

**UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA JOSÉ SIMEÓN CAÑAS
UNIVERSIDAD DON BOSCO**



**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PREPARADO PARA LA FACULTAD DE
POSTGRADOS UCA
Y
FACULTAD DE INGENIERÍAS UDB.**

**“PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE ESTRATEGIA DE
MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN CON ORIENTACIÓN A LA
INDUSTRIA 4.0”**

**PARA OPTAR AL GRADO DE:
MAESTRO EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**POR:
FERNANDO JEFFERSON VELARDE ROMERO
NESTOR ALEXANDER VASQUEZ GUERRERO**

**DIRECTOR DE TESIS:
PEDRO ROQUE**

**LA LIBERTAD, EL SALVADOR, C.A.
FEBRERO 2021**

Rectores

Andreu Oliva de la Esperanza, S.J.
Mario Rafael Olmos Argueta, SDB.

Secretarias Generales

Silvia Elinor Azucena de Fernández
Yesenia Xiomara Martínez Oviedo

Decana de Postgrados UCA

Nelly Arely Chévez Reynosa

Decano Facultad de Ingeniería

Mario Guillermo Juárez Pérez

Directores de la Maestría en Gerencia de Mantenimiento Industrial

Laura Beatriz Orellana UCA

José Luis Martínez UDB

Contenido

GLOSARIO DE TERMINOS Y ABREVIATURAS.....	11
I. INTRODUCCIÓN.....	12
II. OBJETIVOS.....	13
2.1. Objetivo General del Proyecto.....	13
2.2. Objetivo Específico del Proyecto.....	13
III. ALCANCE.....	14
IV. RESULTADOS ESPERADOS.....	14
V. DESCRIPCION DE LA INSTITUCION.....	14
5.1. Descripción General.....	14
5.2. Diagrama de Proceso.....	15
5.3. Estructura Organizativa.....	16
5.4. Estructura de Mantenimiento.....	16
VI. MARCO DE REFERENCIA.....	16
6.1. Conceptos Utilizados en Mantenimiento Industrial.....	16
6.2. Antecedentes de Mantenimiento Industrial.....	21
6.2.1. <i>Evolución del Mantenimiento Industrial</i>	21
6.3. Categorización de Mantenimiento.....	27
6.3.1. <i>Mantenimiento Preventivo</i>	27
6.3.2. <i>Mantenimiento Correctivo</i>	29
6.4. Factores Principales que Influyen en Mantenimiento Basado en Condición.....	30
6.4.1. <i>Identificación de Funciones de Equipo</i>	30
6.4.2. <i>Intervalos P-F</i>	32
6.4.3. <i>Análisis Modo de Falla</i>	33
6.4.4. <i>Consecuencia de Fallas</i>	34
6.5. Normativa ISO 17359:2018.....	35
6.6. Identificación de Equipos.....	37
6.7. Análisis de Criticidad.....	38
6.7.1. <i>Método de Ciliberti</i>	39
6.7.2. <i>Inspección Basada en Riesgo (IBR)</i>	39
6.7.3. <i>Metodología de Análisis de Criticidad de los Puntos</i>	40

6.7.4.	<i>Análisis de Criticidad para Mantenimiento Norsok standard Z-008</i>	41
6.8.	Descripción de Modos de Fallas en Equipos Críticos del Ingenio.	43
6.8.1.	<i>Motor Eléctrico</i>	43
6.8.2.	<i>Reductor de Velocidad</i>	44
6.8.3.	<i>Ejes Motrices</i>	45
6.8.4.	<i>Ventiladores de Tiro Inducido</i>	46
6.8.5.	<i>Estructura Metálica</i>	48
6.9.	Equipos y Técnicas de Mantenimiento Basado en Condición.....	49
6.9.1.	<i>Equipo Alineador de Polea Laser</i>	49
6.9.2.	<i>Equipo de Medición de Tensión de Correas</i>	49
6.9.3.	<i>Equipo Analizador de Vibraciones</i>	50
6.9.4.	<i>Megómetro</i>	51
6.9.5.	<i>Líquidos Penetrantes</i>	52
6.9.6.	<i>Partículas Magnéticas (hierro) y de Yugo o Imán de Alto Poder</i>	53
6.9.7.	<i>Equipo Ultrasonido Pulso Eco</i>	54
6.9.8.	<i>Boroscopio</i>	56
6.9.9.	<i>Análisis de Aceite</i>	56
6.9.10.	<i>Ultrasonido Acústico</i>	57
6.9.11.	<i>Temperatura Infraroja</i>	58
6.9.12.	<i>Termografía</i>	59
6.10.	Estructuras y Equipos Básicos Utilizados para mantenimiento 4.0.....	60
6.10.1.	<i>Sensores</i>	60
6.10.2.	<i>Red local o Wlan</i>	60
6.10.3.	<i>Red de Área Amplia (Wan) e Internet</i>	61
6.11.	Mantenimiento 4.0.	61
6.11.1.	<i>IIoT (Industrial Internet of Things)</i>	62
6.11.2.	<i>Cloud Computing</i>	63
6.11.3.	<i>Big Data-Data Mining</i>	65
6.11.4.	<i>Machine Learning</i>	67
6.11.5.	<i>Mantenimiento Predictivo</i>	67
6.12.	Aspectos Generales de Costos de Mantenimiento:	68
VII.	METODOLOGIA.....	70

7.1.	Interrelación de Gestión de Mantenimiento Basado en Condición con su Ámbito Externo e Interno.....	70
7.1.1.	Ámbito Externo.....	70
7.1.2.	Ámbito Interno.....	73
7.1.3.	Inventario de equipos.....	82
7.1.4.	Análisis de Costos de Mantenimiento Basado en Condición.....	82
7.2.	Mantenimiento Basado en Condición con Principios de ISO 17359:2018.	83
7.2.1.	Auditoría de Equipos.....	84
7.2.2.	Criticidad de Equipos.....	85
7.2.3.	Selección de Estrategia de Mantenimiento.....	88
7.2.4.	Métodos de Monitoreo de condición.....	90
7.2.5.	Configuraciones Necesarias para Monitoreo de Condición.	92
7.2.6.	Determinación de las Acciones de Mantenimiento.	97
7.2.7.	Revisión de grado de certeza del Diagnóstico y Optimización del Plan de Mantenimiento Basado en Condición.....	98
7.2.8.	Análisis de Costo-Beneficio Utilizando Principios de ISO 17359.....	99
7.3.	Utilización de Principios de Industria 4.0.....	99
7.3.1.	Elección del Método de Monitoreo.	100
7.3.2.	Monitoreo Continuo.....	101
7.3.3.	Monitoreo de Condición Colectores Automáticos.	102
7.3.4.	Monitoreo de Condición Mediante Rutas.....	102
7.3.5.	Análisis de Retorno de la Inversión con Principios de Mantenimiento 4.0.	103
VIII.	DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	103
8.1.	Desarrollo de Interrelación de Gestión de Mantenimiento Basado en Condición con su Ámbito Externo e Interno.....	103
8.1.1.	Ámbito Externo.....	103
8.1.2.	Ámbito Interno.....	103
8.1.3.	Inventario de Equipos.....	104
8.1.4.	Desarrollo de Costos de mantenimiento basado en Condición.....	114
8.2.	Desarrollo Mantenimiento Basado en Condición con Principios de ISO 17359:2018.....	120
8.2.1.	Auditoría de Equipos.....	121
8.2.2.	Desarrollo de Matriz de Criticidad de Equipo.	122
8.2.3.	Desarrollo de la Selección Apropriada de la Estrategia de Mantenimiento y Métodos de Monitoreo de Condición.....	123

8.2.4.	<i>Métodos de Monitoreo de Condición</i>	123
8.2.5.	Desarrollo de Configuración y Gestión de Datos.	123
8.2.6.	<i>Desarrollo de Determinación de las Acciones de Mantenimiento.</i>	125
8.2.7.	<i>Desarrollo de Revisión de Efectividad del Plan de Mantenimiento Basado en Condición.</i>	125
8.2.8.	<i>Desarrollo de Análisis de Costo-Beneficio Aplicando Mantenimiento Basado en Condición con Principios de ISO 17259:2018.</i>	126
8.3.	Desarrollo Utilizando Principios de Industria 4.0.	131
8.3.1.	<i>Desarrollo de Elección del Método de Monitoreo</i>	131
8.3.2.	<i>Desarrollo Monitoreo Continuo.</i>	132
8.3.3.	<i>Desarrollo Monitoreo de Condición Colectores Automáticos</i>	139
8.3.4	<i>Monitoreo de Condición Mediante Rutas</i>	142
8.3.3.	<i>Desarrollo de Análisis de Costo con Aplicación de ISO 17359 y Principios de Mantenimiento 4.0.</i>	143
IX.	PROPUESTA DE INDICADORES.....	150
9.1.	Indicadores Generales de Mantenimiento.....	150
9.1.1.	<i>Disponibilidad.</i>	150
9.1.2.	Indicador MTBF.	151
9.2.	Indicadores de Impacto de Mantenimiento Basado en Condición en la Gestión de Mantenimiento.	152
9.3.	<i>Indicador de Impacto de Mantenimiento Basado en Condición en los Costos.</i> ..	153
9.3.1.	<i>Impacto en el Costo de Producción (Periodo Productivo)</i>	153
9.3.2.	<i>Indicador de Impacto de Mantenimiento Basado en Condición en el Costo de Mantenimiento (periodo no productivo).</i>	154
9.4.	Ventajas de Realizar Mantenimiento 4.0.	154
9.5.	Recurso Informático para Mantenimiento de Monitoreo de Condición.	155
9.5.1.	<i>CMMS e-Maint</i>	155
X.	CONCLUSIONES.....	156
	BIBLIOGRAFIA:	158

Tabla de Contenido

Tabla 1: Análisis de modo de falla para un sistema de bombeo.	34
Tabla 2: Cuadro de severidad de Vibraciones.	51
Tabla 3: Aplicación de técnicas inspección de grietas.	55
Tabla 4: Definición de función.	84
Tabla 5: Distribución de peso de factor, criterios y valor de criterios del aspecto de consecuencia.	86
Tabla 6: Distribución de peso de factor, criterios y valor de criterios del aspecto de ocurrencia.	87
Tabla 7: Cuadro de decisión.	88
Tabla 8: Plantilla para análisis modo de falla.	89
Tabla 9: Plantilla para análisis modo de falla incluyendo estrategia de mantenimiento.	90
Tabla 10: Parámetros de medición recomendados por ISO 17359	90
Tabla 11: Plantilla para método de monitoreo de condición.	92
Tabla 12: Plantilla para establecer límites operacionales para el monitoreo de condición.	94
Tabla 13: Plantilla para establecer variable de apoyo al diagnóstico para el monitoreo de condición.	95
Tabla 14: Plantilla para el control de grado de certeza.	99
Tabla 15: Cuadro de decisión para elección de método de monitoreo.	101
Tabla 16: Interrelaciones del mantenimiento con su ámbito externo.	103
Tabla 17: Interrelación del mantenimiento con su ámbito interno.	104
Tabla 18: Listado de equipo del área de generación de vapor y energía eléctrica.	114
Tabla 19: Cantidad de equipos por tipo.	114
Tabla 20: Inversión y amortización anual de equipos para método de monitoreo de condición.	114
Tabla 21: Costo de capacitación para equipos de monitoreo de condición.	115
Tabla 22: Costo unitario de horas hombre por técnica.	116
Tabla 23: Horas hombre de recolección de información por equipo.	116
Tabla 24: Horas hombre de análisis por equipo.	117
Tabla 25: Frecuencia de monitoreo al año.	118
Tabla 26: Cantidad de intervención por año.	118
Tabla 27: Costo total de horas hombre en el año.	118
Tabla 28: Disponibilidad de energía para vender.	119
Tabla 29: Resumen de cuenta de resultados aplicando mantenimiento basado en condición.	120
Tabla 30: Análisis de retorno de la inversión de mantenimiento basado en condición.	120
Tabla 31: Plantilla para identificación de funciones de bomba de alimentación de agua.	121
Tabla 32: Plantilla para identificación de funciones de tiro inducido.	121
Tabla 33: Resultados de matriz de criticidad de sistemas.	122
Tabla 34: Resultados de matriz de criticidad de equipos.	122
Tabla 35: Límites operacionales para el monitoreo de condición tiro inducido.	123

Tabla 36: Variable de apoyo al diagnóstico para el monitoreo de condición tiro inducido.	124
Tabla 37: Límites operacionales para el monitoreo de condición bomba de alimentación caldera.	124
Tabla 38: Variable de apoyo al diagnóstico para el monitoreo de condición bomba de alimentación caldera.	124
Tabla 39: Ejemplo de uso de control del grado de certeza para tiro inducido y bomba de alimentación caldera.	125
Tabla 40: Frecuencia de monitoreo por cada tecnología para equipos críticos.	127
Tabla 41: Cantidad de intervenciones en equipos crítico por año.	127
Tabla 42: Frecuencia de monitoreo por cada tecnología para equipos de criticidad media.	127
Tabla 43: Cantidad de intervenciones en equipos de criticidad media por año.	128
Tabla 44: Frecuencia de monitoreo por cada tecnología para equipos no críticos.	128
Tabla 45: Cantidad de intervenciones en equipos no críticos por año.	128
Tabla 46: Costo Anual de horas hombre por técnica con aplicación de ISO17359.	129
Tabla 47: Resumen de cuenta de resultados aplicando mantenimiento basado en condición con principios de ISO 17359.	130
Tabla 48: Resumen de análisis ROI aplicando mantenimiento basado en condición con principios de ISO 17359.	130
Tabla 49: Cantidad de sistemas según factor vulnerabilidad.	131
Tabla 50: Cantidad de equipos según factor de vulnerabilidad.	131
Tabla 51: Análisis de amortización por tecnología predictiva.	144
Tabla 52: Componente de equipo de monitoreo continuo.	145
Tabla 53: Componente de equipo de colector automático.	145
Tabla 54: Componente de equipo de ruta 4.0.	145
Tabla 55: Cantidad de equipos y método de monitoreo.	145
Tabla 56: Frecuencia de monitoreo de equipos críticos.	146
Tabla 57: Número de intervenciones anualizadas por equipos críticos.	146
Tabla 58: Frecuencia de monitoreo de equipos de criticidad media.	147
Tabla 59: Número de intervenciones anualizadas por equipos de criticidad media.	147
Tabla 60: Frecuencia de monitoreo de equipos no críticos.	147
Tabla 61: Número de intervenciones anualizadas por equipos no críticos.	148
Tabla 62: Costo Anual de horas hombre por técnica con aplicando principios de Mantenimiento 4.0.	148
Tabla 63: Resumen de cuenta de resultados aplicando mantenimiento basado en condición con principios de ISO 17359 y mantenimiento 4.0.	149
Tabla 64: Resumen de análisis de ROI aplicando mantenimiento basado en condición con principios de ISO 17359 y mantenimiento 4.0.	150

Índice de Ilustración

Ilustración 1: Ubicación de planta central de Izalco.	15
Ilustración 2: Planta central de Izalco.....	15
Ilustración 3: Diagrama de procesos de ingenio Central de Izalco.	15
Ilustración 4: Estructura organizacional de dirección industrial ingenio Central de Izalco .	16
Ilustración 5: Estructura de mantenimiento de ingenio Central de Izalco.	16
Ilustración 6: Categorización de mantenimiento industria según norma EN 13306:2010 ..	27
Ilustración 7: Identificación de función de equipo según J. Moubray.	31
Ilustración 8: Grafica intervalo P-F. Según J. Moubray	33
Ilustración 9: Diagrama de flujo de monitoreo de condición según norma ISO 17359.	36
Ilustración 10: Desalineamiento de ejes.	47
Ilustración 11: Eje doblado.	47
Ilustración 12: Megómetro.....	51
Ilustración 13: Sustancias para pruebas de discontinuidad en material.	52
Ilustración 14: Yugo electromagnético.	53
Ilustración 15: Equipo de ultrasonido pulso eco.....	55
Ilustración 16: Equipo boroscopio.....	56
Ilustración 17: Toma de muestra de lubricante.	57
Ilustración 18: Equipo ultrasonido acústico.....	58
Ilustración 19: Pilares de Mantenimiento 4.0.....	62
Ilustración 20: Conectividad de las cosas a internet.	63
Ilustración 21: Servicios disponibles en internet.	64
Ilustración 22: Conjunto de datos de gran volumen (Big Data).	66
Ilustración 23: Inteligencia artificial.....	67
Ilustración 24: Conjunto de elementos de modelo m. Predictivo en mantenimiento 4.0. ...	68
Ilustración 25: Diagrama de pérdidas de costos de producción del envejecimiento de máquina.	69
Ilustración 27: Diagrama de ahorro potencial de protección por uso de mantenimiento basado en condición.	69
Ilustración 26: Diagrama de costos de mantenimiento predeterminado.....	69
Ilustración 28: Diagrama típico de costos de instalación y operación de mantenimiento basado en condición.	70
Ilustración 29: Conjunto de disciplinas que interactúan con mantenimiento basado en condición desde el ámbito externo.	71
Ilustración 30: Conjunto de procesos para mantenimiento basado en condición desde ámbito interno.....	74
Ilustración 31: Diagrama de operación de toma de datos de manera continuo.	78
Ilustración 32: Diagrama de operación de toma de datos de manera automático.....	79
Ilustración 33: Diagrama de toma de datos por rutas.....	80
Ilustración 34: Taxonomía para clasificación de equipos según norma ISO 14224.	84
Ilustración 35: Flujograma de algoritmo de determinación de criticidad en los equipos.....	87

Ilustración 36: Diagrama de flujo de tipo de análisis para diagnóstico y pronóstico de falla potenciales.....	97
Ilustración 37: Agrupación de dos criterios para obtener método de monitoreo.	100
Ilustración 38: Histograma de clasificación de tiempo medio entre fallas de equipo.....	117
Ilustración 39: Identificación de funciones de acuerdo a taxonomía según norma ISO 14224.	121
Ilustración 40: Acciones de mantenimiento a tomar de acuerdo a la gravedad y progresión de falla.....	125
Ilustración 41: Diagnósticos certeros.	125
Ilustración 42: Cantidad de equipos y tecnología de monitoreo.	132
Ilustración 43: Puntos de medición para monitoreo continuo.	133
Ilustración 44: Calculadora de frecuencia de rodamiento.	135
Ilustración 45: Tipos de soldadura mecánica.....	136
Ilustración 46: Respuesta de frecuencia típica de un sensor.....	136
Ilustración 47: Respuesta de temperatura típica de un sensor.....	137
Ilustración 48: Tarjeta de adquisición de datos.	138
Ilustración 49: Arquitectura de red.....	139
Ilustración 50: Puntos de medición de motor y bomba de alimentación calderas.	140
Ilustración 51: Calculadora de frecuencia de rodamiento.	140
Ilustración 52: Curva de respuesta de frecuencia típica de sensor.	141
Ilustración 53: Arquitectura de red de monitoreo automático.....	142
Ilustración 54: Ruta de comunicación.	143
Ilustración 55: Mantenimiento preventivo.	155

Índice de Ecuación.

Ecuación 1: Calculo de criticidad con método de los puntos.	40
Ecuación 2: Ecuación de cálculo de aislamiento mínimo en motores eléctricos.	44
Ecuación 3: Ecuación de retorno de la inversión.	83
Ecuación 4: Factor de riesgo.	85
Ecuación 5: Consecuencia.	85
Ecuación 6: Ocurrencia.	86
Ecuación 7: Frecuencia de falla de pista externa en rodamiento.	133
Ecuación 8: Frecuencia de falla de pista interna en rodamiento.	133
Ecuación 9: Frecuencia de falla de jaula.	134
Ecuación 10: Frecuencia de falla de bolas.	134
Ecuación 11: Frecuencia máxima de sensor.	135
Ecuación 12: Formula de frecuencia de falla mínima.	136
Ecuación 13: Sustitución de variables por datos de campo en formula frecuencia de falla mínima.	136
Ecuación 14: Frecuencia de falla.	136
Ecuación 15: Resultado de frecuencia de falla mínima.	136
Ecuación 16: Frecuencia del sensor.	141
Ecuación 17: Frecuencia mínima de falla.	141
Ecuación 18: Ecuación para cálculo de disponibilidad de equipo.	150
Ecuación 19: Ecuación para cálculo de tiempo promedio entre falla.	151
Ecuación 20: Ecuación para cálculo de impacto de mantenimiento basado en condición en la gestión de mantenimiento.	152
Ecuación 21: Ecuación de cálculo de costos evitados por aplicar mantenimiento basado en condición en periodo productivo.	153
Ecuación 22: Ecuación de cálculo de costos evitados por aplicar mantenimiento basado en condición en periodo no productivo.	154

GLOSARIO DE TERMINOS Y ABREVIATURAS.

PLC: Controlador lógico programable.

ACR: Análisis causa raíz.

PHVA: Planificar, hacer, verificar, actuar.

TPM: Mantenimiento productivo total.

PM: Mantenimiento productivo.

MC: Mantenimiento correctivo.

RCM: Mantenimiento centrado en la confiabilidad.

GLPM: Galones por minuto

IBR: Inspección basada en riesgo.

IP: Protocolo de internet.

HTTPS: Protocolo de comunicación de Internet que protege la integridad y la confidencialidad de los datos de los usuarios entre sus ordenadores y el sitio web.

BLUETOOTH: Es una especificación tecnológica para redes inalámbricas que permite la transmisión de voz y datos entre distintos dispositivos mediante una radiofrecuencia.

WIFI: Conjunto de protocolos y hardware de red inalámbrica.

NUBE: Es un paradigma que permite ofrecer servicios de computación a través de una red, que usualmente es internet.

CURVA P-F: Es una representación gráfica del comportamiento de un equipo, maquina o componente, desde su entrada en servicio hasta el momento que presenta una falla que le impide seguir funcionando.

BUFFER DE MEMORIA: Es un dispositivo electrónico que almacena cierta cantidad de datos.

I. INTRODUCCIÓN.

Debido a la presión de las organizaciones por ser más eficientes en la gestión de los costos. Las gerencias de mantenimiento se ven en la necesidad de optimizar sus recursos. Para ello debe recurrir en estrategias que le permitan ser más eficientes en la gestión de costos y no descuidar el objetivo de mantener el equipo a su nivel de funcionamiento deseado.

Una de las estrategias más importantes es el mantenimiento basado en condición. Esta estrategia para ser realmente efectiva no debería estar en competencia con otras estrategias o técnicas; al contrario, debería estar integrada y valerse de estas otras para dar mejores resultados. Por ejemplo, al unirse con ingeniería de confiabilidad, con automatización industrial potencia sus resultados. Es entonces clave entender la interrelación de mantenimiento basado en condición con otras técnicas.

El mantenimiento basado en condición no es una estrategia reciente, al contrario, es una estrategia que se formó por el año 1960. Y de una u otra manera se ha estado implementando. Esta implementación muchas veces ha sido construida de acuerdo a las necesidades del momento. De este modo carece de una definición de sus procesos internos sólidos. Es por ello que es muy importante definirlos apoyándonos de normativas para tener mejores resultados. Y estar preparados para absorber y/o incluirse en nuevas necesidades como es el caso de la industria 4.0.

En este caso de estudio se planteará una propuesta de implementación de mantenimiento basado en condición que optimice los costos de mantenimiento en un ingenio azucarero. Con la peculiaridad de este tipo de industria en la región que son dos periodos. El periodo productivo, el cual se velará por la disminución de tiempos perdidos. Y en el periodo no productivo, realizando solo el mantenimiento necesario (basado en condición).

Así mismo se realizará una introducción para adoptar el advenimiento de nuevas tecnologías con la industria 4.0, su interrelación y su impacto en el mantenimiento basado en condición.

