativa de Auditoría de la Gestión de mantenimiento para el sector refinación. VII Congreso de ingeniería de mantenimiento de petróleos de Venezuela. Caracas, Venezuela. Recuperado el 15 de 05 de 2020, de <http://www.mantenimientomundial.com/notas/Tecnicas-Auditoria.pdf>

- Partida, A. (2020). Mantenimiento & Mentoring Industrial. Recuperado el 30 de Diciembre de 2020, de <https://mantenimiento-mi.es/2012/9-claves-a-la-hora-de-implementar-un-sistema-de-mantenimiento>
- Pérez Figueroa, D. E., & Vásquez Zaldaña, R. J. (2019). Comparación experimental y económica de parámetros de recubrimientos duros en mazas de molinos de caña de azúcar. San Salvador.
- Rein, P. (2012). Ingeniería de la Caña de Azúcar. Berlin, Alemania: Verlag Dr. ALbert Bartens KG.
- RENOVETEC. (2009). Auditorías de mantenimiento. Madrid: RENOVETEC. Recuperado el 05 de 05 de 2020, de <http://www.renovetec.com/auditoriasdemantenimiento.pdf>
- Rosa Pérez, M. A., Miles Hernández, L. A., & Pérez López, J. R. (2009). Manual de aplicaciones de herramientas y técnicas del mantenimiento predictivo. San Salvador.
- SENATI, Servicio Nacional de Adiestramiento En Trabajo Industrial. (2004). Gestión de Mantenimiento. Lima.
- Tavares, L. A. (2000). Administración Moderna de Mantenimiento. En L. A. Tavares, Administración Moderna de Mantenimiento. Brasil: Novo Polo Publicaciones.
- Telenchana, L. S. (2017). Gestión de Mantenimiento. Diseño de Modelos Integrales. Babahoyo, Ecuador: CIDEPRO.
- Vásquez, E. J. (2011). Metodología para auditar la gestión de mantenimiento de PDVSA, Caso Refinería San Roque. Barcelona: Universidad de Oriente.

Recuperado el 13 de 03 de 2020, de
<https://www.monografias.com/trabajos91/metodologia-auditar-gestion-mantenimiento-pdvsa-caso-refineria-san-roque/metodologia-auditar-gestion-mantenimiento-pdvsa-caso-refineria-san-roque.shtml>

ANEXOS**Anexo A.**

Universidad de El Salvador
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Escuela de Ingeniería Mecánica

**ENCUESTA DE CALIFICACIÓN Y EFECTIVIDAD DEL MANTENIMIENTO
(ECEM)**

Evaluador: _____ Fecha : / /

Cargo: _____

Nombre: _____

Indicaciones: Lea detenidamente cada ítem. Es muy fácil de responder, debe escoger una de las calificaciones que se presentan en cada pregunta de acuerdo a su percepción, sólo tendrá que poner una “X” dentro del cuadrado de la respuesta que haya elegido. La información recolectada se utilizará para fines académicos. De antemano, muchas gracias.

Para la calificación se puntúa, de acuerdo con la siguiente escala:

1 = Deficiente

3 = Bueno

2 = Regular

4 = Excelente

Factor a evaluar:					
Gerencia de la información (software de mantenimiento)					
	Preguntas	1	2	3	4
1	¿El departamento de mantenimiento utiliza de forma eficiente el sistema computarizado de gestión del mantenimiento?				
2	¿Está cada componente identificado, codificado y asociado a un sistema dentro de toda la planta?				
3	¿Ha sido el personal debidamente entrenado para su uso?				
4	¿El departamento de mantenimiento mantiene registros precisos de fallas de sus maquinarias y equipos dentro del software?				
5	¿Están los inventarios de repuestos dentro del software de mantenimiento?				
6	¿Se toman decisiones a partir de los reportes generados por software de mantenimiento?				
7	¿El tiempo de realización del mantenimiento es registrado y evaluado?				
8	¿El departamento de mantenimiento utiliza algún tipo de índice que compare los costos de mantenimiento entre zafras a través del software?				
	Puntuación total por criterio				
Factor a evaluar:					
Manejo de la información sobre equipos					
	Preguntas	1	2	3	4
9	¿Posee los catálogos e información técnica de todos los equipos?				
10	¿Posee fichas de inventario para cada equipo?				
11	¿Tiene procedimientos de trabajos de mantenimiento establecidos?				
12	¿Posee cada equipo un programa de trabajos de mantenimiento?				
13	¿Posee registros de los mantenimientos para cada equipo?				
14	¿Tiene registros de tiempo de cada mantención realizada?				
15	¿Sabe cuál es la tasa de fallas de cada equipo?				
16	¿Puede determinar la confiabilidad de cada equipo?				

17	¿Tiene un programa de capacitación completo implementado?				
	Puntuación total por criterio				

Factor a evaluar:					
Equipos y técnicas de mantenimiento preventivo (MP)					
	Preguntas	1	2	3	4
18	¿El departamento de mantenimiento utiliza órdenes de trabajo para las actividades de MP?				
19	¿Se revisan periódicamente los planes de MP?				
20	¿Los operadores ayudan en las actividades de mantenimiento menor (limpieza, lubricación, ajustes e inspección visual)?				
21	¿El departamento de mantenimiento hace seguimiento a los costos de mantenimiento preventivo y predictivo?				
	Puntuación total por criterio				

Factor a evaluar:					
Soporte y Calidad					
	Preguntas	1	2	3	4
22	¿Están disponibles los repuestos y materiales a la hora de ejecutar actividades de mantenimiento?				
23	¿Se tienen identificados los tiempos de reposición y los costos de los repuestos?				
24	¿El criterio de calidad en el desarrollo de las actividades de mantenimiento está por encima del criterio de rapidez?				
25	¿Se tiene un proceso que permita verificar y dar trazabilidad a las actividades de mantenimiento ejecutadas?				
26	¿La cualificación del personal del área de mantenimiento es la adecuada?				
27	¿Hay un plan de formación para el personal de mantenimiento?				
28	¿El Plan de mantenimiento respeta las instrucciones de los fabricantes?				

29	Relacionada a la pregunta anterior, ¿se dispone de manuales, hojas técnicas, catálogos suficientes y disponibles para realizar la planeación y tareas de mantenimiento?				
30	¿Las tareas habituales de mantenimiento están detalladas en procedimientos?				
31	¿Se emite un informe periódico del sistema informático que analiza la evolución del mantenimiento en el área de molinos?				
32	¿Se han definido indicadores de gestión con datos útiles que permitan identificar desviaciones y la toma de decisiones?				
33	¿Existen valores de referencia (históricos, estándar o teóricos) para los indicadores establecidos?				
	Puntuación total por criterio				
Factor a evaluar:					
Criticidad de las rutas de inspección					
	Preguntas	1	2	3	4
34	¿Tiene clasificado sus equipos según su criticidad ante una falla?				
35	¿Puede cuantificar la incidencia de la falla de un equipo sobre otro(s)?				
36	¿Algún(os) equipo produce cuello de botella?				
37	¿Tiene estipulado tiempos estándares para el mantenimiento de equipos?				
38	¿Tiene calculado la cantidad de trabajos de mantención que pueden hacerse?				
	Puntuación total por criterio				

Factor a evaluar:					
Situación actual del mantenimiento					
	Preguntas	1	2	3	4
39	¿Se revisan todos los equipos cada vez que comienza un turno?				
40	¿Se tiene una rutina preestablecida de intervenciones diaria?				
41	¿Se mantiene una bitácora de mantenimiento diaria?				

42	¿Tiene control sobre las horas extras necesarias para terminar trabajos?				
43	¿La información capturada en la maquinaria y los equipos es legible, útil y oportuna?				
44	¿Tiene un registro de trabajos de emergencia y programados?				
45	¿Tiene cuantificado el tiempo de producción perdido por fallas?				
46	¿Tiene cuantificado el tiempo que se demora en hacer efectivo el mantenimiento?				
47	¿Se tienen identificadas las Fallas más frecuentes o reparaciones recurrentes?				
	Puntuación total por criterio				

Factor a evaluar:					
Efectividad del mantenimiento actual					
	Preguntas	1	2	3	4
48	¿Sabe cuál es la relación de paros programados y paros imprevistos?				
49	¿Se cumple el programa de trabajos programados de mantenimiento?				
50	¿Se lleva un control del estado de avance de las órdenes de trabajo (O.T.)?				
51	¿Conoce el lapso de tiempo medio entre el aviso de la falla y la emisión de la O.T?				
52	¿Conoce el tiempo medio de aprobación de una orden de trabajo?				
53	¿Tiene definidos los procedimientos para realizar el mantenimiento preventivo?				
54	¿Tiene definidos los procedimientos para enfrentar el mantenimiento correctivo?				
55	¿Sabe cuál es la relación de trabajos pendientes y trabajos programados?				
56	¿Sabe cuál es la relación de tiempo extra y tiempo para trabajos programados?				
	Puntuación total por criterio				

Factor a evaluar:					
Generación de órdenes de trabajo y herramientas informáticas de soporte					
	Preguntas	1	2	3	4
57	¿Todos los trabajos que se realizan se reflejan en una orden de trabajo?				
58	¿El formato de esta orden de trabajo es adecuado?				
59	¿Los operarios llenan correctamente los formatos de órdenes de trabajo?				
60	¿Las órdenes de trabajo se introducen en el sistema informático?				
61	¿El número de O.T. de emergencia es bajo?				
62	¿El sistema informático supone una carga burocrática importante?				
63	¿El sistema informático aporta información útil?				
64	¿El sistema informático aporta información fiable?				
65	¿Los mandos de mantenimiento consultan habitualmente la información contenida en el sistema?				
66	¿Los operarios de mantenimiento consultan habitualmente la información contenida en el sistema?				
	Puntuación total por criterio				

Factor a evaluar:					
Manejo de indicadores técnicos de mantenimiento					
	Preguntas	1	2	3	4
67	¿La evolución de la disponibilidad es positiva (está aumentando la disponibilidad)?				
68	¿El número de O.T. de emergencia está descendiendo?				
69	¿El tiempo medio de reparación en equipos significativos está descendiendo?				
70	¿El número de averías repetitivas está descendiendo?				
71	¿El número de horas/hombre invertidas en mantenimiento está descendiendo?				
72	¿El gasto en repuestos está descendiendo?				