II. OBJETIVOS.

2.1. Objetivo General del Proyecto.

Diseñar un proceso metodológico para implementar y/o alinear la estrategia de mantenimiento basado en condición a los objetivos de la organización; optimizando costos de mantenimiento y disminuir los tiempos no disponibles de los equipos. Esta estrategia deberá interrelacionarse con otras disciplinas externas y tener cohesión en sus procesos internos. Así mismo deberá estar preparada para adoptar aspectos de industria 4.0.

2.2. Objetivo Específico del Proyecto.

Obtener fundamentos teóricos para establecer los procesos de implementación de la estrategia de mantenimiento basado en condición.

- Definir las interrelaciones con el entorno externo de un departamento que gestionara el mantenimiento basado en condición.
- Realizar una descripción de los aspectos internos más relevantes del departamento de mantenimiento basado en condición.
- Establecer una guía metodológica para implementar la estrategia de mantenimiento basado en condición. Utilizando principios de normativas. Que contemple selección de equipos de acuerdo a criticidad, análisis de modos de falla, técnicas de monitoreo, costos e indicadores.
- Describir conceptos de mantenimiento en industria 4.0 y su aplicación en gestión de mantenimiento basado en condición.

III. ALCANCE.

EL alcance de este proyecto de estudio es realizar una propuesta metodológica para la implementación de mantenimiento basado en condición con principios de normativa ISO 17359 y aspectos de industria 4.0.

Para ilustrar la propuesta metodológica se escogieron los equipos de generación de vapor y energía eléctrica del ingenio azucarero Central Izalco.

En el caso del desarrollo de las partes concernientes de análisis de costos y análisis de criticidad se tomaron todos los equipos de los procesos productivos antes mencionados. Y en el desarrollo de las otras partes metodológicas se tomaron de ejemplo los equipos: Tiros inducidos y Bombas de alimentación de agua a las calderas.

IV. RESULTADOS ESPERADOS.

Los resultados esperados de este proyecto son los siguientes:

- Jerarquizar equipos utilizando una metodología basada a un análisis de criticidad.
- Establecer un proceso basado en principios de normativa internacional para implementar la estrategia de mantenimiento basado en condición (iso 17359).
- Proponer un modelo para la implementación de mantenimiento basado en condición con principios de industria 4.0.

V. DESCRIPCION DE LA INSTITUCION.

5.1. Descripción General.

La planta central de Izalco se encuentra en el municipio de Izalco en el departamento de Sonsonate, en el oeste de El Salvador. La capacidad de molienda diaria es de 13,000 toneladas de caña de azúcar.

En 1964, nació la Compañía Azucarera Salvadoreña (CASSA), abriendo su planta de producción de azúcar, la Planta Central de Izalco. Sus fundadores, el Sr. Tomás Regalado González y la Sra. María Regalado Mathies se comprometieron a crear un negocio para desarrollar la producción de caña de azúcar e impulsar el crecimiento social y económico del país.

La planta central de Izalco prepara una variedad de tipos de azúcar para los mercados de consumo nacional, industrial y directo.

Desde su fundación, la producción de caña de azúcar se ha convertido en una de las principales actividades económicas de la zona.

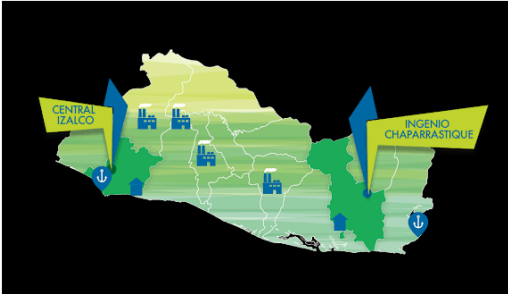


Ilustración 1: Ubicación de planta central de Izalco.



Ilustración 2: Planta central de Izalco.

5.2. Diagrama de Proceso.

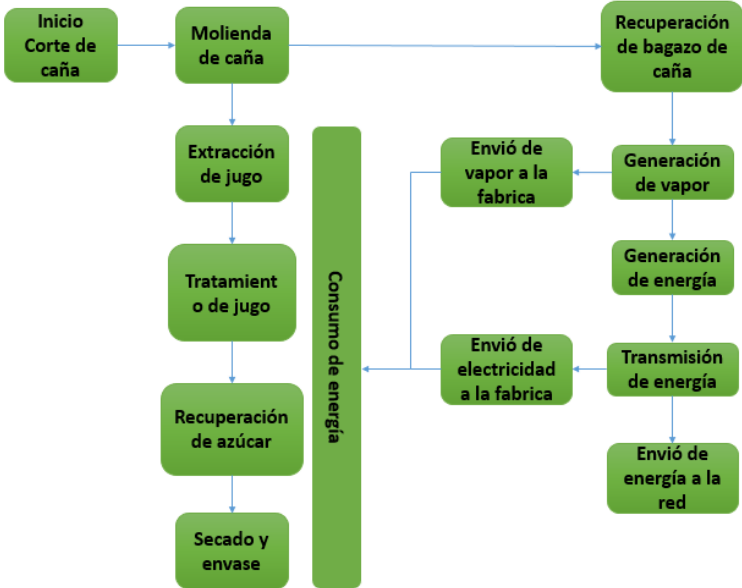


Ilustración 3: Diagrama de procesos de ingenio Central de Izalco.

5.3. Estructura Organizativa.

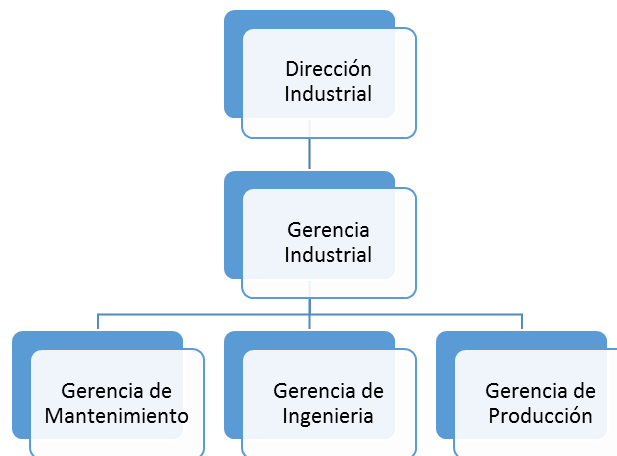


Ilustración 4: Estructura organizacional de dirección industrial ingenio Central de Izalco

5.4. Estructura de Mantenimiento.



Ilustración 5: Estructura de mantenimiento de ingenio Central de Izalco.

VI.MARCO DE REFERENCIA.

6.1. Conceptos Utilizados en Mantenimiento Industrial.

Con el fin de mantener una estructura formal y manejar una conceptualización homogénea se redactará los conceptos de los términos que utilizaremos en este trabajo de tesis para ello se ha tomado de base la norma ISO 14224:2016. Donde se divide en 3 grandes grupos de datos, los cuales definiremos los conceptos de cada uno de ellos.

- Datos de Los Equipos.
- Datos de Las fallas.
- Datos de Mantenimiento.

Datos de los Equipos: En este grupo de conceptos haremos referencia a la información de los equipos, de la taxonomía a utilizar y de los atributos de los mismos.

Equipo o Máquina: Unidad específica dentro de una clase de equipo que está definido por sus límites. Es una unidad que realiza una función.

Tipo de Equipo: Característica particular de diseño que es considerablemente diferente de otros diseños dentro de la misma clase de equipo.

Clase de Equipo: Tipos similares de equipos (Ej. Motor, bomba).

Especificaciones de Equipo: Parámetros técnicos, operacionales y medioambientales caracterizando el diseño y uso de un equipo.

Ítem Mantenable: Una unidad definida como mínima a la que se le pueda dar mantenimiento. ES el nivel más bajo de la jerarquía de equipos.

Nivel Jerárquico: Nivel de subdivisiones de una estructura desde un punto de vista de mantenimiento.

Número de Etiqueta: Código único que identifica la función del equipo y su ubicación física.

Taxonomía: Clasificación sistemática de ítems en grupos genéricos basados en factores comunes a varios ítems.

Datos de las Fallas: En este grupo definiremos todo lo relacionado a la falla desde su concepto hasta los aspectos que la han ocasionado y sus efectos.

Falla: Pérdida de la capacidad de realizar la función requerida.

Fallas de modo Común: Fallas de diferentes ítems caracterizadas por el mismo modo de falla. El potencial de este tipo de falla es que reduce la efectividad de la redundancia de los equipos.

Falla Crítica: Falla que causa un cese inmediato de la capacidad de realizar la función requerida.

Falla Sistemática: Falla que ocurre con mucha frecuencia bajo condiciones particulares en el manejo, almacenaje u operación.

Causa de Falla / Causa Raíz: Serie de circunstancias que conducen a la falla.

Frecuencia de Falla: Intensidad con la que se presentan eventos de falla en un intervalo de tiempo.

Impacto de Falla: Efecto de una falla en la función o funciones de un equipo o en la planta.

Mecanismo de Falla: Proceso que conduce a la falla (puede ser un proceso físico, químico, lógico o una combinación de estos).

Modo de Falla: Forma en que la falla ocurre.

Falla Incipiente: Imperfección en el estado o condición de un equipo, que hace que una falla degradada o crítica se pueda dar.

Falla Funcional: Es la incapacidad de un equipo o máquina de cumplir su función principal.

Falla Potencial: Son los primeros indicios de una falla en un equipo o máquina y si no se corrige se convertirá en una falla funcional.

Falla Latente: Falla que no se ha hecho evidente. Puede ser revelada por un mantenimiento preventivo o un correctivo.

Falla de Degradación: Fallas que no cesa la función fundamental (requerida), pero abarca una o más funciones de la máquina. Puede programarse su mantenimiento correctivo posterior y tiene potencial de convertirse en una falla crítica.

Estado no Disponible o Parada: Estado de incapacidad de realizar la función requerida ya sea por una falla de la maquina o un mantenimiento preventivo. Planificado o no planificado.

Datos de Mantenimiento: En este grupo definiremos todo lo relacionado a mantenimiento por ejemplo acciones de mantenimiento, tiempos de mantenimiento, etc.

Tiempo Activo de Mantenimiento: Duración de una acción de mantenimiento, excluyendo la demora logística. No implica necesariamente que el equipo este detenido, puede ser que el equipo este cumpliendo su función.

Tiempo Activo de Reparación: Tiempo efectivo para lograr reparar un ítem.

Disponibilidad: Estado en el cual el equipo tiene la capacidad de realizar la función requerida.

Mantenimiento Basado en condición: Mantenimiento preventivo, basado en la evaluación de la condición física de la máquina.

Mantenimiento Correctivo: Mantenimiento realizado después de detectar una falla hasta completar la restauración de la máquina.

Mantenimiento Preventivo: Mantenimiento llevado a cabo de acuerdo con el programa de tiempo específico. Y también para poder mantener la función requerida y disminuir la probabilidad de falla (resolución de fallas incipientes o por degradación).

Mantenimiento Predictivo: Trata de predecir una falla funcional de una máquina. Midiendo y analizando una serie de datos históricos y parámetros operativos.

Mantenimiento de Oportunidad: Mantenimiento de un equipo en el cual hay una falla degradada o incipiente. Pero que aún mantiene su función. Se realiza cuando hay una oportunidad no planificada para no afectar la disponibilidad.

Confiabilidad: Capacidad de un ítem para realizar una función requerida bajo condiciones dadas durante un intervalo de tiempo dado. También puede definirse como una medida de desempeño y una probabilidad de no tener fallas en un tiempo dado.

Redundancia: Existencia de más de un medio o equipo para realizar una función requerida. De este modo se preserva la función requerida del equipo.

Función Requerida: Función de un ítem que es considerado necesario para dar un servicio dado.

Función Principal: Son la razón principal por la que un equipo ha sido adquirido.

Función Secundaria: Son las funciones adicionales a la función principal que tiene los equipos.

Método de Detección: Actividad mediante el cual una falla es detectada. Abarca desde métodos sensoriales (sentidos), equipos de monitoreo.

Tiempo de Parada: Tiempo en el cual una maquina está en estado de Parada o No disponible. Incluye las demoras, los tiempos de reparación y la puesta en marcha. Este tiempo puede ser planificado o no planificado.

Mantenibilidad: Capacidad de restaurar la función a un estado de rendimiento requerido, bajo condiciones de uso y mantenimiento (facilidad de mantenimiento, ubicación, procedimientos y recursos de mantenimiento). Puede ser medido (tiempos de mantenimiento).

Mantenimiento: Combinaciones de todas las acciones técnicas y de gestión que tienen por objetivo mantener un equipo desempeñando su función requerida o restaurar la función del equipo.

Horas Hombre de Mantenimiento: Lapso acumulado de tiempos individuales de mantenimiento utilizados en una acción de mantenimiento.

Plan de Mantenimiento: Series de tareas estructuradas y documentadas que incluye actividades, procedimientos, recursos y tiempo estándar para ejecución de tareas.

Registros de Mantenimiento: Parte de la documentación de mantenimiento que contiene toda la información de la falla y acciones de mantenimiento (recursos, tiempos, etc.). La herramienta o formato es la Orden de Trabajo.

Parada de Planta: Evento planeado en donde un proceso entero se saca de línea para una reparación mayor, varias reparaciones pequeñas e importantes, modernización.

Estado Disponible: Estado en el cual se encuentra disponible para realizar la función requerida.

Tiempo Disponible: Lapso de tiempo en el cual un ítem se encuentra en estado disponible.

6.2. Antecedentes de Mantenimiento Industrial.

6.2.1. *Evolución del Mantenimiento Industrial.*

A lo largo del proceso de desarrollo la industria, ésta ha exigido que el área de mantenimiento se desarrolle para poder ayudarla a lograr las metas que se propone. Es por ello que el mantenimiento ha sufrido grandes cambios que han sido marcados por hitos que llamaremos descriptores. Que han marcado la evolución tanto de la industria como del mantenimiento.

Las revoluciones industriales que ha tenido la industria han sido tres y actualmente se vive una cuarta revolución industrial.

- a) Desde 1200 A.C. hasta La Primera Revolución Industrial. - La producción industrial era producción artesanal cuya fuerza motriz era la fuerza humana o animal. En este periodo el mantenimiento era incipiente. Solamente se realizaban reparaciones o Mantenimiento Correctivo (MC) a algunas herramientas o utensilios.
- b) La Primera Revolución Industrial (1760-1830). -En este periodo en la industria comienza utilizar los sistemas de producción mecánicos con tracción hidráulica y de vapor.

Los hechos importantes para la producción industrial fueron:

- 1774: Primera Máquina a vapor.
- 1784: Primer telar mecanizado.
- 1829: Locomotora a Vapor.

Algunos antecedentes importantes de mantenimiento:

- 1780: En fábricas de papel. Los trabajadores se encargaban de operar la máquina, pero también realizaban labores de Mantenimiento Correctivo (MC), pues la disponibilidad de la maquina se consideraba muy importante al igual que el propio trabajo de producir papel.
- 1798: Eli Whitney, desarrolla la idea de aplicar partes intercambiables en maquinarias de guerra.
- 1841-1925: Henry Fayol, Desarrollo el proceso administrativo con 5 elementos (planear, organizar, dirigir, coordinar y controlar) que origina la rivalidad entre los departamentos de producción y mantenimiento.

Debido a que, en este periodo evolutivo de la industria, las maquinarias eran sencillas y no se le daba mayor importancia a los tiempos perdidos el mantenimiento era fácil de realizar y no había necesidad de tener personal capacitado.

c) La Segunda Revolución Industrial (1860-1940): En este periodo se desarrolla la producción en serie, utilización de sistemas eléctricos. Hay un gran desarrollo de la industria química, eléctrica y automovilista.

Los hechos importantes para la producción fueron:

- 1871: Primera central eléctrica destinada para el uso comercial.
- 1871: Utilización de bandas transportadoras.
- 1880: Thomas Edison Patenta la bombilla eléctrica.
- 1886: Primeros vehículos de combustión interna.
- 1914: (Henry Ford) Utilización de bandas transportadoras para fabricación de vehículos.

Los antecedentes importantes para el mantenimiento fueron:

- 1856-1915: (Frederick W. Taylor) Impulsa esta revolución industrial al aumentar el científicismo en el trabajo y en la administración, incrementando la productividad. El mantenimiento continuó siendo correctivo.
- 1910: Al incrementarse el número de máquinas y por ende la cantidad de fallas. El trabajador de producción invierte más tiempo en los mantenimientos correctivos. Por tanto, va surgiendo la necesidad de tener personas exclusivas para la reparación y con cierto conocimiento de las maquinas.
- 1915: Durante la Primera Guerra Mundial, debido a la necesidad de tener el armamento operativo, se realizan partes intercambiables para disminuir el tiempo de reparación.
- 1937: Debido al creciente número de activos de las empresas se obligó a analizar la importancia de los mismos para priorizar las acciones sobre estos.
- 1939:1945: Durante la Segunda Guerra Mundial, se enfatizan los trabajos de mantenimiento preventivo. Para tener las armas disponibles.
- 1946: Se ha sistematizado el mantenimiento preventivo en la industria, se observa que aún continúan las fallas y los costos de mantenimiento son elevados.

- 1946: (American Society for Quality), se creó la Sociedad Americana de Control de Calidad de la cual fue parte el Dr. Edwards Deming. Aplicó el ciclo PHVA (planificar, hacer, verificar y actuar).

Debido a las guerras mundiales y en especial a la Segunda Guerra Mundial, hubo la necesidad de mecanizar los procesos para mejorar la productividad, por ende, los tiempos improductivos no eran aceptados. Nace la idea que se puede prevenir los fallos en equipos, por tanto, se establecen los mantenimientos preventivos. A su vez estos hacen que los costos de mantenimiento se eleven. Por tanto, se comienzan a poner elementos de control para el mantenimiento.

d) La Tercera Revolución industrial (1960-1990): En esta etapa se incorpora a la industria la microelectrónica y la tecnología de información para automatizar la producción.

Los hechos importantes en la producción fueron:

- 1962: Primeros Ordenadores o computadores.
- 1969: Primer PLC. Que se utilizó para control de proceso productivo.
- 1990: World Wide Web (www internet).

Los antecedentes importantes para mantenimiento fueron:

- (Industriales de Estados Unidos de América): Se creó el concepto de Mantenimiento Productivo. El mantenimiento debe obtener calidad, cantidad, producto y no solo el cuidado de las máquinas.
- (Kaoru Ishikawa): Con su experiencia en el control de Calidad crea los diagramas de Ishikawa.
- (Kepner Tregoe): Presenta el Libro "Directivo Racional", del cual se derivó el Análisis de Causa Raíz (ACR), que facilita la investigación para conocer las causas que producen un efecto para obtener un diagnóstico y su posterior tratamiento.

- (Shigeo Shingo): Comienza a desarrollar el sistema Poka-Yoke, que significa “A prueba de errores”.
- 1960: Industria Aeronáutica, a pesar que hubo un cumplimiento estricto del mantenimiento preventivo (cambio de piezas usadas por nuevas) y un alto costo. Existía una alta tasa de accidentes catastróficos. Por tanto, solo el mantenimiento preventivo no garantizaba el servicio ofrecido. Por tanto, existían otros factores que causaban fallas.
- (Stanley Nowland y Howar Heap): De la Asociación de Transporte Aero Norteamericano, publicaron el libro de Mantenimiento Centrado en la confiabilidad.
- (Seiichi Nakajima): Creo el Mantenimiento Productivo Total (TPM), basado en el Mantenimiento Productivo (PM) estadounidense.
- (Hiroyuki Hirano): Presentó su libro “5 Pillars of Visual Workplace”, más conocido como “5S”.
- (John M. Moubray): Aplicaron el RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad) en toda clase de industria. Empezando en Sudáfrica e Inglaterra.
- 1970: Se crea el software para la administración del mantenimiento (CMMS). Que es una evolución del Sistema de administración de Activos (EAM) y planeación de necesidades de la empresa (ERB).
- (Mantenimiento Predictivo): Teniendo el manejo estadístico de datos y mediciones de calidad de los productos se busca anticipar la falla mediante síntomas. Además, se hacen uso de información sensorial (sentidos humanos) y equipamientos básicos que posteriormente se van sofisticando.

Esta generación de mantenimiento se caracteriza por el desarrollo de teorías y técnicas que pretenden mejorar la productividad y calidad de los productos. Las interrupciones de los procesos se vuelven costos (velocidad de producción es más rápida). Además, hubo un afán de optimización manejo adecuado de stocks, tiempo y costos. Con el avance tecnológico se tiene mayor información para gestionar y hacer más eficiente el mantenimiento.

e) Cuarta Revolución Industrial: Esta etapa es conocida también como Industria 4.0. Se caracteriza principalmente por la digitalización de los procesos productivos; es decir se emplea el IoT (internet of things), Cloud computing (computación en la nube). Y el concepto de espacio Ciberfísico (conjunto de interfaces de usuarios, sensores y actuadores).

Los hechos importantes en la producción fueron:

- Feria de Hannover (Alemania-2012): Se presentó un conjunto de recomendaciones para la implementación de la Industria 4.0 (Computarización de la manufactura,) en el gobierno federal alemán
- Klaus Schwab (2016): "The fourth industrial revolution", la nueva revolución tecnológica traerá consigo el cambio de la humanidad pues convergerán sistemas digitales, físicos y biológicos.
- Extensión Automatización: Los procesos productivos se han automatizado de forma más extensa. Aumentando la productividad.
- Disminución de costo de tecnología: El avance tecnológico acelerado ha hecho que los equipos tecnológicos sean menos costosos, por lo que el acceso a ellos es mucho más fácil.

Antecedentes importantes para mantenimiento:

- Mayores exigencias a Mantenimiento: Debido al aumento de la producción (impulsada por la automatización extensiva), mayores exigencias de calidad (estándares que cumplir) y cumplimiento de normativas gubernamentales (medio ambiental, derechos laborales).
- Tecnologías de Mantenimiento: Auge de tecnologías de soporte a mantenimiento como equipos de monitoreo de condición.
- Gestión de Riesgos: Metodologías para priorizar y hacer eficiente la asignación de recursos de mantenimiento.

Interconexión de equipos: Las máquinas están provisto de sensores para ser monitoreados de modo remoto. Y se presentan tecnologías Wireless para interconectar equipos.

6.3. Categorización de Mantenimiento.

El mantenimiento se puede categorizar de acuerdo a criterio que tenga cada organización; sin embargo, bajo la normativa EN 13306:2010 existe una clasificación que es muy aceptada no solo en la Unión Europea sino en otros países. El mantenimiento se puede categorizar en dos grandes grupos dependiendo de la presencia de una falla o no. Se presenta un esquema de esta clasificación.

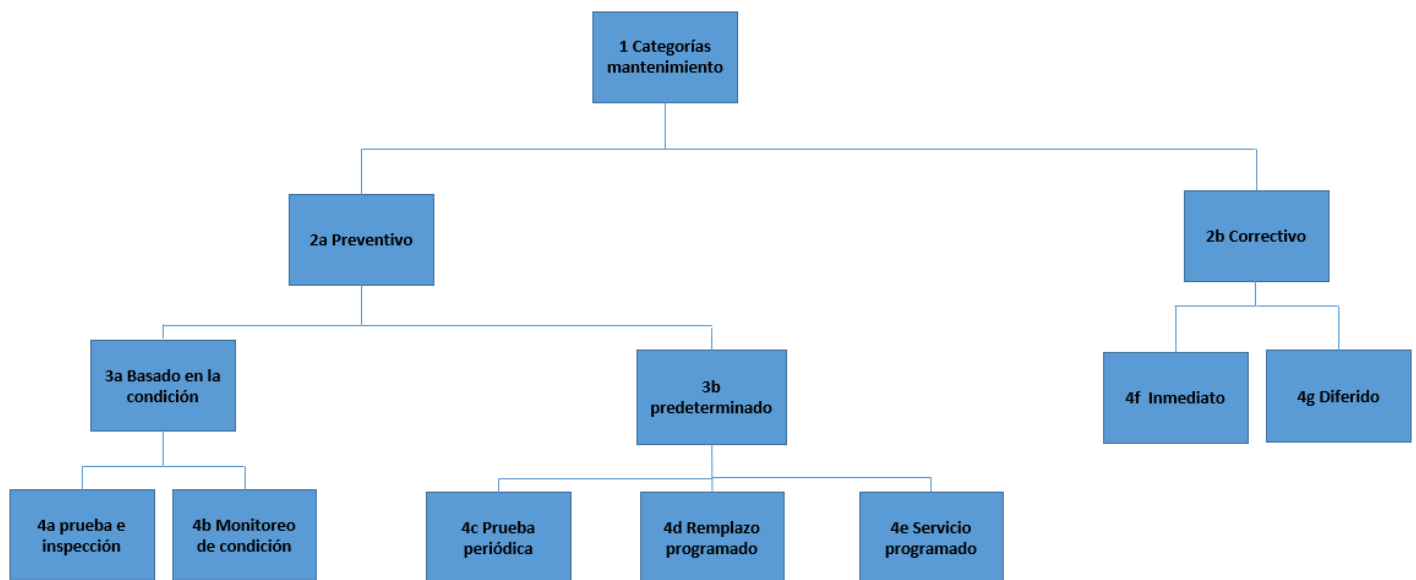


Ilustración 6: Categorización de mantenimiento industria según norma EN 13306:2010

6.3.1. Mantenimiento Preventivo.

Son aquellas actividades de mantenimiento que se realizan para prevenir la falla. Es decir, antes que el equipo presente una falla. Este tipo de mantenimiento se subdivide en otras dos grandes categorías.

6.3.1.1. *Mantenimiento Basado en Condición.*

Este tipo de mantenimiento se caracteriza por intervenir en el equipo solo si es necesario hacerlo. Es decir que si no hay evidencia de una falla no se interviene el equipo (al detectar una falla potencial se planifica la intervención). El mantenimiento basado en condición se puede dividir en dos subcategorías.

❖ Prueba e Inspección:

Estas actividades se caracterizan por realizarse de modo programado y no se mide ninguna variable física solo se aprecia y se cuantifica la magnitud del hallazgo. Se conoce como “indicaciones”. Estas indicaciones de acuerdo a las normas son aceptadas o rechazadas. Ejemplos de estas actividades son: Ensayos con líquidos penetrantes, radiografías e inspecciones sensoriales, etc.

❖ Monitoreo de Condición:

Son actividades planificadas y programadas mediante rutas en la cual se recolecta mediciones de alguna variable física (ejemplo: Vibraciones, temperatura, termografía, torque, medición de espesores, etc.). Estas mediciones son analizadas y producto de ese análisis se obtiene un diagnostico que nos indicara la presencia de una falla potencial.

6.3.1.2. *Mantenimiento Predeterminado.*

Es aquel mantenimiento en el cual se debe tener certeza de la actividad que se va a realizar y la frecuencia con la que se va realizar. Es decir, se debe saber que actividades se realizaran, que recursos se necesitara, cuanto tiempo durara y con qué frecuencia se realizara. La frecuencia puede ser tiempo o una variable medida (por ejemplo, horas de operación, ciclos de trabajo, etc.).

El mantenimiento predeterminado se subdivide en otros 3 tipos de mantenimiento:

❖ Prueba Periódica:

Este tipo de mantenimiento se enfoca en realizar pruebas para detectar fallas que no se manifiestan en una operación normal, estas fallas generalmente se dan en equipos de protección o en equipos que están considerados redundantes. Para ellos se simula situaciones que los obliga a funcionar. Por ejemplo: Presiones elevadas, temperaturas elevadas, etc.

Cabe mencionar que estos equipos de protección o redundantes deben tener un nivel de confiabilidad muy alto.

❖ Reemplazo Programado:

Este subtipo de mantenimiento preventivo es el más conocido. Se caracteriza por realizar cambios de partes a intervalos determinados, ya sea por tiempo o por alguna variable asignada (ejemplo: Ciclos de trabajo, kilómetros recorrido, horas máquina, etc.). Este tipo de mantenimiento además tiene la característica de cambiar las partes sin importar la condición de la parte. Es decir, aunque este en buen estado se procede a cambiar.

❖ Servicio Programado:

Este mantenimiento tiene por objetivo alargar la vida útil de la máquina y además agrega valor contable a la máquina. Comúnmente se le llama “overhaul”, la característica principal de este mantenimiento es que se realiza después de un largo periodo de uso (que ya es predeterminado), es altamente invasivo y reparación o reposición de componentes importantes.

6.3.2. Mantenimiento Correctivo.

El mantenimiento correctivo se realiza después de la detección de una Falla. Esta falla puede ser funcional o potencial. Esta categoría se subdivide en otras dos categorías.

6.3.2.1. Mantenimiento Correctivo Inmediato.

Este mantenimiento generalmente se da por la ocurrencia de una falla funcional. Se caracteriza por que se tiene que intervenir de forma inmediata no es planificado ni programado. Es el peor escenario de las actividades de mantenimiento pues tiene abundante lucro cesante y alto potencial de accidentes personales o daños en los equipos.

6.3.2.2. Mantenimiento Correctivo Diferido.

Es aquel mantenimiento que se origina por la detección de una falla potencial. Es decir, que ya se inició la falla, pero la maquina puede operar hasta programar la actividad de mantenimiento. Se caracteriza por un menor lucro cesante comparado al correctivo inmediato y hay un tiempo para preparar los insumos.

6.4. Factores Principales que Influyen en Mantenimiento Basado en Condición.

6.4.1. Identificación de Funciones de Equipo.

En la metodología de mantenimiento basado en condición debemos tener en claro el objetivo de mantenimiento es preservar la función requerida por el usuario.

Función: Según el libro de Jhon Moubray RCM2: El estado que queremos preservar de un activo debe ser aquel que en el cual continúe haciendo lo que sea que sus usuarios quieran que haga. Esta afirmación es categórica y deja claro que la función es diferente a la capacidad del activo. Por ejemplo: Si tenemos una bomba con capacidad de 100 GLPM no quiere decir que esa sea su función, su función podría ser bombear 90 GLPM. Generalmente la diferencia entre la capacidad nominal y la función deseada por el usuario es el margen de deterioro del equipo.

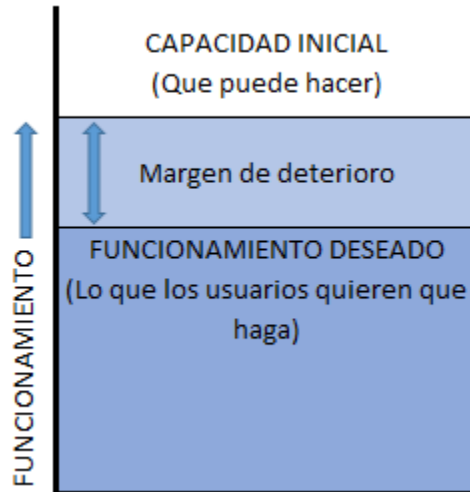


Ilustración 7: Identificación de función de equipo según J. Moubray.

Moubray menciona que para definir correctamente una función se debe de realizar del siguiente modo: “Un verbo, un objeto y un estándar de funcionamiento deseado por el usuario”.

Por ejemplo, tenemos: Función de una bomba de Lubricación.

“Bombear lubricante a 3000 psi hasta una distancia de 20 metros”.

Adicionalmente Moubray, divide las funciones en dos tipos principales:

❖ **Funciones Primarias:** Son la razón principal por la que un equipo ha sido adquirido. Por lo general el propio nombre lo indica. Por ejemplo: Equipo Bomba, la función será bombear. Y esto tendrá que ir acompañado de la estructura mencionada líneas arriba para ser correctamente definida.

❖ **Funciones Secundarias:** Son las funciones adicionales a la función primaria que tiene los equipos. Estas funciones secundarias se categorizan en funciones referente a:

- Ecología e integridad ambiental.

- Seguridad e integridad estructural.
- Control contención y confort.
- Apariencia.
- Protección.
- Eficiencia-Economía.
- Funciones superfluas.

En el caso de estudio para desarrollar los análisis modales de fallas se considerará solo la función principal. De los equipos más críticos.

6.4.2. Intervalos P-F¹.

Es la representación gráfica de del comportamiento de un equipo, desde su puesta en marcha hasta llegar a una falla funcional que detiene su funcionamiento.

La curva presenta en el eje “X” al tiempo del ciclo de vida del equipo, y en el eje “Y” representa la condición del mismo.

En la parte superior izquierda de la gráfica y hasta la aparición del punto “P” (detección de falla potencial), se dice que el equipo ha estado trabajando en las mejores condiciones posibles. A medida que el equipo avanza en el tiempo y no se corrige la falla potencial detectada, la condición del mismo continúa desde el punto “P” hasta el punto “F”, el cual representa la falla funcional.

El intervalo P-F debe proporcionar un periodo de tiempo adecuado para que la operación de mantenimiento actúe y corrija a partir del momento que es detectada la falla potencial.

¹ Barreda Beltrán, Salvador. PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) EN LA EDAR DE NULES-VILAVELLA. España. Universidad Jaume I. Julio 2015. 23p.

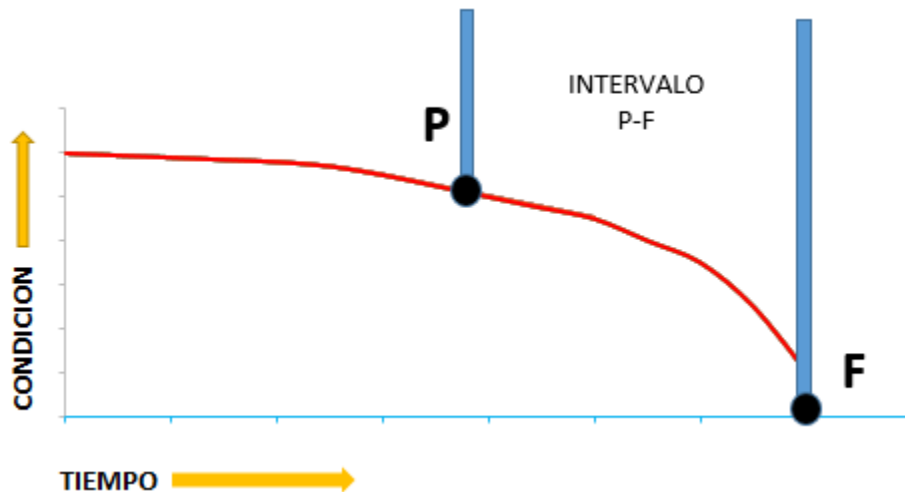


Ilustración 8: Gráfica intervalo P-F. Según J. Moubray

6.4.3. Análisis Modo de Falla.

6.4.3.1. Modo de Falla.

El análisis modal de fallas es una técnica que nos permite hacer un análisis de los modos que puede presentarse una falla funcional y los efectos que traería si se presenta la falla.

Partiendo del concepto de función principal que se ha citado en el ítem anterior, se define modo de falla como: “Cualquier evento que puede ocasionar una falla funcional”. (Moubray RCM2).

Para identificar el modo de falla debe tenerse identificada la función, el modo de falla debería comprender la falla que afecta la función requerida; inclusive una disminución de rendimiento que este fuera del rango de rendimiento establecido.

Para Moubray, la definición correcta de un modo de falla debe tener en su estructura semántica por lo menos un sustantivo y un verbo. Por ejemplo: Motor quemado. Sin embargo el modo de falla debe tener el detalle suficiente para determinar una política de tratamiento de la falla.

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA: SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA DE REFRIGERACION			
		SUB-SISTEMA			
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (Pérdida de función)		MODO DE FALLA (Cause de la falla)	
1	Transferir agua desde el tanque X al tanque Y a no menos de 800 litros por minuto.	A	Incapaz de transferir agua	1	Coginetes agarrotados
				2	Impulsor loco, suelto
				3	Impulsor trabado por un cuerpo extraño
				4	El cubo de acople falla por fatiga
				5	Motor quemado
				6	Valvula de ingreso trabada en posición cerrada
				7	...etc.
		B	Transfiere menos de 800 litros por minuto	1	Impulsor gastado
				2	Línea de succión parcialmente bloqueada
				3	...etc.

Tabla 1: Análisis de modo de falla para un sistema de bombeo.

6.4.3.2. Efectos de Falla.

El efecto de la falla define la secuencia de sucesos que ocurren cuando se presenta el modo de falla. Es decir, describe que pasa cuando ocurre la falla (Moubray).

La descripción de los efectos del modo de falla para Moubray debería incluir en lo posible:

- Evidencia de que se ha producido una falla.
- Las maneras en que la falla supone una amenaza para la seguridad y medio ambiente.
- La manera de afectación a la operación y/o producción.
- Los daños físicos causados por la falla.
- Las acciones para reparar la falla.

6.4.4. Consecuencia de Fallas.

La consecuencia de la falla es la que trata de cuantificar el impacto del modo de falla. A diferencia del modo de falla que trata de responder ¿Qué ocurre si el modo

de falla sucede?, la consecuencia de la falla trata de responder la pregunta ¿Qué tan importante es la falla que se presenta con ese modo de falla?

Se puede definir la consecuencia como la magnitud del impacto si sucede la falla. Este impacto se puede categorizar, por ejemplo: Impacto en la seguridad, medio ambiente, en la producción, etc.

Estos impactos podrían variar de acuerdo a la naturaleza de la empresa. Pero, por lo general se suscriben a los ejemplos antes mencionados.

6.5. Normativa ISO 17359:2018².

La norma ISO 17359:2018, (Condition monitoring and diagnostics of machines - general guidelines), incluye un grupo de estándares para el diagnóstico y monitoreo de condición y presenta una descripción general de un procedimiento genérico que se recomienda utilizar al implementar un programa de monitoreo de condición. Por medio del monitoreo de condición se identifica y detectan síntomas de modos de fallas, causa raíz y se obtiene mejor diagnóstico y pronóstico.

²Organización Internacional de Normalización (ISO). 2018. Condition monitoring and diagnostics. Tercera Edición. Numero de Referencia ISO 17359:2018(E). Suiza.

A continuación, se presenta el diagrama de flujo recomendado para organizar un plan de mantenimiento basado en la condición o mantenimiento predictivo.

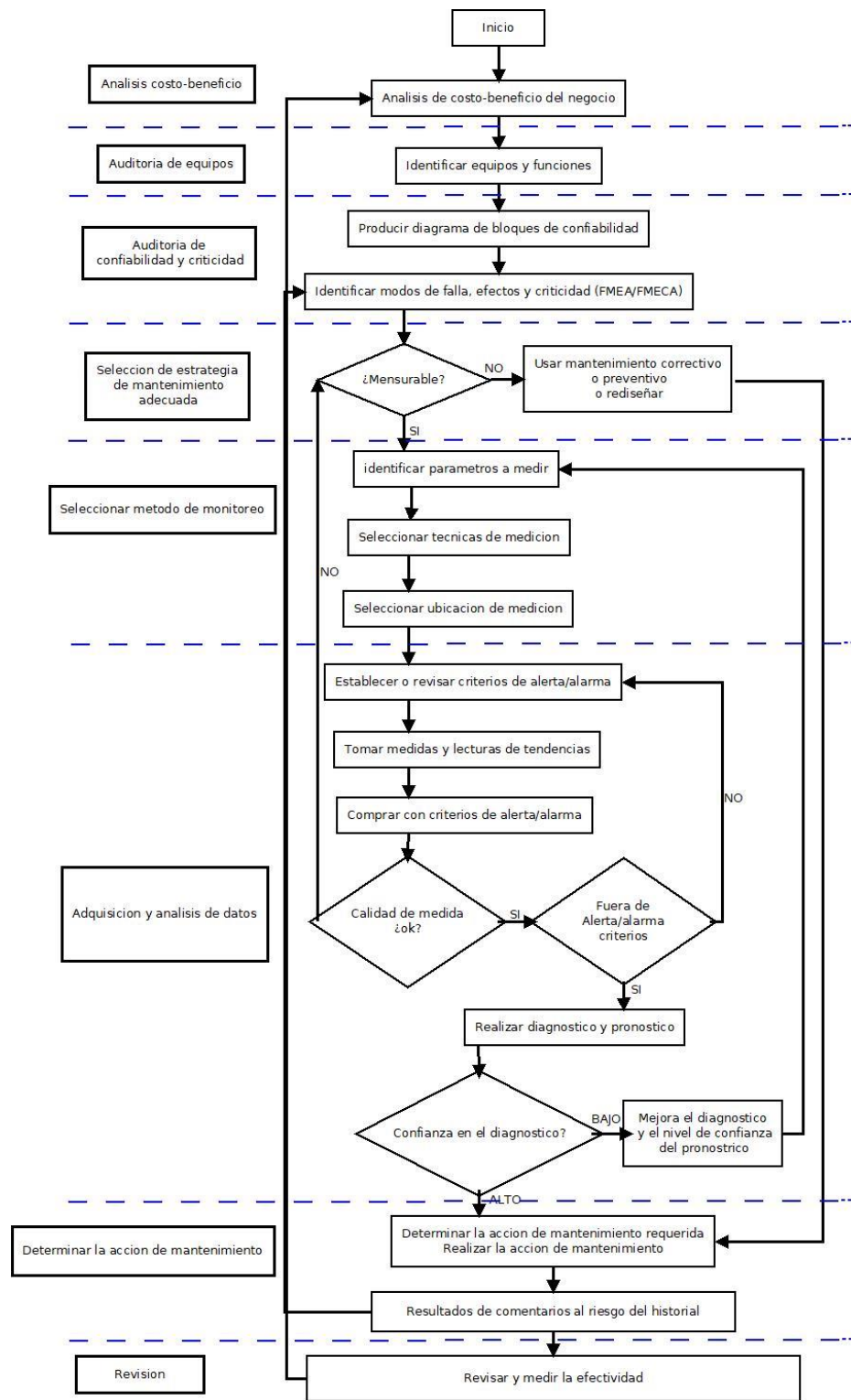


Ilustración 9: Diagrama de flujo de monitoreo de condición según norma ISO 17359.

6.6. Identificación de Equipos.

La taxonomía es la herramienta que se utilizara para identificar los equipos de una manera única y estructurada. Con esta identificación aseguraremos el manejo de información de calidad con mejor precisión. Esto nos permitirá tomar decisiones con datos precisos. La taxonomía que se usara es basada en la norma ISO14224:2016.

Los niveles Taxonómicos: Son la clasificación de los activos físico que los agrupa por su uso, localización y subdivisión de equipos.

- **Industria:** Este nivel hace referencia a la razón de ser de las unidades estratégicas o tipo principal de industria, es decir; minería, pesca, agroindustria, petróleo, farmacia, etc.
- **Categoría del Negocio:** Hace referencia a la clasificación del negocio por el procesamiento de corrientes. Por ejemplo, en la industria del petróleo: Procesos aguas arriba (Exploración y Producción – E&P), medios (Extracción de GNL) y aguas abajo (Refinación y Petroquímica).
- **Instalación:** Hace referencia al macroproceso productivo, por ejemplo, en la industria petrolera: Instalación de perforación en superficie y costa afuera, almacenamiento (patio de tanques) y refinería.
- **Planta/Unidad:** Se refiere al proceso productivo en específico que hace un conjunto de sistemas. En la industria petrolera seria: Planta de producción en tierra (pozos petroleros convencionales), Fraccionamiento GNL y Unidad de Destilación Atmosférica de Crudo.
- **Sección/Sistema:** Son las secciones que conforman la planta. Funcionan como una unidad para realizar un proceso específico. En la industria petrolera es: tratamiento de gas, gas combustible y desalación.

A partir del siguiente nivel, se tiene elementos similares para las industrias.

- Equipo: Es una unidad de equipo específico dentro de una clase de equipo. Por ejemplo: bomba, compresor, ventilador, turbina, motor eléctrico, turbogenerador, tanque, otros.
- Sub-equipo/Subunidad de activo: Representa al subconjunto o subequipos (que estén dentro del límite principal) que proporcionan un servicio específico y requerido para asegurar que la unidad de equipo cumpla con su función y alcance el desempeño previsto. Por ejemplo: bomba auxiliar de lubricación, enfriador de aceite lubricante, ventilador de una torre de agua de enfriamiento, mezclador de un tanque, otros.
- Componente o ítem Mantenibles: Son los elementos de la unidad de un equipo o subunidad que están sujetas a acciones de mantenimiento, es decir ítems mantenibles. Por ejemplo: Acoples, caja de engranajes, filtros (recipiente), caja de rodamientos, etc.
- Parte: Son las piezas asociadas a los equipos o subunidades de un equipo; ejemplo: sello mecánico, impulsor, rodamientos, tornillos, tuercas, rodamientos, cojinetes, anillos de desgaste, otros.

6.7. Análisis de Criticidad.

Es una metodología que permite jerarquizar los sistemas y equipos en función de su impacto global. Esto permitirá tomar decisiones acertadas y efectivas.

La metodología consiste en asignar valores basados en criterio que usualmente se asocian a:

- Frecuencia de fallas.
- Seguridad- higiene – ambiente.
- Calidad.
- Impacto en la producción y costos de mantenimiento.

Este análisis de criticidad genera un listado de ponderada desde el elemento más crítico hasta el menos crítico del total de activos analizados. Esto es posible, estableciendo rangos relativos para representar la probabilidad y la frecuencia de

ocurrencia de eventos y sus consecuencias. Ambas magnitudes, frecuencias y consecuencias son registradas en una matriz de criticidad.

En la matriz de criticidad usualmente se establecen, por la organización o proceso donde se aplique la matriz, tres regiones:

- Región de riesgo aceptable.
- Región de riesgo inaceptable (critica media).
- Región intermedia, de riesgo aceptable entre riesgo inaceptable (ocasión de evaluación).

Algo de considerar, es el esfuerzo de análisis y consumo de recursos para analizar y diseñar una estructura de criticidad que sea funcional. Por esta razón, existen metodologías de criticidad diseñadas y probadas, que muchas organizaciones adoptan para sus procesos.

Algunas de las metodologías utilizadas con frecuencias se presentan a continuación:

6.7.1. Método de Ciliberti.

Este método es el más completo de todos, ya que combina las dos matrices de criticidad; la primera matriz considera la probabilidad y consecuencia de la salud, higiene y medio ambiente y otra matriz construida desde la óptica del impacto de producción. Ambas matrices se combinan en una matriz de criticidad global, obteniendo un solo resultado del activo analizado.

6.7.2. Inspección Basada en Riesgo (IBR).

Este análisis se fundamenta en normativas API RP-580 y API PUB-581. Para calcular la criticidad se realiza con base en el análisis del comportamiento histórico, modos de degradación, características de diseño condiciones de operación, mantenimiento, inspección y políticas gerenciales tomando en cuenta al mismo tiempo la calidad y efectividad de la inspección, así como las consecuencias

asociadas a las potenciales fallas. Usualmente esta metodología de análisis es aplicada solamente a equipos estáticos, equipos cuyo principal mecanismo de deterioro es la corrosión.

6.7.3. Metodología de Análisis de Criticidad de los Puntos.

La base fundamental de este enfoque es el establecimiento de un sistema de puntos para valorar la criticidad; y de una matriz cuyos rangos de frecuencia y consecuencia se expresan en “puntos”. Para el cálculo de criticidad con el método “criticidad de punto” se utiliza una ecuación:

$$\text{Criticidad} = \text{frecuencia de falla} \times [(\text{nivel de producción} \times \% \text{impacto} \times \text{TPPR}) + \text{costo rep.} + \text{imp. seg} + \text{imp. amb}].$$

Ecuación 1: Cálculo de criticidad con método de los puntos.