73	¿El número de averías repetitivas es bajo?				
74	¿El número de averías con el máximo nivel de prioridad (o averías urgentes) es bajo?				
75	¿Se realiza un análisis de los fallos que afectan a los resultados de la planta?				
	Puntuación total por criterio				

Factor a evaluar:					
Antecedentes del costo de mantenimiento					
	Preguntas	1	2	3	4
76	¿El departamento de mantenimiento le hace seguimiento a los costes de mantenimiento?				
77	¿Sabe con exactitud cuál es el costo de pérdida de producción por falla?				
78	¿Sabe la razón de costos entre mantenimiento y costo total del producto?				
79	¿Puede medir la desviación entre el costo real de mantenimiento y el costo presupuestado mantenimiento?				
80	¿Lleva un control de gastos de mantenimiento por equipo?				
81	¿Lleva un control estadístico de los gastos de mantenimiento por equipo?				
	Puntuación total por criterio				

Anexo B.

Archivo Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista Desarrollador ¿Qué desea hacer? Iniciar sesión Compartir

H50



Nivel de Criticidad All
Sistema perteneciente All

Etiquetas de fila	Promedio de CRITICIDAD
Sistema planetario de molino 4	99.0
Sistema planetario de molino 3	99.0
Sistema planetario de molino 6	99.0
Sistema planetario de molino 1	99.0
Sistema planetario de molino 2	99.0
Molino 1	97.8
Molino 6	97.8
Molino 3	95.8
Molino 4	95.8
Molino 2	95.8
Conductor intermedio molinos 1 y 2	90.3
Conductor intermedio molinos 4 y 6	90.3
Conductor intermedio molinos 2 y 3	90.3
Conductor intermedio molinos 3 y 4	90.3
Reductor de conductor intermedio molinos 2 y 3	89.3
Reductor de conductor intermedio molinos 4 y 6	89.3
Reductor de conductor intermedio molinos 3 y 4	89.3
Reductor de conductor intermedio molinos 1 y 2	89.3
Acople flexible de molino 3	86.8

Nivel de Criticidad

- ALTA
- BAJA
- MEDIA

Modelo de Mantenimiento

- Alta Disponibilidad
- Condicional
- Sistemático

Sistema perteneciente

- Edificación
- Filtrado
- Grua
- Instrumentación
- Intercambio de Calor
- Limpieza
- Lubricación
- Proceso de Molienda
- Traslado de Materia Prima

Matriz de Criticidad | Agrupación de Equipos | Modelo de Mantenimiento | **SEGMENTACIÓN DE DATOS** | EQUIPOS ORDENADOS POR CRITICIDAD

Figura A1. Hoja de cálculo para el Análisis de criticidad y segmentación de la maquinaria y equipos en el área de molino de un ingenio azucarero. [Captura de pantalla]

Anexo C.

The screenshot shows an Excel spreadsheet titled "TAREAS DE MANTENIMIENTO" for "Grupo EL ÁNGEL INGENIO EL ÁNGEL". The spreadsheet is organized into a hierarchical structure. The left sidebar shows a tree view of equipment categories: "MAQUINARIA Y EQUIPOS MOLINOS", "Proceso de Molienda", "Alta Disponibilidad", and "Traslado de Materia Prima". The main area displays a table with columns for "Mantenimiento Correctivo", "Mantenimiento Condicional", "Mantenimiento Sistemático", and "Mantenimiento de Alta Disponibilidad". A dropdown menu is open over the "TAREAS DE MANTENIMIENTO" header, showing sub-categories like "Mecánico" and "Diaria". On the right, there are three filter panels: "Sistema perteneciente" (listing various systems like "Proceso de Molienda"), "Modelo de Mantenimiento" (listing "Alta Disponibilidad", "Condicional", "Sistemático"), and "Nivel de Criticidad" (listing "ALTA", "MEDIA", "BAJA"). At the bottom, there are two more filter panels: "Sistema" (listing "Hidráulico", "Mecánico", "Neumático") and "Periodicidad" (listing "Anual", "Diaria", "Mensual"). The bottom status bar shows "TAREAS MTO EQ MOLINOS" and "EQ Mecánico Molinos".

Figura A2. Hoja de cálculo para segmentar las tareas de mantenimiento de acuerdo a los criterios tomados para la maquinaria y equipos en el área de molinos de un ingenio azucarero. [Captura de pantalla]