Donde:

%impacto: Factor por impacto a la producción.

TPPR: Tiempo promedio para reparar.

Costo rep: Costo de reparación.

Imp. Seg: Impacto a la seguridad.

Imp. Amb: Impacto ambiental.

Como todo análisis semi-cuantitativo, puede ser altamente impactado por la subjetividad en su aplicación, por lo que es recomendable el estudio de las bases que sustentan el diseño de la matriz de riesgo y la “clara definición” de cada uno de los términos de la ecuación de criticidad para evitar dualidad en la interpretación.

6.7.4. Análisis de Criticidad para Mantenimiento Norsok standard Z-008.

Esta norma se basa en estándares internacionales reconocidos (API RP 580 Inspección basada en riesgo; DNV RP-G-101 Inspección basada en riesgos de equipos mecánicos estáticos; IEC 60300-3-11 Gestión de la confiabilidad Parte 3-11: Guía de aplicación - Centrado en la confiabilidad; etc.). NORSOK es uno del estándar más utilizado para la industria petrolera de Noruega.

El estándar NORSOK es aplicable para diferentes propósitos y fases tales como:

- La fase del diseño: establece el programa de mantenimiento inicial como una entrada para los requisitos del personal y configuraciones del sistema. Selección de repuestos.
- Preparación para la operación: desarrollo de programas de mantenimiento para implementación en sistemas de gestión de mantenimiento y selección de repuestos.
- Fase operativa: Actualización y optimización de los programas de mantenimientos existentes. Orientación para priorizar las órdenes de trabajo. Extensión de por vida.

El estándar NORSK es aplicable a los siguientes equipos:

- Equipos mecánicos.
- Equipos estáticos y rotativos;
- Tuberías.
- Equipos de instrumentación.
- Equipos eléctricos.

La metodología utilizada por el estándar NORSOK describe cómo aplicar de manera eficiente la evaluación de riesgos que se utiliza como principio rector para las decisiones de mantenimiento.

Los elementos clave de esta metodología son los siguientes:

- a) Clasificación de consecuencia de falla funcional.
- b) Uso de GMC (conceptos de mantenimientos genéricos) en combinación con métodos clásicos de RCM (mantenimiento centrado en la confiabilidad). Los GMC se desarrollan mediante análisis RCM incluyendo experiencia en plantas. Los GMC expresarán implícitamente la probabilidad de falla a través del mantenimiento tareas y el intervalo de mantenimiento asignado. Se recomienda que los GMC se ajusten a las condiciones locales mediante una evaluación de costo-beneficio e incluyendo otras condiciones locales.
- c) En caso de que no sean aplicables los GMC o el propósito del estudio requiera evaluaciones más exhaustivas, se debe realizar un análisis FMECA / RCM / RBI. La identificación de los modos de falla relevantes y la estimación de la probabilidad de falla deben basarse principalmente en la experiencia operativa del equipo real. Alternativamente, los datos genéricos de fallas de operaciones similares pueden usarse con suficiente cualificación de datos de confiabilidad de acuerdo con ISO 20815.
- d) La aplicación de la clasificación de consecuencias y factores de riesgo adicionales para la toma de decisiones relacionadas con mantenimiento correctivo y manejo de repuestos.

Este estándar NORSOK describe el flujo de trabajo principal y establece los requisitos mínimos para cada uno de los pasos de este proceso. Además, el proceso señala la importancia de la mejora continua basada en informes y análisis del estado de la planta.

Establecer un programa de mantenimiento tiene como propósito de controlar todos los riesgos asociados con la degradación de los equipos. Incluyendo

Actividades basadas en calendario, inspección, monitoreo de condiciones, etc. El estándar NORSOK llama para usar GMC (conceptos de mantenimientos genéricos) en combinación con métodos RCM (mantenimiento centrado en la confiabilidad) más detallados. Los conceptos genéricos se consideran una forma eficiente de capturar el conocimiento de la compañía para la tecnología tradicional donde las

tareas de mantenimiento pueden ser estandarizado. Es importante que los conceptos genéricos se ajusten a las condiciones operativas locales, así como a los riesgos locales asociados con la planta en cuestión.

6.8. Descripción de Modos de Fallas en Equipos Críticos del Ingenio.

6.8.1. Motor Eléctrico.

Definición: Es el encargado de transformar energía eléctrica en mecánica que hace posible la motricidad de las maquinarias.

6.8.1.1. Análisis de Falla en Motores Eléctrico.

❖ *Circuito de Potencia Interrumpido.*

Las fallas más comunes asociadas a los motores eléctricos por el circuito de potencia son por interrupciones momentánea o permanente de una de las fases, falsos contacto en bornes, daño en interruptor térmico y contactor. Los síntomas que presentan estas fallas son incrementos de temperatura en componentes afectados, ruido y paro del equipo.

❖ *Aislamiento Degradado.*

Este modo de falla se caracteriza por presentar bajo nivel de aislamiento en las espiras entre sí y pérdida de aislamiento en espira con carcasa y núcleo. Las fallas de aislamiento usualmente son provocadas por humedad, contaminación, abrasión entre rotor y núcleo, y por someter el motor a una temperatura fuera del rango de operación. Existen normas para determinar el aislamiento mínimo aceptable para un equipo rotativo, como la norma IEEE 43-2013 que utiliza la siguiente fórmula para el cálculo de valores mínimos de aislamiento (mega ohm) a 1 minuto para equipos rotativos³

³ Avo international .1992. La guía completa para pruebas de aislamiento eléctrico. Tercera edición. Dallas, Texas.

$$Rm = Kv + 1$$

Ecuación 2: Ecuación de cálculo de aislamiento mínimo en motores eléctricos.

Donde:

Rm: Resistencia de aislamiento mínima recomendada.

Kv: Potencial nominal de la maquina entre terminales, en kilovolts.

❖ *Rotor Averiado.*

Esta falla presenta agrietamiento y desgastes. Las causas que pueden dañar un rotor son por condición de rotor bloqueado, daño en rodamientos, poca ventilación y alta vibración.

❖ *Rodamiento Averiado.*

Las fallas presentadas desgaste en pistas internas y externas, daño en jaulas y elementos rodantes, que pueden ser ocasionados por ajustes inadecuados, falta de lubricación, mala selección de lubricantes, temperatura ambiente inadecuada, sobrecargas, etc.

6.8.2. Reductor de Velocidad.

Es un equipo que se utiliza para adaptar la velocidad de giro de los motores a la carga. En este caso disminuye la velocidad y aumenta el torque.

6.8.2.1. Análisis de Fallas en Reductores de Velocidad.

❖ *Rodamiento Averiado.*

Se caracteriza por presentar alteraciones en las vibraciones, aumento de temperatura y ruido externo. Las fallas se producen por lubricación inadecuada, contaminación de lubricante, exceso de carga, ajuste inadecuado.

❖ *Engranés Dañados.*

Los fallos más comunes son el desgaste y la quebradura de dientes. El desgaste se produce cuando se reduce el espesor de los dientes, siendo la causa más común el contacto de metal con metal por la falta de película lubricante entre los dientes. La quebradura por lo general se produce por sobre esfuerzos, fatiga de material y también por desgaste de los dientes.

❖ *Correa de transmisión Dañada.*

Las fallas más comunes son desgaste o ruptura completa de la correa. El desgaste se produce por alineación incorrecta de poleas o correa, por desgaste de poleas y contaminación. La ruptura generalmente es por tensión incorrecta material inadecuado y desgaste de correa.

6.8.3. Ejes Motrices.

Definición: Un eje es un elemento de la máquina rotatorio; que se encarga de transmitir movimiento a las poleas, engranajes, piñones, etc.

6.8.3.1. Análisis de Fallas en Ejes Motriz.

❖ *Eje desgastado.*

Se produce por la pérdida de material del eje. Las causas más comunes de esta falla son ocasionadas por baja dureza de material (proceso de fabricación), falla en sistema lubricación, mal montaje, juego excesivo entre ejes y elementos (rodamientos, piñones), alta vibraciones, altas temperaturas, lubricantes contaminados (lleva partículas de materia prima), medio corrosivo severo.

❖ *Eje Agrietado.*

Las grietas son fisuras ligeras en la superficie del eje, En mayoría de los casos se da en el área acoplado a rodamiento y piñones. Usualmente son causadas por alto

estrés de acoplamiento, diferencia de temperatura entre el eje y el elemento (rodamientos, piñones). Otras causas, por carga excesiva y sobre esfuerzo.

❖ *Eje Deformado.*

Este tipo de falla se presenta por cargas de torsiones altas, material inadecuada (proceso de fabricación) y cambios de temperatura súbitos; Ocasionando que el eje trabaje de manera desbalanceada, desalineada y creando altas vibraciones.

❖ *Eje Fracturado.*

Esta falla puede suceder después de que se ha desarrollado una grieta esta produce un concentrador de esfuerzo, y ante una fuerza superior fractura al eje. Otras causas más comunes son por torques inadecuadas o por contaminación que obstruye el movimiento libre del eje (obstrucción de materia prima). También existen las fallas por fatiga de material, suelen ocurrir con frecuencia, debido a técnicas de construcción inadecuadas que dejan acabados deficientes.

6.8.4. Ventiladores de Tiro Inducido.

Definición: Los ventiladores se utilizan para evacuar el aire de un espacio o para crear una presión de aire negativa. Están compuestos de un juego de álabes, eje con rodamientos y motor de inducción.

6.8.4.1. Análisis de Fallas ventiladores de tiro inducido.

Dentro de los modos de fallas más comunes:

❖ *Álabes desgastados.*

Esta falla es ocasionada por un proceso abrasivo de los materiales que son arrastrados por los gases (ceniza). Además de la corrosión por presencia de agua de arrastre que proveniente del lavador de gases.

❖ *Ventilador desbalanceado.*

El desbalance se produce cuando el centro de gravedad no se encuentra en el eje de rotación, se produce por la pérdida de masa o la acumulación de suciedad en los alabes. También puede tener otras causas menos probables que son un desalineamiento paralelo del eje y eje doblado. La identificación de estas fallas se determina mediante el análisis de vibraciones; utilizando espectros típicos de falla.

Para el caso de desalineamiento paralelo el espectro típico se presenta como una elevación del segundo armónico (2X) sobre el valor del primer armónico (1X) y una pequeña elevación en el tercer armónico (3X). Todos ellos en el punto de medición radial⁴.

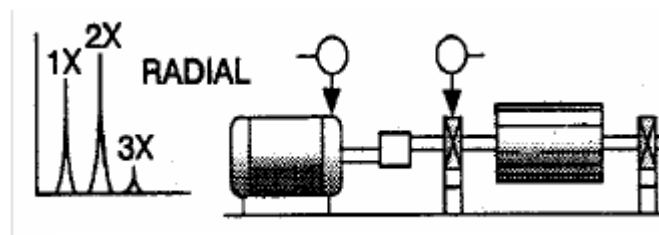


Ilustración 10: Desalineamiento de ejes.

Para el caso del eje doblado el espectro típico se presenta como una elevación en el primer armónico (1X) cuando el eje este doblado cerca al centro del eje y elevación en el segundo armónico (2X) cuando el área doblada está cerca del acople.

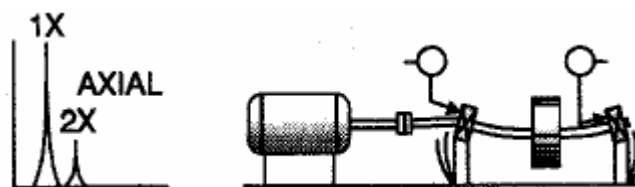


Ilustración 11: Eje doblado.

⁴ Tablas de Charlotte

❖ *Rodamientos dañados.*

Las fallas en rodamientos se presentan por problemas en la lubricación, por una lubricación inadecuada o por contaminación de lubricante con sedimentos o agua. Esta falla provoca elevación de temperatura en la zona del rodamiento que puede ocasionar daños en el eje (atasco, deformación, etc.).

❖ *Ventilador sucio.*

Por el tipo de material que procesa el tiro inducido, es inevitable la acumulación de suciedad en los alabes del ventilador. Esto crea desbalance, generando sobreesfuerzo en motor eléctrico y probable daño en los rodamientos. Esta acumulación de suciedad también puede generar corrosión en las partes importantes del ventilado.

❖ *Ventilador Desalineado.*

Este modo de falla se produce en la mayoría de casos por un mal montaje, no se verifica el alineamiento correcto al momento de instalar el eje. También puede ser ocasionado por pérdida de propiedades de rigidez de la base en el cual están montadas las chumaceras del eje.

6.8.5. Estructura Metálica.

Definición: Es el conjunto de elementos que soportan los equipos, por lo general son partes metálicas, las características principales son: rigidez, son partes estáticas y que en su mayoría soporta grandes esfuerzos.

6.8.5.1. Análisis de fallas en estructura.

Dentro de los modos de fallas más comunes:

❖ *Estructura corroída:*

Este fenómeno está determinado por las condiciones de medio ambiente, contaminantes, humedad, vapores etc. Que causa pérdidas de espesor, oxidación, ruptura de piezas, perforaciones, etc. Existen algunos métodos y técnicas para evitar este modo de falla. Entre algunos se puede mencionar: recubrimiento (aplicación de pintura), dominio de parámetros que influyen en la corrosión (acidez, temperatura, presión, etc.)

❖ *Soldaduras debilitadas.*

Esta falla se presenta por el desgaste del material que está compuesto el cordón de soldadura, también se puede dar deformaciones producidas en los materiales metálicos que son generadas por las altas temperaturas. También se presentan por corrosión, abrasión, etc.

6.9. Equipos y Técnicas de Mantenimiento Basado en Condición.

6.9.1. *Equipo Alineador de Polea Laser.*

Descripción:

El alineador laser es un equipo que mediante la emisión de un haz laser y un cristal receptor obtiene información de la linealidad de las poleas para que las correas tengan una alineación exacta que le permitirá reducir fallos tanto en la correa como en los rodamientos y engranajes.

Técnica:

El proceso de alineación, primero se activa el láser y se ve si llega a las marcas a la unidad receptora. Si fuese necesario se realizarán los ajustes de la máquina hasta que las líneas láser queden alineadas.

6.9.2. *Equipo de Medición de Tensión de Correas.*

Descripción:

El medidor de tensión utiliza un golpe para verificar la tensión de la correa y mide la frecuencia de ondas de la respuesta. De este modo se puede comprobar de forma rápida y sencilla del pretensado de las correas.

Técnica:

Se utiliza un instrumento capaz de medir la fuerza de deflexión de correas en “V”, presionando la correa. Con el valor obtenido de deflexión y aplicación formula y tablas establecidas, se determina si la correa esta distorsionada o sobretensionada.

6.9.3. Equipo Analizador de Vibraciones.

Descripción:

Los analizadores de vibraciones se utilizan para medir y analizar las vibraciones en máquinas e instalaciones. El principio de funcionamiento es transformar las ondas provenientes de vibraciones del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia mediante la transformada de Fourier; en el dominio de la frecuencia es más fácil analizar los componentes en falla.

Técnica:

Las partes del analizador de vibraciones son:

- Sensor: Es la parte que se encarga de captar la información (responde a una excitación externa).
- Transductor: Es el que se encarga de transformar la respuesta del sistema en una señal eléctrica.
- Colector de vibraciones: Equipo en el cual recolecta la data proveniente del transductor.
- Software de Análisis: Software de ayuda para realizar análisis y diagnóstico de las señales medidas.

El análisis de los datos consta de dos etapas:

- a) Adquisición de datos de los puntos de medición, a través del sensor, transductor y colector de vibraciones.
- b) Diagnóstico de los datos obtenidos en la recolección de vibraciones. Como parte del diagnóstico se utiliza cuadros de severidad la más usada es la norma ISO 10816-3. Y la interpretación de la señal (amplitud, frecuencia y forma de onda).

Vibration Velocity		Group 4 Integrated Driver		Group 3 Integrated Driver		Group 2 Motors 160 mm ≤ H < 315 mm		Group 1 Motors H ≤ 315 mm	
		pumps > 15 kW radial, axial mixed flow		medium sized machines 15 kW < P ≤ 300 kW		large machines 300 kW < P < 50 mW			
mm/s rms	inch/s rms	Rigid	Flexible	Rigid	Flexible	Rigid	Flexible	Rigid	Flexible
18	0.71				D				
11	0.43				C				
7.1	0.28								
4.5	0.18				B				
3.5	0.14								
2.8	0.11								
2.3	0.09								
1.4	0.06				A				
0.71	0.03								

Tabla 2: Cuadro de severidad de Vibraciones.

6.9.4. Megómetro.

Descripción:

Este instrumento determina las resistencias de aislamiento eléctrico (aislamiento de motores y conductores). Se puede utilizar para realizar una gran variedad de pruebas; desde comprobaciones puntuales simples hasta comprobaciones temporizadas y de ruptura.

Técnica:

Para realizar las mediciones de aislamiento, al megómetro se le programa el tiempo y voltaje que se le inyectara al equipo a medir (se tiene que considerar el voltaje de placa del equipo). Según la potencia de los motores se les puede realizar una prueba de índice de polarización y absorción dieléctrica.

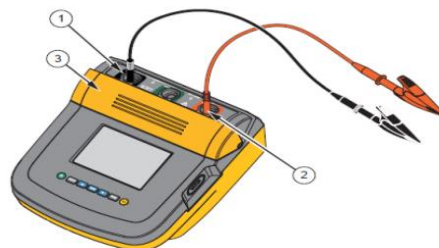


Ilustración 12: Megómetro.

6.9.5. Líquidos Penetrantes⁵.

Descripción:

Esta técnica utiliza la propiedad de capilaridad y de tensión superficial de los materiales. Se utiliza para detectar discontinuidades abiertas a la superficie (grietas, poros).

Técnica:

Principalmente se utilizan 2 materiales. El penetrante (sustancia generalmente roja) y el revelador (sustancia generalmente blanca).

Existen 5 etapas esenciales:

- a) Limpieza y preparación previa de la superficie.
- b) Aplicación de sustancia penetrante (usualmente tinta color rojo).
- c) Espera de tiempo necesario para la penetración de tinta roja en la superficie de prueba.
- d) Eliminación de exceso de tinta.
- e) Aplicación de sustancia revelador (usualmente tinta color blanco).
- f) Interpretación/evaluación.



Ilustración 13: Sustancias para pruebas de discontinuidad en material.

⁵ Jennifer Desiree Araujo Gonzales. ESTUDIO DE INVERSIÓN PARA LA COMPETITIVIDAD: PROPUESTA DE INNOVACIÓN A UN LABORATORIO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS. Tesis (Maestra en dirección y gestión de proyectos de ingeniería). Queretaro, México, Ciateq, 2017, 161p.

6.9.6. *Partículas Magnéticas (hierro) y de Yugo o Imán de Alto Poder.*

Descripción:

Esta técnica utiliza el fenómeno de fuerza electromagnética. Se utiliza para detectar discontinuidades del material (ferromagnéticos) que aún no han aflorado a la superficie.

Técnica:

Esta técnica se compone principalmente de las partículas magnéticas (hierro). Una vez esparcida las partículas metálicas se aplica con el imán una fuerza electromagnética y se aprecia la discontinuidad (fenómeno de polaridad). Se dice que puede detectar discontinuidades hasta 0.5 mm de profundidad.

Se recomienda realizar dos o más inspecciones secuenciales, con diferentes direcciones de magnetización; debido a que las detecciones de discontinuidad están limitadas únicamente a las que son perpendiculares al campo magnético.



Ilustración 14: Yugo electromagnético.

6.9.7. Equipo Ultrasonido Pulso Eco⁶.

Descripción:

El principio de funcionamiento de esta técnica es la emisión de un pulso de sonido y la recepción del mismo en un determinado tiempo. El sonido viaja a partir de las moléculas del material y al momento de encontrar una discontinuidad rebota (eco) este eco es recibido por el equipo y con el tiempo de rebote se puede obtener la distancia de recorrido del pulso sónico. Se utiliza para detectar grietas o discontinuidades de materiales y para la detección de poros en soldaduras. Otra aplicación muy común es la medición de espesores de materiales.

Técnica:

Esta técnica requiere de un equipo, cuyas partes principales son: transductor, conector y cables para emisión y recepción del transductor; y de una pantalla. Existe una norma para la realización de esta técnica (ASME E 797 prácticas estándar para medir el espesor mediante el método manual de contacto de pulso-eco ultrasonido).

- Transductor: Dispositivo mediante el cual la energía eléctrica se convierte en energía mecánica (ondas sonoras). De este dispositivo dependen las características del haz ultrasónico que se difunde en el elemento de prueba.
- Conector y cables para emisión y recepción del transductor: Es el encargado de enviar la señal del transductor al equipo y viceversa.
- Pantalla: Se pueden observar las lecturas de los dígitos capturados. En la mayoría de casos estas pantallas no solamente presentan lectura de espesores, sino que también incorporan representaciones en tiempo real de forma de ondas ultrasónicas.

Para realizar esta técnica se deben seguir los siguientes pasos:

⁶ Eduardo Javier Rodríguez Paredes. ESTUDIO DE LA EFECTIVIDAD DEL ENSAYO DE ULTRASONIDO PARA INSPECCION ESTRUCTURAL A ACERO A37-A24 ES DE CALIDAD SAE 1020. Tesis (Ingeniero Civil en Obras Civil). Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile, facultad de ciencia de la ingeniería. 2014. 34p.

- a) Calibración inicial del equipo de acuerdo a al elemento a inspeccionar.
- b) Preparación de la superficie del elemento a inspeccionar (limpieza).
- c) Aplicación de líquido acoplante sobre superficie de prueba.
- d) Puesta del transductor en la superficie de prueba.
- e) Realizar inspección (mover en diferentes orientaciones el transductor para encontrar posibles discontinuidades en el elemento de prueba).



Ilustración 15: Equipo de ultrasonido pulso eco.

Las técnicas de Líquidos penetrantes, partículas magnéticas y ultrasonido pulso eco, tienen aplicaciones muy parecidas. El siguiente cuadro muestra las aplicaciones en las cuales se utilizan.

Técnica	Aplicación
Líquidos penetrantes	Se utiliza para identificar grietas y poros que están en la superficie.
Partículas Magnéticas	Se utiliza para identificar grietas o discontinuidades que no están en la superficie. Es decir, dichas discontinuidades pueden encontrarse hasta en 5mm de profundidad sin mostrarse en la superficie.
Ultrasonido Pulso-eco	Se utiliza para encontrar grietas o discontinuidades que están a grandes profundidades. La distancia hasta donde puede identificar la discontinuidad dependerá de la frecuencia del sensor que se utiliza.

Tabla 3: Aplicación de técnicas inspección de grietas.

6.9.8. Boroscopio.

Descripción:

Este equipo se utiliza para realizar inspecciones visuales en lugares inaccesibles por el inspector. Por ejemplo, en el interior de instalaciones, maquinarias y áreas de alto riesgo. Con el fin de detectar alguna discontinuidad superficial en los materiales.

Técnica:

Es una técnica que muestra las discontinuidades más grandes y generalmente da idea de la presencia de alguna. El equipo está compuesto por una cámara de video de alta resolución que es transportada al interior de las cavidades por una guía (cable, transductores y soportes) el enfoque y la dirección de la vista puede ser controlada por el operador desde fuera.



Ilustración 16: Equipo boroscopio.

6.9.9. Análisis de Aceite.

Descripción:

El análisis de aceite es un método científico para evaluar el aceite, determinando condiciones (oxidación, nitración, hollín), degradación (viscosidad, número ácido) y contaminación del mismo (principalmente sílice y agua). Con este análisis se busca prevenir fallas prematuras, evaluar niveles de desgastes de componentes internos de los equipos.

Técnica:

Para este análisis se recomienda que se realicen tres pruebas e interrelacionarse entre sí y así tener un dato exacto de las condiciones del lubricante (tendencia de parámetros). Dicho análisis debe de llevar a determinar un diagnóstico del estado de: condiciones del equipo, condición de contaminantes y condición de lubricantes.

Procedimientos de análisis de aceite:

- a) Toma de muestra.
- b) Instalación de etiqueta con la información necesaria en envase.
- c) Realización del análisis.
- d) Interpretación de resultados.
- e) Revisión de resultados.



Ilustración 17: Toma de muestra de lubricante.

La interpretación se realiza en base a verificar de tendencias; existe la normativa ISO 14830-1:2019 que da lineamientos generales del estudio tribológico (estudio de los lubricantes).

6.9.10. Ultrasonido Acústico.

Descripción:

Es un equipo que por medio de sensores ultrasónicos por aire o por contacto capta las emisiones ultrasónicas. De este modo se puede verificar el estado de los rodamientos, las instalaciones eléctricas, los sistemas hidráulicos, detección de fugas de gas, detección de fugas de aire, etc.

Técnica:

Técnica de mantenimiento predictivo que aprovecha las propiedades de ondas ultrasónicas para detectar fallas de los equipos de forma rápida, segura y exacta.

Se utiliza un instrumento llamado detector de ultrasonidos el cual está diseñado para capturar ondas ultrasónicas y convertirlas en señales con frecuencias dentro del rango de audición humana (heterodinación).



Ilustración 18: Equipo ultrasonido acústico.

6.9.11. Temperatura Infrarroja⁷.

Descripción:

Es una técnica de ensayo no destructivo, donde se detectan las discontinuidades de un objeto, en función de las variaciones de temperatura. Las mediciones de temperatura son presentadas a partir de radiación infrarroja, emitida del espectro electromagnético desde la superficie de un objeto, convirtiendo estas mediciones en señal eléctrica, esta señal es la señal de entrada necesaria para generar un espectro de colores. Cada escala de colores significa una temperatura distinta.

Técnica:

⁷ Christian Fernando Bernal Reinoso. ESTUDIO TÉCNICO DE IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (EDN) PARA EL ÁREA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍAS DE LA UNIVERSIDADPOLITECNICA SALESIANA SEDE CUENCA. Tesis (ingeniero mecánico). Cuenca, Ecuador, Universidad Politécnica Salesiana. 2014. 27p.

Para la recolección de datos termográficos y posterior análisis se sugiere lo siguiente:

- Realizar la inspección en los periodos que se tienen condiciones desfavorables (Máxima velocidad de trabajo, alta carga de producción, etc.).
- Captura, evaluación y clasificación de los datos de calentamientos medidos.
- Emitir informes con la identificación de fallas.
- Realizar correcciones.
- Mediciones termografías para evaluar efectividad de mantenimiento correctivo.

6.9.12. *Termografía.*

Descripción:

La termografía es una técnica para monitoreo de condición y diagnóstico de las maquinas. En función de la radiación infraroja se puede detectar variaciones de temperatura de las superficies de los objetos. Las cámaras termográficas pueden localizar puntos fríos y calientes que pueden usarse como base para tomar decisiones respecto al mantenimiento de la máquina.

Para poder predecir el valor futuro de la medida, ésta se debe monitorear y graficar curvas de tendencias de las medidas para conocer su valor futuro.

Técnica:

Para la realización se deben seguir los siguientes pasos de forma general:

- Captura las discontinuidades de un objeto, en función de variaciones de temperatura.
- Integrar la inspección térmica basada en el instrumento de medición en los datos a un ordenador.
- Analizar datos.
- Generar informes e imágenes térmicas.

Los usos comunes de la termografía son:

En el área eléctrica, se utilizan para captar deltas de temperatura que son producidos por fallos como desbalances eléctricos entre líneas, oxidación de contactos, desajuste de conexiones, sobretensiones, etc.

En el área mecánica, se utilizan para detectar problemas de ajustes de componentes como rodamientos, desgaste de rodillos en bandas transportadoras, desbalance de cargas en bandas transportadoras, falta de lubricación en rodamientos, pérdidas de aislamientos, etc.

6.10. Estructuras y Equipos Básicos Utilizados para mantenimiento 4.0.

6.10.1. *Sensores.*

Son dispositivos encargados de detectar variables y los transforman en señales generalmente eléctricas para ser transmitidas o tratadas en un sistema de control.

6.10.2. *Red local o Wlan.*

La red local se denomina al conjunto de equipos que están comunicados localmente mediante un medio inalámbrico. Los componentes de esta red local inalámbrica son los siguientes:

- Colector y Puertas de enlace: Dentro de una red de comunicación son conocidas como “Collect Gateway”, este dispositivo se encarga de la administrar la comunicación de los host o sensores y de comunicar con internet asignándoles una dirección de red “IP”.
- Medio de Comunicación: El medio de comunicación que se utilizará será el inalámbrico “Wireless”.
- Punto de Acceso o Acces Point: Son dispositivos cuya función es establecer comunicación entre dos o más dispositivos (host).
- Topología de Red Tipo Malla: La topología de la red que se utilizara es tipo malla “Mesh”. La ventaja de esta topología es que todos los host o sensores

se comunican entre sí, es decir, funcionan como receptores y emisores de señales y todos están interconectados. Por tanto, la caída de un host o sensor no significa la caída o pérdida de la red de comunicaciones.

6.10.3. *Red de Área Amplia (Wan) e Internet.*

La red de área amplia (Wide área network), es una red que se encarga de interconectar varias redes locales (Lan). Así mismo se podría afirmar que el conjunto de redes Wan interconectadas conforman internet (red informática de alcance global). Los componentes de una red Wan son los siguientes:

- Enrutador: Conocido como “Router”, este equipo se encarga de enrutar los paquetes de información a un determinado destino.
- Dispositivos de Seguridad: Son dispositivos encargados de la protección de la información y de la red (por ejemplo: Los cortafuegos).
- Servidor: Es un software cuyo programa se encarga de realizar un servicio a otros clientes que en este caso serían softwares. Entre los servicios ofrecidos son de almacenamiento de datos, recepción y transmisión de información.
- Plataforma de análisis y visualización: Es un interfaz para las personas las cuales permiten observar variables, realizar análisis, tratar información. Muchas de estas herramientas se realizan utilizando técnicas de inteligencia artificial y algoritmos.

6.11. Mantenimiento 4.0.

Este concepto surge para hacer frente al mantenimiento de la industria 4.0. Para ello hará uso de las tecnologías y herramientas que utiliza la industria.

Auto diagnóstico: En el futuro, los equipos incluirán sistemas inteligentes para el monitoreo continuo y autodiagnóstico lo que garantizará su confiabilidad.

Uso Permanente de la información: La información obtenida será usada siempre en todos los procesos que lo requieran. Por ejemplo, para predecir, optimizar, planear

y programar las actividades de mantenimiento requeridas para minimizar las fallas de los equipos.

Mantenimiento de equipos de Información: Esto quiere decir que el mantenimiento de los sensores, cableado si es utilizado, plataforma de información debe estar con una altísima disponibilidad. Por tanto, requiere de personal altamente calificado y tecnificado para desarrollar estas actividades.

Los principales pilares en el cual se apoyará el mantenimiento son:

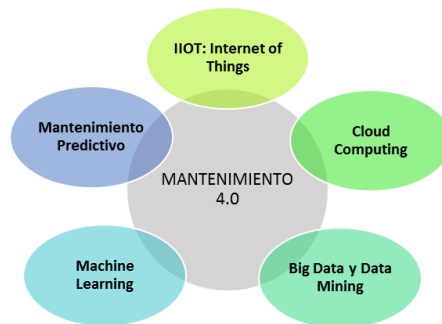


Ilustración 19: Pilares de Mantenimiento 4.0.

6.11.1. *IloT (Industrial Internet of Things).*

Inicialmente Internet de las Cosas era una plataforma para personas, es decir, permitía a las personas almacenar cualquier tipo de información para que estuviera disponible a todo el mundo. Pero esto fue evolucionando; hoy en día tenemos Smartphone, Tablet, ordenadores portátiles, dispositivos multimedia, etc. Que se encuentran conectados a internet.

Por tanto, IloT se refiere a la interconexión de las maquinas, personas procesos a internet. Buscando la optimización de la eficacia operativa y la producción industrial, creando un mayor crecimiento y una mejora en las condiciones competitivas.

Para lograr la interconexión se requiere tener captadores de información (sensores), en toda la fábrica. Vigilando el proceso, monitoreando los parámetros de funcionamiento de equipos, concentrando información, transmitiendo información y analizándola para tomar decisiones.

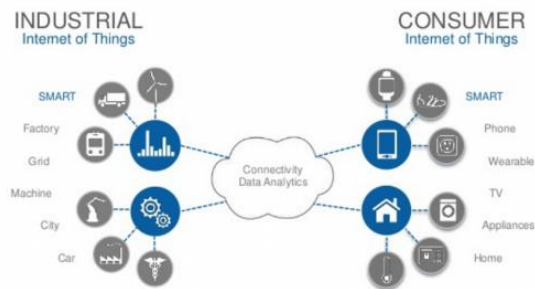


Ilustración 20: Conectividad de las cosas a internet.

6.11.2. Cloud Computing.

La informática en la nube, o mejor conocido como computación en la nube, permite ofrecer servicios, de modo que los usuarios puedan acceder a los servicios disponibles "en la nube de Internet" sin conocimientos (o sin ser expertos) en la gestión de los recursos que usan. La computación en la nube son servidores desde Internet encargados de atender las peticiones en cualquier momento. Se puede tener acceso a su información o servicio, mediante una conexión a internet desde cualquier dispositivo móvil o fijo ubicado en cualquier lugar.

Principales ventajas:

- Integración probada de servicios Red. la tecnología de cloud computing se puede integrar con mucha mayor facilidad y rapidez con el resto de las aplicaciones empresariales (tanto software tradicional como Cloud Computing basado en infraestructuras), ya sean desarrolladas de manera interna o externa.

- Prestación de servicios a nivel mundial. Las infraestructuras de cloud computing proporcionan mayor capacidad de adaptación, recuperación completa de pérdida de datos (con copias de seguridad) y reducción al mínimo de los tiempos de inactividad.
- Implementación más rápida y con menos riesgos, ya que se comienza a trabajar más rápido y no es necesaria una gran inversión. Las aplicaciones del cloud computing suelen estar disponibles en cuestión de días u horas en lugar de semanas o meses, incluso con un nivel considerable de personalización o integración.

Principales desventajas:

- Escalabilidad a largo plazo. A medida que más usuarios empiecen a compartir la infraestructura de la nube, la sobrecarga en los servidores de los proveedores aumentará, si la empresa no posee un esquema de crecimiento óptimo puede llevar a degradaciones en el servicio.
- La disponibilidad de las aplicaciones está sujeta a la disponibilidad de acceso a Internet.

Seguridad. La información de la empresa debe recorrer diferentes nodos para llegar a su destino, cada uno de ellos (y sus canales) son un foco de inseguridad. Si se utilizan protocolos seguros, HTTPS por ejemplo, la velocidad total disminuye debido a la sobrecarga que estos requieren.



Ilustración 21: Servicios disponibles en internet.

6.11.3. *Big Data-Data Mining.*

Big Data se refiere al conjunto de datos de gran volumen, complejidad y velocidad de crecimiento. Que pueden dificultar su captura, gestión, procesamiento o análisis mediante tecnologías y herramientas convencionales, tales como bases de datos relacionales y estadísticas convencionales. Esta información tiene un volumen superior a los 30 Terabytes (Convención usada para llamar Big Data).

Big Data tiene una naturaleza compleja debido principalmente a la naturaleza no estructurada de gran parte de los datos generados por las tecnologías modernas, como los web logs, la identificación por radiofrecuencia (RFID), los sensores incorporados en dispositivos, la maquinaria, los vehículos, las búsquedas en Internet, computadoras portátiles, teléfonos inteligentes y otros teléfonos móviles, etc.

Big Data es útil para muchas empresas por que proporciona respuestas a muchas preguntas que las empresas ni siquiera sabían que tenían. En otras palabras, proporciona un punto de referencia. Con una cantidad tan grande de información, los datos pueden ser moldeados o probados de cualquier manera que la empresa considere adecuada. Al hacerlo, las organizaciones son capaces de identificar los problemas y soluciones de una forma más eficiente.

Data Mining, es el conjunto de técnicas y tecnologías que permiten explorar grandes bases de datos, de manera automática y simultáneamente, con objetivo de encontrar patrones repetitivos, tendencias o reglas que expliquen el comportamiento de los datos en un determinado concepto.

La aplicación de Data mining tiene un proceso a seguir:

- Determinación del objetivo: Delimitar los objetivos de las necesidades del cliente.
- Procesamiento de la información: Se refiere a la selección, la limpieza, el enriquecimiento, la reducción y la transformación de las bases de datos.

- Determinación del modelo: se comienza realizando un análisis estadístico de los datos, y después se lleva a cabo una visualización gráfica de los mismos para tener una primera aproximación. Según los objetivos planteados y la tarea que debe llevarse a cabo, pueden utilizarse algoritmos desarrollados en diferentes áreas de la Inteligencia Artificial.
- Análisis de los resultados: verifica si los resultados obtenidos son coherentes y los coteja con los obtenidos por el análisis estadístico y de visualización gráfica.
- Data mining posee grandes ventajas para ser aplicadas a la industria: ahorro de dinero y abre nuevas oportunidades de negocio, contribuye a la toma de decisión tácticas y estratégicas, permite a los usuarios dar prioridades a decisiones y acciones mostrando factores de mayor objetivo, explorar automáticamente, visualizar y comprender los datos e identificar patrones, relaciones y dependencias que impactan en los resultados finales de la cuenta de resultados.

Para el uso de data mining es importante disponer de un sistema de información, es decir disponer de base de datos que permita extraer información histórica almacenada en la organización y tener objetivo claro de la necesidad de realizar data mining.

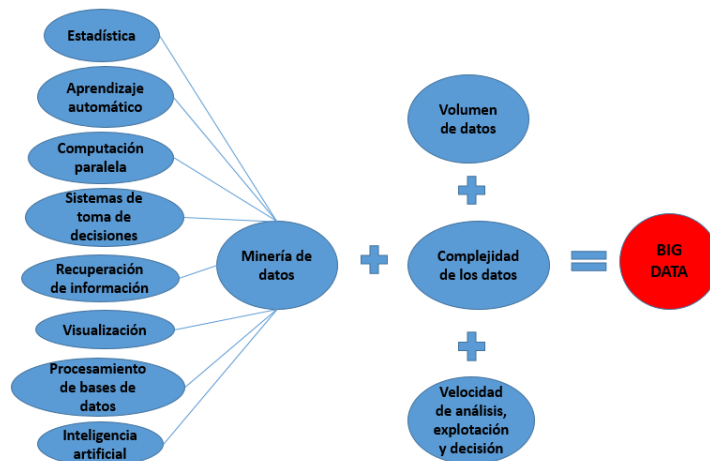


Ilustración 22: Conjunto de datos de gran volumen (Big Data).

6.11.4. *Machine Learning.*

Se define Machine Learning cuando las maquinas tratan de aprender de los datos y realizar acciones previstas en un algoritmo. Cuantos más datos haya disponibles para aprender y más ricos y completos sea el algoritmo, tendrá un desempeño mejor.

Forma parte de la disciplina de la inteligencia artificial, que pretende dotar a la máquina de capacidad de aprendizaje mediante el manejo y procesamiento de datos. Y permite comparar patrones y tomar decisiones en base a predicciones de comportamientos futuros. El algoritmo más básico que la mayoría de personas conocemos es la regresión lineal.

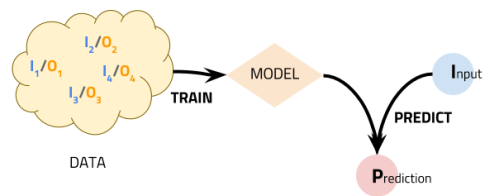


Ilustración 23: Inteligencia artificial.

6.11.5. *Mantenimiento Predictivo.*

El mantenimiento predictivo evalúa el estado de la maquinaria y recomienda intervenir o no, lo cual produce grandes ahorros. El objetivo de este tipo de mantenimiento es optimizar la fiabilidad y disponibilidad de maquinaria y equipo crítico al mínimo coste. En mantenimiento 4.0, el desarrollo de esta actividad permite obtener datos que se generan por los sensores incorporados a la máquina.

La aplicación adecuada de técnicas de modelado y procesamiento permiten que estos datos se conviertan en información útil, asignando una gran relevancia al proceso de mantenimiento, especialmente el predictivo.

El mantenimiento predictivo se entiende como un conjunto de técnicas instrumentadas de medida y análisis de variables para caracterizar los modos de fallos potenciales de los equipos productivos. Para que sea considerado como mantenimiento predictivo se tiene que cumplir algunas condiciones:

- Los monitores deben realizarse de manera no intrusiva, en condiciones de funcionamiento normal.
- La variable a medir debe cumplir con las condiciones de repetitividad, análisis, parametrización y diagnóstico.
- Los resultados y los valores de las medidas deben permitir ser expresados en unidades físicas o índices correlacionados.



Ilustración 24: Conjunto de elementos de modelo m. Predictivo en mantenimiento 4.0.

6.12. Aspectos Generales de Costos de Mantenimiento:

El análisis de costo beneficio de la implementación de la estrategia de mantenimiento basado en condición debería ser tratado de modo similar a un proyecto. Pues puede interpretarse como un proyecto de mejora, el cual se espera un retorno.

Con la utilización de los equipos, la mayoría de ellos tienden a envejecer y ocasionar paradas. Los cuales impacta negativamente en la producción.

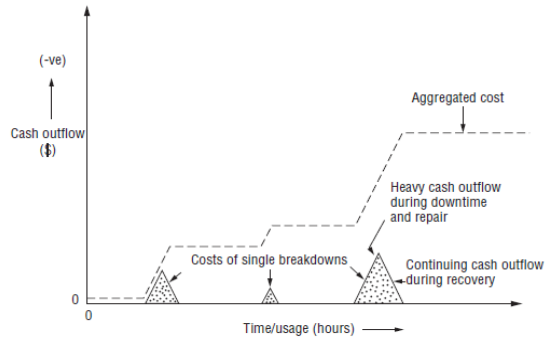


Ilustración 25: Diagrama de pérdidas de costos de producción del envejecimiento de máquina.

Para poder reparar estas averías los costos de mantenimiento se elevan a medida que transcurre el tiempo (del mismo modo que las fallas por envejecimiento). Lo que implica la aplicación de estrategias de mantenimiento preventivo, (Mobley, Keith. An Introduction Maintenance, Second Edition 2002), Es decir, se aumenta la cantidad de cambios preventivos a fin de preservar la disponibilidad de los equipos.

La estrategia preventiva, tiene una oportunidad de mejora y es que la aplicación rigurosa de ésta hace que se tengan que cambiar componentes que aún tienen vida remanente. Es allí donde el mantenimiento basado en condición puede aportar debido a que se cambiaran partes que son necesarias cambiar y se mantendrán aquellas partes que tienen vida remanente. Y lo más importante que existe la alta probabilidad de anticipar a la falla generando ahorros potenciales al tener una mejor planificación en la reparación.

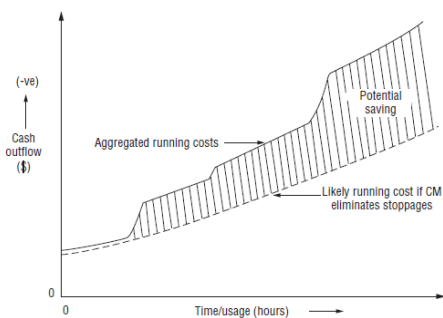


Ilustración 26: Diagrama de ahorro potencial de protección por uso de mantenimiento basado en condición.

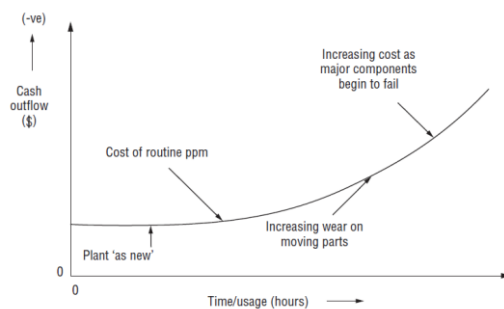


Ilustración 27: Diagrama de costos de mantenimiento predeterminado.

La implementación de mantenimiento basado en condición requiere una inversión inicial tanto en recursos materiales como humanos. El cual se ira amortizando a

través del tiempo. Luego de ese periodo se considera que los recursos generados son ganancias de la inversión realizada.

Llegando al final a ser un costo constante durante la operación de mantenimiento basado en condición (Mobley, Keith. An Introduction Maintenance, Second Edition 2002).

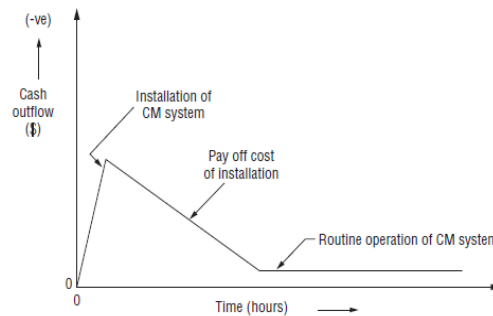


Ilustración 28: Diagrama típico de costos de instalación y operación de mantenimiento basado en condición.

VII. METODOLOGIA.

La metodología que se utilizara es mediante la aplicación secuencial de las siguientes etapas:

- Primera etapa: Interrelación de gestión de mantenimiento basado en condición con su ámbito externo e interno.
- Segunda etapa: Gestionar mantenimiento basado en condición con principios de ISO 17359.
- Tercera etapa: Desarrollo con herramientas de mantenimiento 4.0.

7.1. Interrelación de Gestión de Mantenimiento Basado en Condición con su Ámbito Externo e Interno.

7.1.1. Ámbito Externo.

Desde el punto de vista externo se tienen las siguientes disciplinas que interactuarán con el modelo propuesto de mantenimiento basado en condición. Para ello también se ha subdividido en disciplinas tradicionales que deben

interactuar con mantenimiento basado en condición tradicional y disciplinas no tradicionales enfocadas en industria 4.0.

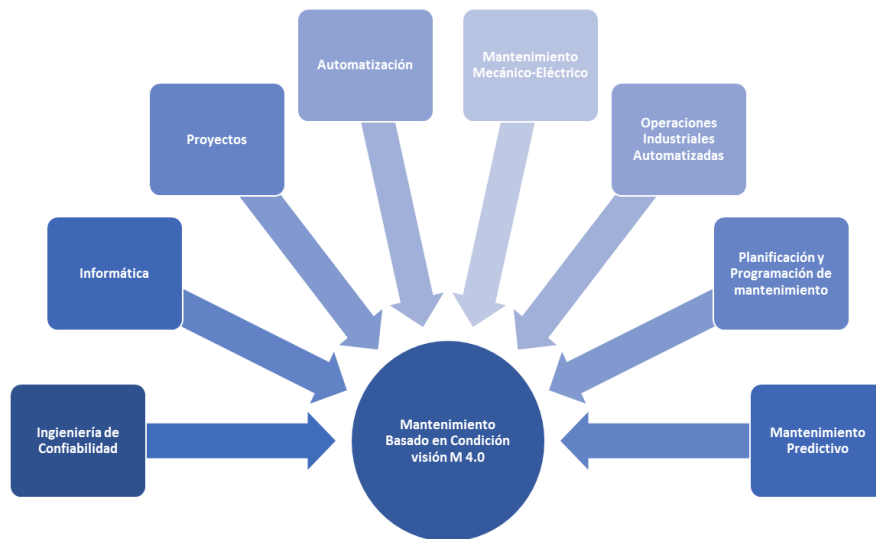


Ilustración 29: Conjunto de disciplinas que interactúan con mantenimiento basado en condición desde el ámbito externo.

7.1.1.1. Disciplinas Tradicionales.

❖ *Gestión de Proyectos.*

El área de proyectos de la organización es el encargado de realizar el diseño y la ejecución de los requerimientos del área de producción de la organización. Coordinando con las áreas de interés (stake holders) entre ellos se encuentra manteniendo las acciones para realizar un proyecto exitoso.

Parte de los entregables del proyecto es el listado de equipos con sus hojas técnicas, manuales, etc. Adicional es posible solicitar a los fabricantes información de los modos de fallo más recurrentes.

❖ *Ingeniería de Confiabilidad.*

El área de ingeniería de confiabilidad es el encargado de los análisis de fallas de los equipos (analiza las fallas, frecuencia de fallas, costo de fallas y análisis de causa raíz de las fallas). Con esta información es posible crear, mejorar y optimizar los

planes de mantenimiento y las técnicas usadas en mantenimiento basado en condición.

❖ *Planificación y Programación de Mantenimiento.*

La planificación de mantenimiento apoya al mantenimiento de condición llevando el control de las rutas de monitoreo con la emisión de las ordenes de trabajo, análisis y cierre. Así mismo, la administración de recursos tanto humanos como materiales.

La programación de mantenimiento apoya con la coordinación para ejecución de trabajos entre las áreas involucradas por ejemplo si hay pruebas que requieren suspender la operación de los equipos. Se programa en el momento con menor impacto.

❖ *Mantenimiento Predictivo.*

Hemos considerado al mantenimiento predictivo como una disciplina que apoya al mantenimiento basado en condición porque es la herramienta importante para el diagnóstico del estado de los equipos. Además, mantenimiento predictivo trata de anticipar la evolución del comportamiento de una variable. Es decir, que el mantenimiento predictivo hace uso de la subcategoría “monitoreo de condición” del mantenimiento basado en condición (utilización de variables cuantitativas).

7.1.1.2. Disciplinas no Tradicionales.

❖ *Informática.*

La informática es una disciplina que se va incluyendo en el mantenimiento de condición de modo muy continuo. Inicialmente apoyaba en la instalación y configuración de las bases de datos del software de colección de datos. Y en la actualidad y futuro se encargan de la gestión de las redes industriales y la conexión de los dispositivos a redes locales y al internet.

Este proceso de gestión de información en las redes incluye desde el diseño de las redes internas (LAN, Wireless, bluetooth), la gestión y acceso a las redes externas (WAN, gestión de servidores, etc.). La seguridad de la información (antivirus, firewalls, etc.). Y el mantenimiento de las mismas.

❖ *Automatización.*

La automatización industrial es una de las disciplinas que ha cobrado mucha importancia en la automatización de los procesos. En mantenimiento de condición tienen el potencial de apoyar con la actuación sobre ciertas variables que puedan estar ocasionando inconvenientes a la salud de los equipos (por ejemplo, tenemos la cavitación por problemas de flujo, los arranques en seco, etc.). También nos brinda información de algunas mediciones de variables que nos pueden ayudar a correlacionar datos en conjunto con información de mantenimiento predictivo y llevar a conclusión de la presencia de una falla potencial de algún equipo.

❖ *Operaciones Industriales Automatizadas.*

Las operaciones industriales automatizadas, es una evolución de la operación tradicional de los procesos de la industria en la cual intervienen sistemas de control y monitoreo. Ello permite actuar de forma rápida en los procesos para hacerlos con menores pérdidas, más precisas y eficientes.

La forma con la que se interrelacionan con Mantenimiento basado en condición es en el intercambio de información (modo muy similar al de automatización). Lo que lo diferencia es la posibilidad de simular escenarios futuros y comportamiento en esos escenarios de los equipos.

7.1.2. Ámbito Interno.

Desde el ámbito interno, se tienen procesos que se deben cumplir para lograr los objetivos del departamento de mantenimiento basado en condición. Estos procesos son los siguientes:

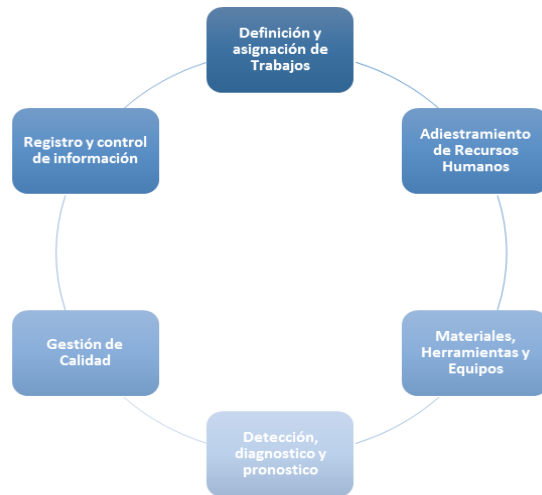


Ilustración 30: Conjunto de procesos para mantenimiento basado en condición desde ámbito interno.

7.1.2.1. Definición y Asignación de Trabajos.

Este apartado se realiza después de definir los modos de falla y las técnicas a utilizar en el monitoreo de condición. En esta etapa se analiza el trabajo a realizar, especificar el equipo, definir el alcance del trabajo, definir los recursos (materiales, personas, horas, etc.) y analizar la técnica más idónea para identificar la falla. Así mismo se definen los entregables de los trabajos. La salida de este proceso será insumo para la planificación y programación de los trabajos (con el departamento de planificación de mantenimiento).

7.1.2.2. Adiestramiento de Recursos Humanos.

De igual modo que el apartado anterior este proceso tiene su origen luego de la definición del análisis modal de fallas. Una vez se identifican las técnicas a utilizar se debe construir un plan de adiestramiento al personal. Se debe dividir en perfiles los trabajadores. Tanto para los analistas como para los operadores existen categorías según normas.

❖ *Descripción de puestos de trabajos.*

La definición de puestos de trabajo que se encargaran de la gestión, operación y optimización del departamento. Se han dividido del siguiente modo.

- **Gerencia:** Es el encargado de implementar las directrices para el departamento de mantenimiento basado en condición y verificar el avance de las metas en base a indicadores y toma decisiones para lograr o reformular las metas. Se caracteriza por tener visión a largo plazo y es capaz de diseñar los procesos y procedimientos acordes a las metas de la organización. También es el impulsor de la investigación y adquisición de uso de nuevas tecnologías. Para volver más eficiente el mantenimiento basado en condición.
- **Jefatura:** Se encarga de asegurar del cumplimiento de los objetivos y metas del proceso de mantenimiento basado en condición. Para ello debe velar por la obtención de recursos y verificar el uso eficiente de los mismos. Realiza seguimiento a los indicadores establecidos por la gerencia.
- **Supervisión:** Es el encargado de garantiza el cumplimiento de las tareas que se han planificado y programado realizar. Estas tareas se realizan de acuerdo a los procesos y procedimientos definidos por la jefatura. Parte del proceso de garantizar el cumplimiento de las tareas es la asignación de recursos adecuados (buscar el personal idóneo, materiales adecuados y la inspección de seguridad ocupacional). Parte de esta labor es la verificación del trabajo que se ha realizado.
- **Analista:** Es el encargado del manejo de la data recolectada por los operadores, esta data es convertida en información luego de haber sido analizada. Y producto de esto es el diagnóstico y pronóstico (esto último sería lo más deseado).
- **Operadores:** Se encargan de la ejecución del trabajo, las tareas principales son la toma de datos de campo (monitoreo) y el resultado de las pruebas. Los resultados de los trabajos son entregados al supervisor.

Como se expuso en el apartado anterior, solo para el caso de los analistas los niveles y alcances se encuentran normados.

7.1.2.3. *Equipos, herramientas y materiales*

❖ *Equipo*

En mantenimiento basado en condición por lo general se tiene uno o más equipos para las técnicas que se utilizan. Por ejemplo, se tienen:

- Colector de datos, para monitoreo de vibraciones.
- Pirómetro, para medición de temperatura.
- Equipo ultrasonido, para inspecciones ultrasónicas.
- Cámara termográfica, para termografía infrarroja.

❖ *Herramientas:*

Las herramientas son todos aquellos dispositivos que se utiliza para incrementar las capacidades físicas de las personas; es decir, es un dispositivo simple y se usa para una función específica. Por ejemplo, se tiene:

- Herramientas de pruebas de condición (electromagneto, lámpara UV).
- Herramientas para desgaste abrasivo (pulidora, rectificadora).
- Herramientas para visión (Lámparas, lupas, lentes).

❖ *Materiales:*

Son todos aquellos consumibles que se utilizan para realizar las pruebas de condición y medición de variables de monitoreo. Se tienen materiales exclusivos para realizar las pruebas como son líquidos penetrantes, reveladores, limpiadores; para pruebas con líquidos penetrantes y partículas magnéticas para ensayos y partículas magnéticas.

También se tiene otros materiales de uso común para realizar limpiezas (trapos, lijas, abrasivos), rotulación (pinturas, marcadores).

7.1.2.4. Detección, Diagnóstico y Pronóstico.

Este aspecto es muy importante debido a que tiene las actividades principales y de acuerdo a esta información se tomara decisiones de la condición del equipo.

Para monitoreo de condición, el monitoreo de condición está basado en la medición cuantitativa de:

- Detección: Se refiere al modo en el que se obtiene (mide), almacena y transporta la información de la variable monitoreada. En algunas técnicas los modos de detección han evolucionado con el paso tecnológico (adquisición, transmisión y tratamiento de información). Pero otras técnicas no han logrado aún la evolución.

Podemos generalizar los modos de detección en:

- Detección con Colección de datos online o continuo: En este caso las variables se detectan de modo continuo, es decir que la señal se transmite en “tiempo real”, y se almacenan de acuerdo a una frecuencia de tiempo determinada. La capacidad de almacenamiento es muy importante, pues se genera mucha data. Usualmente los dispositivos son configurados para almacenar información cada cierto periodo de tiempo. Y guarda información un periodo de tiempo luego de la aparición de un evento anormal.

Por ejemplo:

Este modo de detección se utiliza como elemento de protección (medidor de proximidad de un rotor), para maquinarias vulnerables a fallos por la naturaleza de su proceso (picadoras de caña por caída de rocas), tiros inducidos (por arrastre de sedimentos).

El esquema siguiente muestra un diagrama de operación de los componentes de colección de datos online o continuo.

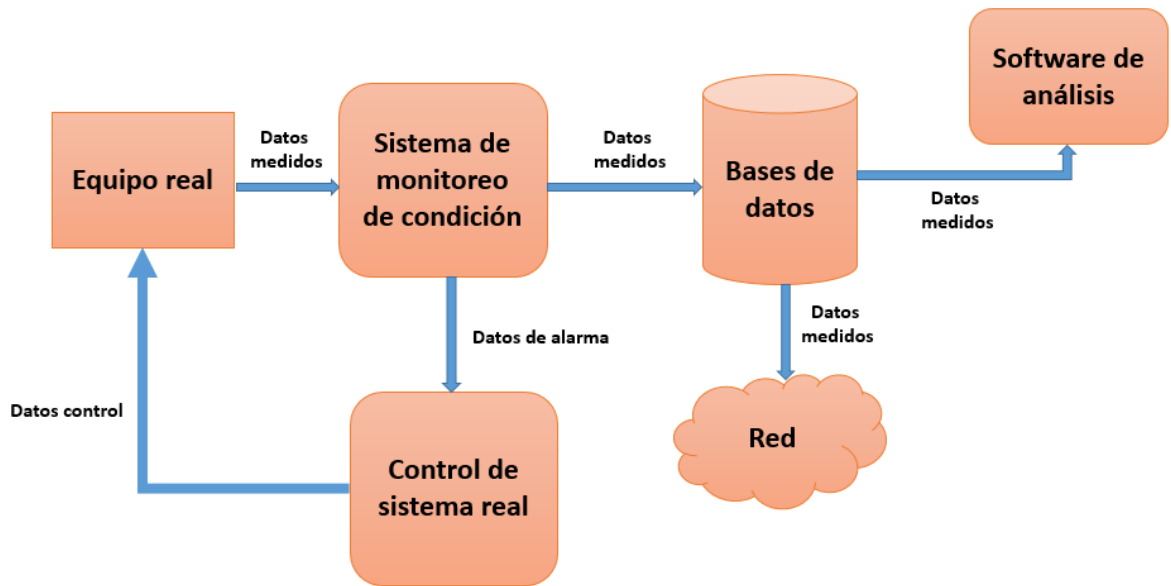


Ilustración 31: Diagrama de operación de toma de datos de manera continuú.

- **Detección con Colección de datos automática:** Este tipo de detección se realiza a intervalos de tiempo regulares, la información se almacena en el mismo dispositivo. Para poder tener acceso a la información es necesario enviar la data a través de algún modo de transmisión. Antiguamente se realizaba vía instalación de un cable o mediante algún dispositivo de memoria. En la actualidad se realiza mediante conexiones bluetooth y wifi. Este modo de detección y transmisión de información ha cobrado mucha importancia debido al desarrollo de dispositivos pequeños y disminución de costo de transmisión de información en comparación a la transmisión vía cable. Los dispositivos son instalados en las maquinarias y almacenan información localmente. Y transmiten dicha información con una frecuencia de tiempo pre-configurada. Y estas a su vez tienen potencial de ser transmitida a la nube.

Por ejemplo:

Este modo de detección se adapta a los criterios de la organización podría usarse para aquellas maquinas que son medianamente vulnerables y son críticas para la organización. En el caso de una bomba de alimentación de

agua a las calderas, compresores de aire, etc. El proceso donde operan estas máquinas es estable y tiene poca probabilidad de una falla súbita por una perturbación inherente al proceso. También se podría utilizar en máquinas que operan en zonas de difícil acceso.

El esquema siguiente muestra un diagrama de operación de los componentes de colección de datos automática.

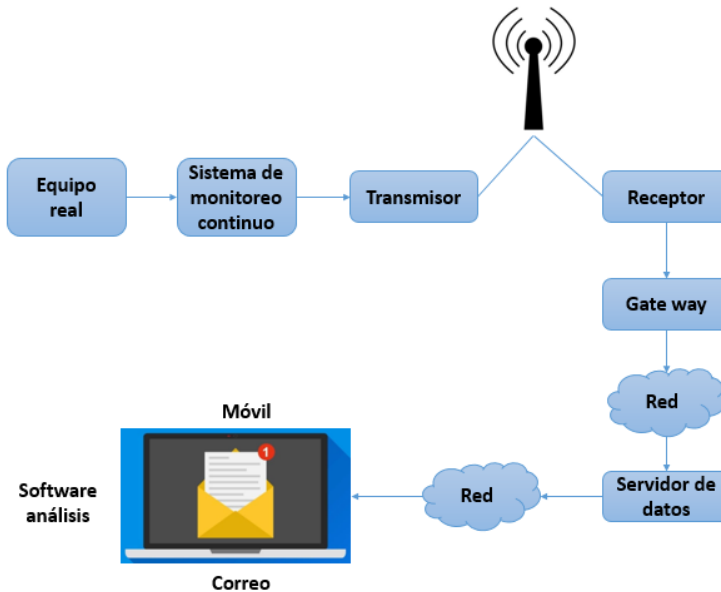


Ilustración 32: Diagrama de operación de toma de datos de manera automática.

- **Detección con Colección de datos mediante rutas:** Este modo de colección de datos se realiza a través de un equipo llamado colector de datos. Requiere que personal realice unas rutas de recolección de datos de varias máquinas (agrupadas por rutas de mantenimiento); estos datos son almacenados en el equipo colector de datos y posteriormente son transferidos a la computadora para luego ser analizados por el analista.

Por ejemplo:

Este modo de detección se podría utilizar en equipos de criticidad media y vulnerabilidad media y en general, en equipos cuya curva P-F es grande. Por

ejemplo, se tiene un alimentador de bagazo a caldera (tiene 6 alimentadores de bagazo), en un reductor de un removedor de cachaza, etc.

El esquema siguiente muestra un diagrama de operación de los componentes de colección de datos mediante rutas.

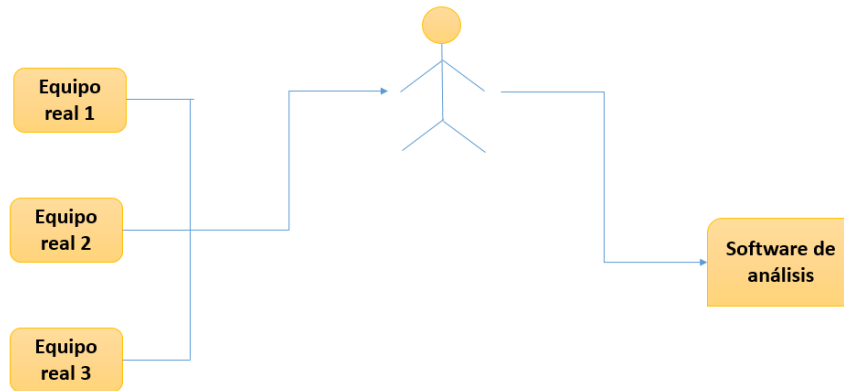


Ilustración 33: Diagrama de toma de datos por rutas.

En el caso de las técnicas que no han logrado una evolución tecnológica, se mantiene el modo de detección sensorial (visión, sonido, olores, etc.). Este modo de detección si bien es cierto no han logrado una evolución tecnológica son muy importantes y efectivas, debido a que el personal complementa la información analiza todas las variables y potencia la experiencia adquirida.

7.1.2.5. Gestión de Calidad.

En gestión de la calidad nos referimos al cumplimiento de buenas prácticas, normativas y certificaciones que la organización tiene. En términos generales nos referimos a tener claro los procesos, documentación y trazabilidad. Y mantener los procesos con controles en base a un enfoque de riesgo (ISO 9001:2018).

7.1.2.6. Registro y Control de Información.

El manejo de datos es muy importante porque de ello depende el diagnóstico, seguimiento y pronóstico de la condición de los equipos. Para ello se debe considerar los medios o mecanismos adecuados para el manejo de los datos. Las etapas en la cual el dato es transmitido son las siguientes:

- Medición insitu – Supervisión: La recopilación de datos se realizará mediante el uso de formatos los cuales deben ser ingresados por el operador de forma manual o digital. Para los modos de detección online o continuo la data es almacenada en un buffer de memoria interna y en simultáneo es transmitida a las bases de datos de forma continua. En los modos de detección automática, el dato es almacenado en una memoria interna y después es transmitida a un servidor de datos en la red; la transmisión de datos depende de la configuración o a la oportunidad de envío que está en función de la velocidad de transmisión de datos y el ancho de banda de la red. En los casos en el que se utilizan colectores de mediciones; los datos son almacenados en los equipos de medición (colectores) y son trasladados por la persona encargada del monitoreo y transferida a la computadora que posee una base de datos.

En esta etapa se debe cuidar mucho los aspectos de repetitividad del procedimiento de toma de datos para evitar variación. Es decir, los datos se deben tomar en los mismos puntos de medición, con el mismo equipo y utilizando mismo procedimiento.

Por ejemplo, una forma correcta de tomar datos para realizar un análisis de vibraciones sería:

- Definir los puntos de medición en el equipo procurando la cercanía al elemento de interés.
- Realizar las mediciones en la misma zona.
- Colocar el sensor de modo firme (los más son de base magnética).
- El equipo debe estar en las mismas condiciones operacionales (si un motor utiliza variador de frecuencia se debe tomar el dato siempre a la misma velocidad de giro).

Otro ejemplo sería en el caso de termografía:

- La hora en la cual se toma la imagen térmica debe ser similar a la que se está tomando (irradiación solar).
- El punto desde donde se toma la imagen térmica debe ser el mismo procurando el mismo enfoque de las imágenes térmicas previas.

- Configuración de la cámara termográfica igual a las configuraciones previas (emisividad).

- Supervisión – Sistema Electrónico y registro: Los datos son evaluados por la supervisión, una vez verificados se procede al registro y almacenamiento.
- Diagnostico – Fuera del Departamento: Los datos validados en la etapa previa, son convertidos en información relevante y son transmitidos a las áreas de interés como salida del proceso. Se da diagnóstico del estado de condición de los equipos.

7.1.3. Inventario de equipos.

Es el grupo de equipos que se ha determinado para realizar la propuesta de estudio, los cuales pertenecen al área de generación de vapor y energía eléctrica del ingenio azucarero.

7.1.4. Análisis de Costos de Mantenimiento Basado en Condición.

7.1.4.1. Estructura de Costos y Cuenta de Resultados.

El análisis de costo se realizará definiendo la cantidad de equipos, las técnicas de mantenimiento basado en condición, el costo de las horas hombre y la inversión de los equipos.

Estos costos se reflejarán mediante una estructura de costos en el cual está dividido en cuentas de recursos humanos, materiales, conocimiento (capacitaciones) y oportunidades. Estas cuentas se agrupan en tipos de costos que son: costos directos, costos indirectos, costos ocultos.

Esta estructura de costos será trasladada a una cuenta de resultados donde se podrán ver el resultado de un periodo (ingresos – egresos).

7.1.4.2. *Análisis de Retorno de Inversión sin Normativa.*

El significado de retorno de la inversión (Return On Investment) es un indicador que muestra el valor económico que se genera como resultado de la inversión en alguna actividad (compra de equipos, entrenamiento, publicidad, etc.). Con este valor se puede medir el rendimiento que se ha obtenido de una inversión realizada.

La fórmula como se calcula el ROI es la diferencia entre el valor generado y la inversión realizada sobre la inversión realizada; multiplicado por cien por ciento.

$$ROI = \frac{\text{Valor generado} - \text{Inversión realizada}}{\text{Inversión realizada}}$$

Ecuación 3: Ecuación de retorno de la inversión.

La interpretación del ROI es muy sencilla: Un valor positivo significa que hay un beneficio “ganancia”; los valores negativos significan que no hay beneficio “pérdida”. Por tanto, cuanto más alto y positivo sea el valor será mejor. Si el ROI es cercano a cero significa que no es muy atractiva la inversión.

7.2. *Mantenimiento Basado en Condición con Principios de ISO 17359:2018.*

La norma ISO 17359:2018, Condition monitoring and diagnostics of machines - General guidelines, da una guía general de los aspectos a considerar en la implementación de un programa de monitoreo de condición en cualquier tipo de máquina. Divide los pasos que se deben seguir para la implementación.

En esta propuesta se ha modificado el orden de los pasos que sugiere la norma, para obtener mayor claridad en los pasos a explicar.

7.2.1. Auditoría de Equipos.

7.2.1.1. Identificación de Equipos.

La identificación de los equipos se hará en base a la taxonomía que referencia la norma ISO14224.

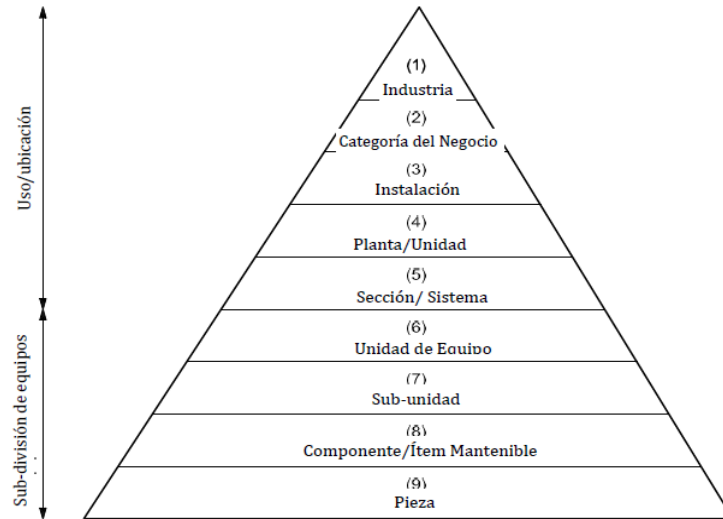


Ilustración 34: Taxonomía para clasificación de equipos según norma ISO 14224.

7.2.1.2. Identificación de Funciones de Equipos.

La metodología que se utilizara es la sugerida por J. Moubray la cual define que la función principal debe ser definida al siguiente modo.

“Un verbo, un objeto y un estándar de funcionamiento deseado por el usuario”.

Por ejemplo:

Definición de Función	
Verbo	Bombear
Objeto	Agua
Estandar de Funcionamiento	5 galones por minuto
Función de la Bomba:	<i>"Bombear agua a 5 galones por minuto"</i>

Tabla 4: Definición de función.

7.2.2. Criticidad de Equipos.

7.2.2.1. Diseño de la Matriz de Criticidad.

El diseño de la matriz de criticidad de equipos se ha construido en base al producto de 2 aspectos. Que son la consecuencia y ocurrencia.

$$\text{Factor de Riesgo} = \text{Consecuencia} * \text{Ocurrencia}$$

Ecuación 4: Factor de riesgo.

Los aspectos (consecuencia y ocurrencia) están divididos en factores y estos en criterios a los que se les deben asignar un determinado valor.

Aspecto consecuencia: Es la sumatoria de los factores de consecuencia multiplicados por una constante o peso (k, l, m, n y ñ) que es asignado por la alta dirección de acuerdo a su valoración de importancia.

$$\text{Consecuencia} = (k \times SI) + (l \times MA) + (m \times IP) + (n \times QP) + (\tilde{n} \times MT)$$

$$k + l + m + n + \tilde{n} = 100\%$$

Ecuación 5: Consecuencia.

Donde:

Los factores se definen:

- Seguridad Industrial (SI): Representa el impacto de seguridad en las personas que se encuentran en la organización.
- Medio Ambiente (MA): Representa el impacto que la empresa realiza sobre el medio ambiente en el que se desarrolla.
- Impacto en la producción (IP): Es el nivel de productividad que tienen los activos dentro de la producción de la organización.

- Calidad del producto (QP): Son las características del producto que la organización se ha comprometido en entregar a sus clientes.
- Mantenibilidad (MT): Es el impacto que se tiene en la reparación de un activo está compuesto por el costo y tiempo de reparación.

Las constantes de ponderación: Son los pesos (“k,” “l,” “m,” “n” y “ñ”) que se le asignan a cada factor de acuerdo al grado de importancia de algún factor específico para la organización.

	FACTOR	PESO DE FACTOR	CRITERIO	VALOR DE CRITERIO
ASPECTO CONSECUENCIA	SEGURIDAD INDUSTRIAL (SI)	k	VARIAS MUERTES	5
			MUERTE	4
			LESION GRAVE	3
			INCAPACIDAD	2
			HERIDA LEVE	1
	MEDIO AMBIENTE (MA)	l	DAÑOS AL MEDIO AMBIENTE CON SANCION Y MALA IMAGEN EMPRESARIAL	5
			DAÑOS AL MEDIO AMBIENTE SIN SANCION	4
			DAÑOS CONTROLABLES DE FORMA INTERNA	3
			DAÑOS IMPERCEPTIBLES	2
			NO OCACIONA DAÑOS	1
	IMPACTO EN LA PRODUCCIÓN (IP)	m	PARO TOTAL DE OPERACIONES	5
			PARO DEL INGENIO	4
			PARO DE PLANTA TERMICA	3
			PARO DEL SISTEMA	2
			REDUCCIÓN DE EFICIENCIA DEL SISTEMA	1
	CALIDAD DEL PRODUCTO (QP)	n	IMAGEN NEGATIVA O RECLAMOS LEGALES	5
			RECLAMOS INTERNOS	2.5
			NO CAUSA PROBLEMAS DE CALIDAD	1
	MANTENIBILIDAD (MT)	ñ	TRABAJOS MUY LARGOS MAYORES A 72 HORAS	5
			TRABAJOS MAYORES A 24 HORAS Y MENORES A 72	2.5
REPARACION INMEDIATA. MENOS DE 24 HORAS			1	
	SUMATORIA	100%		

Tabla 5: Distribución de peso de factor, criterios y valor de criterios del aspecto de consecuencia.

Aspecto Ocurrencia: Es un aspecto que trata de cuantificar la probabilidad de que un evento ocurra. Su cálculo se realizará como la sumatoria de la multiplicación de los factores (Régimen de trabajo y Frecuencia de fallo) por las constantes “p= 0.4” y “q=0.6” que representan la magnitud de influencia en la consecuencia.

$$Ocurrencia = (p \times RT) + (q \times FF)$$

$$p + q = 1.0$$

Ecuación 6: Ocurrencia.

Donde:

Los factores se definen:

- Régimen de trabajo (RT): Tiempo en el que el sistema se encuentra ejecutando la función para el cual ha sido designado.
- Frecuencia de fallo (FF): Es la cantidad de veces que se repite una falla en un activo.

Flujograma del algoritmo: Para la matriz de criticidad se ha considerado que los factores más importantes de la consecuencia son los de Seguridad industrial, Medio ambiente, Impacto en la productividad. Si a alguno de estos factores se le asigna un valor de criterio máximo; el sistema se convierte en “Crítico”. Para la obtención del grado de criticidad de los sistemas se realiza los cálculos de la ocurrencia y consecuencia. Posteriormente se clasifican según el cuadro de decisión.

ASPECTO OCURREN	FACTOR	PESO DE FACTOR	CRITERIO	VALOR DE CRITERIO
	REGIMEN DE TRABAJO (RT)	p		24 HORAS POR DIA
MENOS DE 8 HORAS				2
EVENTUAL				1
FRECUENCIA DE FALLO (FF)	q		MAS DE 3 VECES EN ZAFRA	4
			2 VECES EN ZAFRA	3
			1 VEZ EN ZAFRA	2
			MUY DIFICILMENTE	1
SUMATORIA		1		

Tabla 6: Distribución de peso de factor, criterios y valor de criterios del aspecto de ocurrencia.

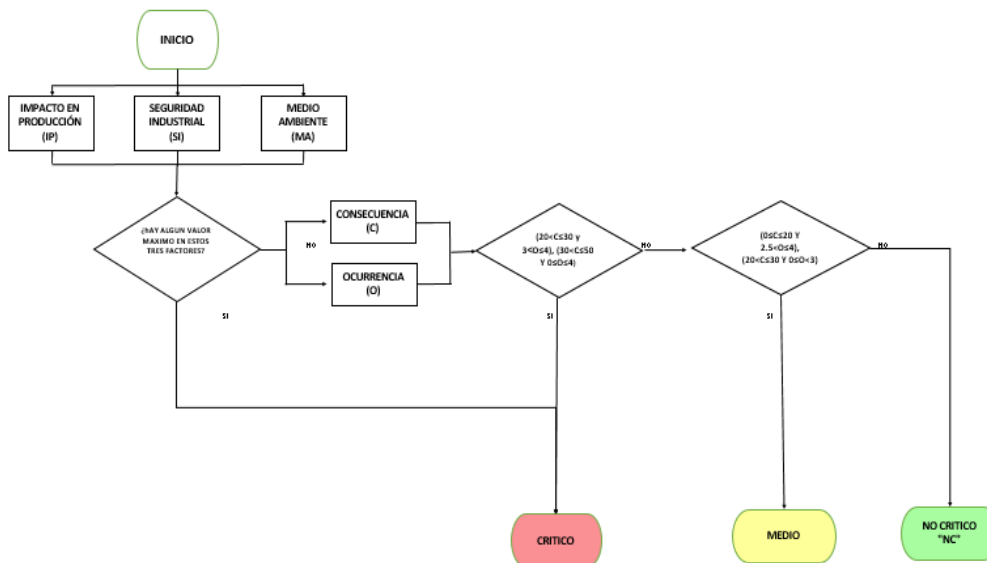


Ilustración 35: Flujograma de algoritmo de determinación de criticidad en los equipos.

Cuadro de decisión:

El cuadro de decisión es un ordenamiento cartesiano donde los puntos axiales son la ocurrencia y los puntos verticales son las consecuencias. Se debe realizar los cálculos y de acuerdo al resultado y flujograma se clasifican con un nivel de criticidad.

OCURRENCIA	4	DE 1 A 10	DE 10 A 20	DE 21 A 30	DE 31 A 40	DE 41 A 50
	3.5	DE 1 A 10	DE 10 A 20	DE 21 A 30	DE 31 A 40	DE 41 A 50
	3	DE 1 A 10	DE 10 A 20	DE 21 A 30	DE 31 A 40	DE 41 A 50
	2.5	DE 1 A 10	DE 10 A 20	DE 21 A 30	DE 31 A 40	DE 41 A 50
	2	DE 1 A 10	DE 10 A 20	DE 21 A 30	DE 31 A 40	DE 41 A 50
	1.5	DE 1 A 10	DE 10 A 20	DE 21 A 30	DE 31 A 40	DE 41 A 50
	1	DE 1 A 10	DE 10 A 20	DE 21 A 30	DE 31 A 40	DE 41 A 50
	0.5	DE 1 A 10	DE 10 A 20	DE 21 A 30	DE 31 A 40	DE 41 A 50
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIA				

Tabla 7: Cuadro de decisión.

7.2.3. Selección de Estrategia de Mantenimiento.

7.2.3.1. Análisis de modos de falla y efectos (AMEF).

Para Moubray, la definición correcta de un modo de falla debe tener en su estructura semántica por lo menos un sustantivo y un verbo. Por ejemplo: Motor quemado. Sin embargo, el modo de falla debe tener el detalle suficiente para determinar una estrategia de mantenimiento para el manejo de la falla.

El detalle suficiente se considera realizar una descripción de los efectos y consecuencias de la falla.

Se propone el siguiente formato:

ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA						
Instalación: _____						
Planta: _____						
Sistema: _____						
SISTEMA	FUNCION	FALLA FUNCIONAL	EQUIPO	MODOS DE FALLA	EFECTO DE FALLA	CONSECUENCIA DE FALLA
Identificar el Sistema donde se trabaja.	Definir la función de acuerdo al formato propuesto (Tabla formato de Función).	Identificar de como puede fallar la función principal del sistema.	Identificar el equipo involucrado en la falla funcional.	Identificar la manera como falla el equipo.	Describir lo que ocurre cuando se presenta la falla.	Describir el impacto que produce si ocurriera la falla.

Tabla 8: Plantilla para análisis modo de falla.

7.2.3.2. Estrategia de Mantenimiento.

Las estrategias de mantenimiento se definen una vez se tenga identificado el modo de falla en conjunción con la consecuencia. Una estrategia de mantenimiento se considera justificada cuando la aplicación de la misma se justifica evitando o disminuyendo la consecuencia de la falla que se presenta.

La estrategia de mantenimiento es el conjunto de tipos de tareas de mantenimiento que se deben de realizar con el fin de mantener el control sobre la falla y lograr de este modo el objetivo deseado. Las estrategias de mantenimiento más comunes que se aplican son similares a los tipos de mantenimiento:

- Estrategia basada en condición: Se realiza inspeccionando y/o monitoreando parámetros para identificar una falla potencial y planificar la intervención para solucionar el problema.
- Estrategia Correctiva: Se decide esperar que ocurra la falla “Run to failure”. Y tener un plan para solventarla en cuanto ocurra.
- Estrategia Preventiva: Se realiza a intervalos de tiempo definidos y se tiene establecido la intervención que se realizara (todos los insumos requeridos materiales y humanos). Se establece cuando se tiene claro los tiempos en la cual es altamente probable la ocurrencia de una falla. También está dada a intervalos definido por los fabricantes.

La estrategia se debe definir a continuación del análisis de modo de falla AMEF. Para ello se complementará el formato anterior.

ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA							ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO
Instalación: _____							
Planta: _____							
Sistema: _____							
SISTEMA	FUNCION	FALLA FUNCIONAL	EQUIPO	MODOS DE FALLA	EFFECTO DE FALLA	CONSECUENCIA DE FALLA	ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO
Identificar el Sistema donde se trabajará.	Definir la función de acuerdo al formato propuesto (Tabla formato de Función).	Identificar de como puede fallar la función principal del sistema.	Identificar el equipo involucrado en la falla funcional.	Identificar la manera como falla el equipo.	Describir lo que ocurre cuando se presenta la falla.	Describir el impacto que produce si ocurriera la falla.	Colocar la estrategia o estrategias que se han las más indicadas para tratar el modo de falla.

Tabla 9: Plantilla para análisis modo de falla incluyendo estrategia de mantenimiento.

7.2.4. Métodos de Monitoreo de condición.

7.2.4.1. Identificar Parámetros a Medir.

Los parámetros a medir son las variables con las cuales se hace evidente una falla potencial; es decir, son los medios que utilizamos para identificar si una maquina se encuentra en buen estado o hay un indicio de un funcionamiento anormal.

Definir los parámetros a medir es una de las tareas fundamentales, pues en base a ellos se realizará la selección de la técnica de medición, por ende, la compra de equipos, necesidades de capacitación, etc.

La norma ISO 17359, nos indica unos parámetros de medición de acuerdo al tipo de máquina. Estos en conjunto con el AMEF nos permitirán definir los parámetros a los cuales se realizarán las medidas y los posteriores análisis.

Parameter	Machine type									
	Electric motor	Steam turbine	Aero gas turbine	Industrial gas turbine	Pump	Compressor	Electric generator	RIC engine	Fan	Power transformer
Temperature	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Pressure	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Pressure (head)					*					
Pressure ratio		*	*	*	*					
Pressure (vacuum)		*		*	*					
Air flow			*	*		*		*	*	
Fuel flow		*	*	*	*			*	*	
Fluid flow	*	*	*	*	*	*		*	*	
Current	*					*				*
Voltage	*					*				*
Resistance	*					*				*
Electrical phase	*					*				
Input power	*				*	*	*		*	*
Output power	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Noise	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Vibration	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Acoustic emission	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Ultrasonics	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Oil pressure	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Oil consumption	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Oil (tribology)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Thermography	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Torque	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Speed	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Length	*									
Angular position	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Efficiency (derived)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Tabla 10: Parámetros de medición recomendados por ISO 17359

7.2.4.2. Técnicas de Medición.

Las técnicas de medición se seleccionan en conjunto con el parámetro que debemos medir. La técnica de medición es la que hace posible la visualización de los parámetros que nos indican un indicio de falla mediante la variación del mismo.

Los aspectos que se deben de considerar para elegir una técnica de medición adecuada son: La inversión que se debe de realizar (equipos, capacitaciones y recursos humanos). Así mismo la curva de aprendizaje para aplicar la técnica es muy importante.

7.2.4.3. Frecuencia de monitoreo y tiempo de adquisición de la data.

La frecuencia de monitoreo se refiere a los intervalos de tiempo que es requerido realizar las mediciones para poder analizar y busca una falla potencial. Para ello se realiza un estudio de los modos de fallo en conjunto con la frecuencia de fallo, criticidad del equipo y un concepto que proponemos en este estudio que llamaremos vulnerabilidad.

Vulnerabilidad: Denominaremos a la propiedad que tiene la maquina en mantener su estado de operación dentro de los limites operacionales definidos, dentro de una operación normal. Es decir, que tan propenso es la máquina de estar afuera del rango de operación, producto de algún evento propio de la producción. Por ejemplo: En las picadoras de caña, las piedras que trae consigo la caña hacen que el equipo sea vulnerable. Mientras tanto un transportador de bagazo, tiene pocas probabilidades de llevar algún elemento que lo dañe, por tanto, este será menos vulnerable.

Para poder organizar las frecuencias de monitoreo se establecen rutas, que son agrupaciones de equipos que se establecen de acuerdo a la criticidad y vulnerabilidad. El factor de vulnerabilidad se clasificará como Alto, medio y bajo.

Los tiempos de adquisición de datos, nos referiremos a la configuración que se realiza en sistemas de monitoreo continuo y colectores de datos automáticos.

- En el caso de monitoreo continuo: Se debe de configurar la frecuencia de tiempo en el cual un parámetro va a ser almacenado; esto es importante para el caso que se deba de realizar un análisis del comportamiento de la variable monitoreada. Así mismo se debe de configurar la variación máxima permisible para que un parámetro sea almacenado de forma mandatoria.
- En el caso de los colectores de datos automáticos: Se requiere configurar los parámetros de forma similar al de monitoreo continuo. Los propósitos de esta configuración son mantener un bajo consumo de recursos (ancho de banda, baterías) para la transmisión de información.

METODOS DE MONITOREO DE CONDICION		
PARAMETRO A MEDIR	TECNICA DE MEDICION	FRECUENCIA DE MONITOREO
<i>Colocar la variable fisica que identificara el sintoma de la falla.</i>	<i>Escoger la tecnica que hace posible la medicion del parametro fisico para su cuantificacion y seguimiento.</i>	<i>Escoger el intervalo de tiempo apropiado para recoger o adquirir la medicion del parametro.</i>

Tabla 11: Plantilla para método de monitoreo de condición.

7.2.5. Configuraciones Necesarias para Monitoreo de Condición.

La efectividad del diagnóstico de monitoreo de condición depende de varios factores, entre los más importantes se encuentra las configuraciones y el manejo de la información hasta obtener el diagnóstico.

7.2.5.1. La Línea Base.

Es el valor del parámetro que se ha seleccionado para monitorear o medir, en el cual la maquina se considera en un óptimo estado; es decir, es el valor donde se considera que la maquina se encuentra funcionando bien.

Este valor es muy importante conocerlo y/o adquirirlo. Se adquiere de los siguientes modos:

- Normas: Se utiliza normas que dependiendo de la maquina asigna valores típicos. (ejemplo. Norma ISO10816 análisis de vibraciones). Este valor base es recomendable utilizar solo si no se ha tenido referencias de mediciones de la máquina.
- Medición nueva o recién reparada: Se puede tomar de referencia los valores de los parámetros después de haber sido reparadas o cuando la maquina es nueva.
- Comparación con otras máquinas similares: Este método es muy común usarlos, pero se debe tener en cuenta las variables operativas y el modo como se instaló la máquina.
- Tendencias: Después de tener una cantidad suficiente de datos y si la maquina ha estado funcionando correctamente, se puede estimar la línea base a cierto valor. Que se considerara como indicador de buen estado de la máquina.
- Recomendaciones del fabricante: El fabricante en el manual de operación puede establecer valores límites o típicos de ciertos como temperatura, vibración.

La línea base se utiliza para compararla con las mediciones posteriores y de este modo se tiene un parámetro de comparación que nos indicara el estado de la máquina. Una variación de la medida tomada y la línea base (concepto de límites operacionales), nos alertara que hay un cambio que debe ser analizado a mayor profundidad.

7.2.5.2. Configuraciones de Límites Operacionales y Variable de apoyo al Diagnóstico.

❖ Configuración de limites operacionales:

Nos referiremos a limites operacionales a ciertos valores en el cual los parámetros de monitoreo nos indican una anomalía. Para ello se definirán dos conceptos.

- Nivel de Alerta: Se denominará nivel de alerta al parámetro en el cual se considera que el equipo se encuentra con falla potencial y requiere

planificarse el mantenimiento. La falla funcional no es inminente. Es decir, la maquina puede operar por un lapso de tiempo.

- Nivel de Alarma: Se denominará nivel de alarma, al valor del parámetro monitoreado donde el equipo debe de parar. Los equipos que operan en este valor o superior tienen alto riesgo de entrar en falla funcional en el corto plazo. Por ello se recomienda detener el equipo para repararlo.

CONFIGURACIONES NECESARIAS PARA EL MONITOREO DE CONDICION "LIMITES OPERACIONALES"		
Instalación:		
Planta:		
Sistema:		
Equipo:		
Tecnica Utilizada:		
Parametro a Medir:		
LINEA BASE	NIVEL DE ALERTA	NIVEL DE ALARMA
Valor del parametro en cual se considera que una maquina esta en buen funcionamiento.	Valor del parametro indicara la presencia de una falla potencial. Pero el equipo aun puede operar por un determinado tiempo.	Valor del parametro que indica la presencia de una falla funcional inminente. El equipo ya no opera con seguridad

Tabla 12: Plantilla para establecer límites operacionales para el monitoreo de condición.

❖ Configuración de parámetros de apoyo al diagnóstico:

Los parámetros de apoyo al diagnóstico son aquellos parámetros que nos ayudan a realizar un mejor diagnóstico. Estos parámetros dependen de la técnica y del equipo que se utiliza. Por ejemplo, tenemos:

- **Análisis de Vibraciones:** En esta técnica es usual ingresar los siguientes parámetros: Frecuencia máxima (que nos indica el rango de frecuencia que nos interesa monitorear), número de líneas (se utiliza para definir la resolución de las curvas), número de rodamientos (para poder identificar frecuencias de fallas de los componentes).
- **Ultrasonido Pulso Eco:** En esta técnica los valores que se deben de configurar son: La ganancia y la potencia de sonido.

**CONFIGURACIONES NECESARIAS PARA EL MONITOREO DE CONDICION
"VARIABLES DE APOYO AL DIAGNOSTICO"**

Instalación: _____
 Planta: _____
 Sistema: _____
 Equipo/Maquina: _____
 Tecnica Utilizada: _____

VARIABLES DE LA MAQUINA	DATOS DE TECNICOS Y OPERACIONALES	VALOR
	DATO 1	VALOR 1
	DATO 2	VALOR 2
	DATO 3	VALOR 3
	DATO 4	VALOR 4
	DATO 5	VALOR 5
	DATO 6	VALOR 6
	DATO 7	VALOR 7
	DATO 8	VALOR 8
	DATO 9	VALOR 9

PARAMETROS DE APOYO AL DIAGNOSTICO SEGUN LA TECNICA	DATOS DE TECNICOS Y OPERACIONALES	VALOR
	DATO 1	VALOR 1
	DATO 2	VALOR 2
	DATO 3	VALOR 3
	DATO 4	VALOR 4
	DATO 5	VALOR 5
	DATO 6	VALOR 6
	DATO 7	VALOR 7
	DATO 8	VALOR 8
	DATO 9	VALOR 9

Tabla 13: Plantilla para establecer variable de apoyo al diagnóstico para el monitoreo de condición.

7.2.5.3. Diagnóstico y Pronóstico.

La diferencia entre el diagnóstico y el pronóstico es que la primera se refiere al análisis de datos y con esa información se obtienen el estado actual de la máquina. En cambio, el pronóstico hace referencia a una vez hallado la falla potencial en alguno de los parámetros trata de simular o modelar la evolución de esa falla a futuro; es decir, que el pronóstico hace referencia al comportamiento futuro con cierto grado de incertidumbre. Para realizar el pronóstico hace falta utilizar herramientas estadísticas e interrelacionarlas con modelos matemáticos de acuerdo a las tendencias.

Para ellos definiremos 4 tipos de análisis.

- **Análisis Tipo 1, Verificación de Funcionamiento Normal:** Se denominará así a la comparación inmediata del valor medido con el valor de línea base. Una variación significativa mayor (+- 20%) debe dar paso al análisis tipo 2, que se denominara de verificación de datos.

La salida de este análisis será buen estado o sospecha de falla potencial.

- Análisis Tipo 2, Verificación de datos: Este análisis contempla la verificación de los datos tanto de la configuración de los datos de apoyo al diagnóstico como la información del dato medido en la máquina. Se evalúa las tendencias de las mediciones y se vuelve a medir el punto. De existir indicio de falla. Pasará a un análisis tipo 3 de diagnóstico de falla y recomendaciones.

La salida de este análisis es: Datos verificados, datos corregidos o falla identificada

- Análisis Tipo 3: Este análisis es el más profundo para el diagnóstico, contempla la búsqueda del tipo de falla. Por ejemplo. Falla en pista externa de rodamiento, desbalances, holgura, etc. Este tipo de análisis tiene como salida el diagnóstico de la falla más preciso y las recomendaciones para su atención.

Para poder dar seguimiento a la progresión de la falla potencial hace falta otro tipo de análisis en el cual se combina las mediciones de varios parámetros tanto de monitoreo de condición como de variables operacionales.

- Análisis Tipo 4, Pronóstico de la falla: Este tipo de análisis se debe de realizar utilizando herramientas estadísticas y modelos matemáticos. EL nivel de incertidumbre es muy alto. Debido a que la progresión de la falla depende de varios factores.

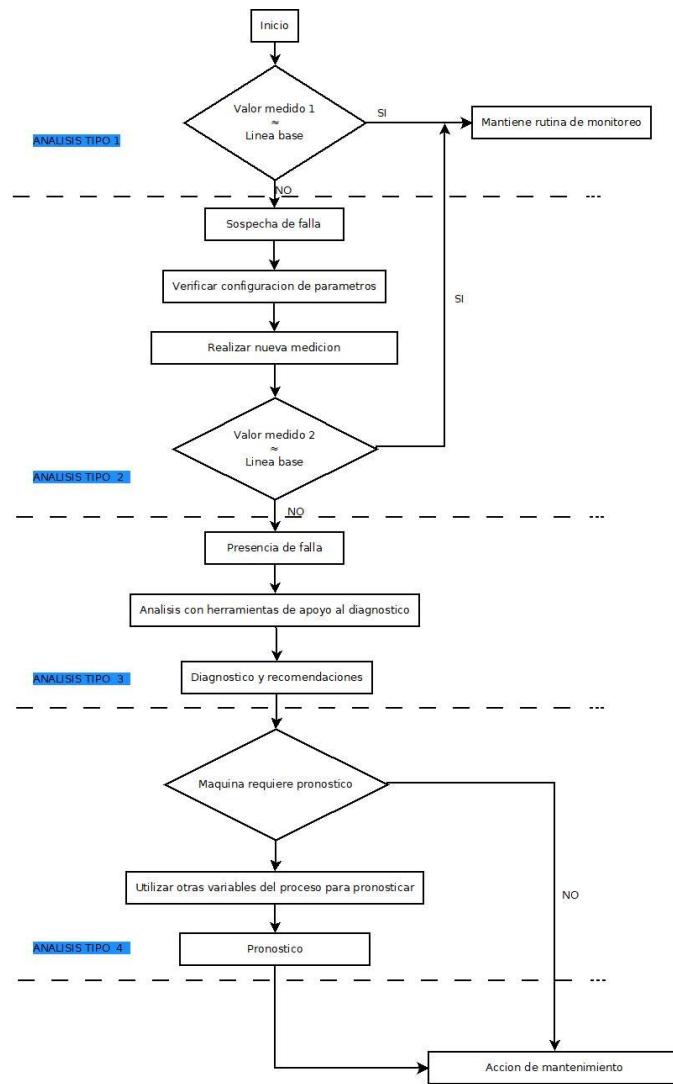


Ilustración 36: Diagrama de flujo de tipo de análisis para diagnóstico y pronóstico de falla potenciales.

7.2.6. Determinación de las Acciones de Mantenimiento.

Las acciones requeridas de mantenimiento son todas actividades que se deben de realizar a partir de la comunicación de un hallazgo de mantenimiento basado en condición. Es decir, las acciones que mantenimiento mecánico, eléctrico, etc. Tomaran para dar solución a la falla potencial que se expone en el diagnóstico de mantenimiento basado en condición.

Las acciones de mantenimiento por lo general son:

- Ninguna acción se continúa el monitoreo con el mismo intervalo de monitoreo: Esta acción de mantenimiento se da cuando el equipo tiene baja criticidad y es más conveniente intervenir una vez que falle la máquina.
- Cambio de intervalo o frecuencia de monitoreo: Esta acción consiste en reducir el intervalo de monitoreo, esto con el fin de tener mayor información de la evolución de la falla. Y tomar alguna decisión de intervención si hay cambios en las mediciones.
- Cambio en el rendimiento o capacidad de la maquina: Estos casos la maquina se configura para intentar hacer más lenta la progresión de la falla. Es una medida temporal que se realiza para planificar una planta parada y reparación.
- Parar para inspeccionar y adelantar mantenimiento planificado de la maquina: Esta acción se deriva de la necesidad de no estar parando el equipo frecuentemente, es preferible realizar un paro y aprovechar la ventana de oportunidad para hacer la mayor cantidad de trabajos. A esta acción también se le denomina mantenimiento de oportunidad.
 - Reparación inmediata de la maquina (Correctivo inmediato): Esta actividad de mantenimiento y realiza cuando la maquina opera a valores más elevados que sus parámetros de operación. Es decir que la maquina tiene altas probabilidades de provocar un daño mayor o daño a otras máquinas o personas. Este caso es el más costoso pues no se ha planificado la intervención. Hay un lucro cesante grande en la producción, además de haber capacidad ociosa de las personas y demás maquinas.

7.2.7. Revisión de grado de certeza del Diagnóstico y Optimización del Plan de Mantenimiento Basado en Condición.

El objetivo de esta parte es evaluar y retroalimentar la efectividad de la aplicación del plan de mantenimiento basado en condición y el grado de certeza del diagnóstico para optimizar la gestión operativa y administrativa de la gestión de mantenimiento basado en condición.

El proceso comprenderá las siguientes etapas:

- 1- Emisión de los diagnósticos de mantenimiento basado en condición.
- 2- Intervención de la máquina para el mantenimiento.
- 3- Recopilación de evidencia de la falla.
- 4- Análisis comparativo de la evidencia con el diagnóstico y verificación del grado de certeza del mismo.
- 5- Registro de la información obtenida tanto en el histórico de la maquina como en el récord o en el cuadro de control de mantenimiento basado en condición.

DATOS DE LA MAQUINA		DETALLES DE DIAGNOSTICO			ACCION DE MANTENIMIENTO	MEJORA CONTINUA
Unidad	Nombre de la Maquina	Técnica Utilizada	Limite Operacional	Detalle de Diagnostico	Accion de Mantenimiento	¿Diagnostico certero?
Colocar unidad a la que pertenece la maquina	Colocar nombre de la maquina	Colocar tecnica utilizada en el diagnostico	Colocar nivel de limite operacional	Detallar el diagnostico encontrado	Colocar la accion de mantenimiento a realizar	Registrar si el diagnostico brindado fue certero

Tabla 14: Plantilla para el control de grado de certeza.

7.2.8. Análisis de Costo-Beneficio Utilizando Principios de ISO 17359.

Se utilizará la metodología señalada en la parte 7.1.4.2; Con la diferencia que se utilizará los criterios de la normativa ISO 17359 (Utilización de matriz de criticidad).

7.3. Utilización de Principios de Industria 4.0.

La propuesta de aplicación de principios de industria 4.0 será enfocada en las técnicas de análisis de vibraciones y medición de temperatura debido a que ellas tienen mayor desarrollo tecnológico en la adquisición de datos y la comunicación de datos. Para las otras técnicas o pruebas no hay un avance sustancial. Por tanto, esos procesos se mantienen del modo tradicional.

En la industria 4.0 no funcionaría sin la interconectividad, es por ello que se realizara un esquema básico de cómo funcionan las interconexiones de los sistemas a implementar.

Como resultado de la interconexión de datos y abundancia de información tiene el potencial de poder interrelacionar variables tanto del sistema de monitoreo de condición como de variables operacionales.

Se aplicarán 3 formas de monitoreo de condición:

- Monitoreo condición con colectores automáticos de datos.
- Monitoreo Continuo.
- Rutas de monitoreo.

7.3.1. Elección del Método de Monitoreo.

La propuesta que se plantea para elegir el método de monitoreo es la aplicación de un algoritmo que combinan tanto la criticidad del equipo y el factor de vulnerabilidad, el cual fue definido en el ítem 7.2.4. El resultado de la aplicación del algoritmo es el método de monitoreo, el cual puede ser:

- Método de monitoreo continuo.
- Método de monitoreo Automático.
- Método de monitoreo por rutas.
- No realizar monitoreo.



Ilustración 37: Agrupación de dos criterios para obtener método de monitoreo.

Las reglas lógicas que se han tomado para la definición de los métodos de monitoreo son los siguientes:

Factor de Vulnerabilidad	Factor de Criticidad	METODO DE MONITOREO
ALTO	CRÍTICO	M. CONTINUO
ALTO	MEDIO	M. AUTOMATICO
ALTO	NO CRITICO	NO REALIZAR MONITOREO
MEDIO	CRÍTICO	M. AUTOMATICO
MEDIO	MEDIO	M. MEDIANTE RUTAS
MEDIO	NO CRITICO	NO REALIZAR MONITOREO
BAJO	CRÍTICO	M. AUTOMATICO
BAJO	MEDIO	M. MEDIANTE RUTAS
BAJO	NO CRITICO	NO REALIZAR MONITOREO

Tabla 15: Cuadro de decisión para elección de método de monitoreo.

A La matriz de criticidad se ha adicionado el campo de factor de vulnerabilidad que ha sido definido en el ítem 7.2.4.3; luego se deberá evaluar el método de monitoreo según la tabla 12 “cuadro de decisión para elección de método de monitoreo”.

7.3.2. Monitoreo Continuo.

El monitoreo continuo se utiliza en aplicaciones consideradas muy críticas y factores de vulnerabilidad altos.

Como su nombre lo indica, el monitoreo se realiza de modo continuo. Los sensores y el cableado permanecen todo el tiempo en el equipo y la adquisición y transmisión de información es constante; por ello requiere gran capacidad de almacenamiento de datos y velocidad de transmisión de información.

Los aspectos a considerar son:

- 1- Selección de sensores.
- 2- Tarjeta de adquisición de datos.
- 3- Arquitectura de red y funcionamiento.

7.3.3. Monitoreo de Condición Colectores Automáticos.

El objetivo de los colectores automáticos es adquirir información de las máquinas de forma automática a intervalos de tiempos predeterminados. Los sensores permanecen fijos en las máquinas y transmiten información a intervalos regulares según sea su configuración. Por ejemplo, podría transmitir el valor de vibraciones cada 3 minutos. Los aspectos más importantes a considerar son:

- 1- Selección de sensores.
- 2- Arquitectura de red y funcionamiento.

7.3.4. Monitoreo de Condición Mediante Rutas.

El monitoreo de condición mediante ruta se realizará utilizando un colector de datos que se caracteriza por adquirir las señales y enviarlas a un dispositivo móvil (Tablet o celular) mediante un protocolo de bluetooth. Una vez la señal se encuentre en el dispositivo móvil tiene la posibilidad de ser transmitida a un servicio en la nube de análisis y diagnóstico. El colector de datos no permanece fijo en el equipo, hay un operador que lo traslada punto a punto de medición y máquina a máquina.

Los aspectos importantes a considerar son los siguientes:

- 1- Selección de sensor.
- 2- Dispositivo móvil.
- 3- Red.
- 4- Diagnostico remoto.
- 5- Análisis en línea.

7.3.5. Análisis de Retorno de la Inversión con Principios de Mantenimiento 4.0.

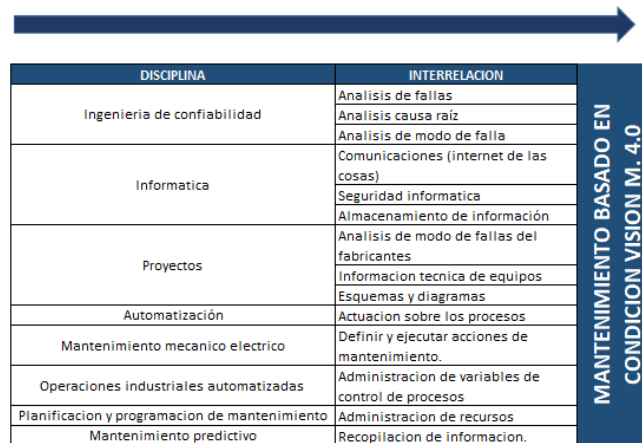
Se utilizará la metodología señalada en el **Ítem 7.1.4.2**; Con la diferencia que se utilizará dispositivos en industria de mantenimiento 4.0.

VIII. DESARROLLO DE LA PROPUESTA.

8.1. Desarrollo de Interrelación de Gestión de Mantenimiento Basado en Condición con su Ámbito Externo e Interno.

8.1.1. Ámbito Externo.

Se muestran las principales interrelaciones del mantenimiento con su ámbito externo.



DISCIPLINA	INTERRELACION
Ingeniería de confiabilidad	Análisis de fallas
	Análisis causa raíz
	Análisis de modo de falla
Informática	Comunicaciones (internet de las cosas)
	Seguridad informática
	Almacenamiento de información
Proyectos	Análisis de modo de fallas del fabricante
	Información técnica de equipos
	Esquemas y diagramas
Automatización	Actuación sobre los procesos
Mantenimiento mecánico eléctrico	Definir y ejecutar acciones de mantenimiento.
Operaciones industriales automatizadas	Administración de variables de control de procesos
Planificación y programación de mantenimiento	Administración de recursos
Mantenimiento predictivo	Recopilación de información.

Tabla 16: Interrelaciones del mantenimiento con su ámbito externo.

8.1.2. Ámbito Interno.

Se muestran las interrelaciones de los procesos internos de mantenimiento basado en condición.

MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICION VISION M. 4.0	Interrelación	Procesos internos
	Administración de trabajos	Definición y asignación de trabajos
	Personal capacitado	Adiestramiento de recursos humanos
	Materiales, herramienta y equipos adecuados	Materiales, herramientas y equipos
	Calidad en la detección y diagnóstico y pronóstico asertado	Detección, diagnóstico y pronóstico.
	Cumplimiento de normativa de calidad	Gestión de calidad
	Eficiencia y calidad de los trabajos	Control interno de trabajo
	Información confiable y trazable	Control de información

Tabla 17: Interrelación del mantenimiento con su ámbito interno.

8.1.3. Inventario de Equipos.

A continuación, se presentan el listado de equipos que pertenecen al área de generación de vapor y energía eléctrica del ingenio azucarero.

Código de Sistema	Nombre de Sistema	Código de Equipo	Nombre de Equipo	Tipo de equipo
1000983	SISTEMA BOMBA PPAL LUBRICACION GEN NO 4	104274	BOMBA PRINCIPAL LUBRICACION TG4	BOMBA HIDRAULICA
1000984	SISTEMA BOMBEO AUX LUB GENERADOR NO 4	200653	MOTOR BBA AUXILI LUBRICACION GENERADOR 4	MOTOR ELECTRICO
1000984	SISTEMA BOMBEO AUX LUB GENERADOR NO 4	100468	BOMBA AUXILIAR LUBRICACION GENERADOR 4	BOMBA HIDRAULICA
1000985	SISTEMA BOMBEO EMER LUB GENERADOR NO 4	200654	MOTOR BBA EMERGENCIA LUBRIC GENERADOR 4	MOTOR ELECTRICO
1000985	SISTEMA BOMBEO EMER LUB GENERADOR NO 4	100469	BOMBA DE EMERGENCIA LUBRICACION GENERA 4	BOMBA HIDRAULICA
1000986	SISTEMA BOMBEO ROTOR GENERADOR NO 4	200655	MOTOR BBA ELEVACION DE ROTOR GENERADOR 4	MOTOR ELECTRICO
1000986	SISTEMA BOMBEO ROTOR GENERADOR NO 4	100470	BOMBA ELEVACION DE ROTOR GENERADOR 4	BOMBA HIDRAULICA

Código de Sistema	Nombre de Sistema	Código de Equipo	Nombre de Equipo	Tipo de equipo
1000989	SISTEMA TURBO GENERADOR NO 4	101092	MOTOREDUCTOR GIRO LENTO TURBOGENERAD 4	MOTOREDUCTOR
1000989	SISTEMA TURBO GENERADOR NO 4	104273	REDUCTOR TURBINA NO 4	REDUCTOR
1000990	SISTEMA VENTILADOR NEBLINA GENERADOR NO4	200729	MOTOR VENTILADOR DE NEBLINA GENERADOR 4	MOTOR ELECTRICO
1000992	SISTEMA BOMBEO AUX LUB GENERADOR NO 5	200656	MOTOR BBA AUXILI LUBRICACION GENERADOR 5	MOTOR ELECTRICO
1000992	SISTEMA BOMBEO AUX LUB GENERADOR NO 5	104221	BOMBA AUXILIAR LUBRICACION GENERADOR 5	BOMBA HIDRAULICA
1000993	SISTEMA BOMBEO EMER LUB GENERADOR NO 5	200657	MOTOR BBA EMERGENCIA LUBRIC GENERADOR 5	MOTOR ELECTRICO
1000993	SISTEMA BOMBEO EMER LUB GENERADOR NO 5	100475	BOMBA DE EMERGENCIA LUBRICACION GENERA 5	BOMBA HIDRAULICA
1000994	SISTEMA BOMBEO ROTOR GENERADOR NO 5	200658	MOTOR BBA ELEVACION DE ROTOR GENERADOR 5	MOTOR ELECTRICO
1000994	SISTEMA BOMBEO ROTOR GENERADOR NO 5	100476	BOMBA ELEVACION DE ROTOR GENERADOR 5	BOMBA HIDRAULICA
1001000	SISTEMA TURBO GENERADOR NO 5	101093	MOTOREDUCTOR GIRO LENTO TURBOGENERAD 5	MOTOREDUCTOR
1001000	SISTEMA TURBO GENERADOR NO 5	100957	REDUCTOR TURBINA NO 5	REDUCTOR
1001001	SISTEMA VENTILADOR NEBLINA GENERADOR NO5	200730	MOTOR VENTILADOR DE NEBLINA GENERADOR 5	MOTOR ELECTRICO
1001002	SISTEMA BOMBEO NO 1 SATURADOR VAPOR FAB	200632	MOTOR BBA SATURADOR DE VAPOR FABRICA	MOTOR ELECTRICO
1001002	SISTEMA BOMBEO NO 1 SATURADOR VAPOR FAB	100423	BOMBA SATURADOR DE VAPOR A FABRICA	BOMBA
1001003	SISTEMA BOMBEO NO 1 AGUA CALIENTE	200633	MOTOR BBA NO 1 AGUA CALIENTE DEAREADORES	MOTOR ELECTRICO

Código de Sistema	Nombre de Sistema	Código de Equipo	Nombre de Equipo	Tipo de equipo
1001003	SISTEMA BOMBEO NO 1 AGUA CALIENTE	100424	BOMBA NO 1 AGUA CALIENTE A ALFACOND	BOMBA
1001004	SISTEMA BOMBEO NO 2 AGUA CALIENTE	200634	MOTOR BBA NO 2 AGUA CALIENTE DEAREADORES	MOTOR ELECTRICO
1001004	SISTEMA BOMBEO NO 2 AGUA CALIENTE	100425	BOMBA NO 2 AGUA CALIENTE A ALFACOND	BOMBA
1001005	SISTEMA BOMBEO NO 1 AGUA DEAREADOR	200635	MOTOR BBA NO 1 AGUA A DEAREADOR 900 PSI	MOTOR ELECTRICO
1001005	SISTEMA BOMBEO NO 1 AGUA DEAREADOR	100426	BOMBA NO 1 AGUA A DEAREADOR 900 PSI	BOMBA
1001006	SISTEMA BOMBEO NO 2 AGUA DEAREADOR	200636	MOTOR BBA NO 2 AGUA A DEAREADOR 900 PSI	MOTOR ELECTRICO
1001006	SISTEMA BOMBEO NO 2 AGUA DEAREADOR	100427	BOMBA NO 2 AGUA A DEAREADOR 900 PSI	BOMBA
1001007	SISTEMA BOMBEO NO 1 AGUA TANQUE NO 5	200637	MOTOR BBA NO 1 AGUA CALIENTE TANQUE 5	MOTOR ELECTRICO
1001007	SISTEMA BOMBEO NO 1 AGUA TANQUE NO 5	100428	BOMBA NO 1 AGUA CALIENTE TANQUE 5	BOMBA
1001011	SISTEMA BOMBEO NO1 ALIMENTACION CALDERAS	201367	MOTOR BBA 1 ALIMENTACION CALDERA 900 PSI	MOTOR ELECTRICO
1001011	SISTEMA BOMBEO NO1 ALIMENTACION CALDERAS	100433	BOMBA NO 1 ALIMENTACION CALDERAS 900PSI	BOMBA
1001012	SISTEMA BOMBEO NO2 ALIMENTACION CALDERAS	100434	BOMBA NO 2 ALIMENTACION CALDERAS 900PSI	BOMBA
1001014	SISTEMA BOMBEO NO3 ALIMENTACION CALDERAS	201497	MOTOR BBA 3 ALIMENTACION CALDERA 900 PSI	MOTOR ELECTRICO
1001014	SISTEMA BOMBEO NO3 ALIMENTACION CALDERAS	100436	BOMBA NO 3 ALIMENTACION CALDERAS 900PSI	BOMBA
1001015	SISTEMA BOMBEO NO4 ALIMENTACION CALDERAS	100437	BOMBA NO 4 ALIMENTACION CALDERAS 900PSI	BOMBA
1001017	SISTEMA BOMBEO NO5 ALIMENTACION CALDERAS	200642	MOTOR BBA 5 ALIMENTACION CALDERA 900 PSI	MOTOR ELECTRICO

Código de Sistema	Nombre de Sistema	Código de Equipo	Nombre de Equipo	Tipo de equipo
1001017	SISTEMA BOMBEO NO5 ALIMENTACION CALDERAS	100439	BOMBA NO 5 ALIMENTACION CALDERAS 900PSI	BOMBA
1001018	SISTEMA ENFRIAMIENTO TURBINA BOMBA NO 2	200639	MOTOR ENFRIAMIENTO DE TURBINA BBA NO 2	MOTOR ELECTRICO
1001018	SISTEMA ENFRIAMIENTO TURBINA BOMBA NO 2	101363	ENFRIAMIENTO DE TURBINA BOMBA NO 2	BOMBA HIDRAULICA
1001019	SISTEMA ENFRIAMIENTO TURBINA BOMBA NO 4	200641	MOTOR ENFRIAMIENTO DE TURBINA BBA NO 4	MOTOR ELECTRICO
1001019	SISTEMA ENFRIAMIENTO TURBINA BOMBA NO 4	101364	ENFRIAMIENTO DE TURBINA BOMBA NO 4	BOMBA HIDRAULICA
1001020	SISTEMA BOMBEO NO 2 SATURADOR VAPOR FAB	201386	MOTOR BOMBA NO 2 SATURADOR DE VAPOR	MOTOR ELECTRICO
1001020	SISTEMA BOMBEO NO 2 SATURADOR VAPOR FAB	103569	BOMBA NO 2 SATURADOR DE VAPOR A FABRICA	BOMBA
1001031	SISTEMA ALIMENTADOR NO 1 BAGAZO GV5	101048	MOTOREDUCTOR ALIMENTADOR 1 BAGAZO CALD 5	MOTOREDUCTOR
1001032	SISTEMA ALIMENTADOR NO 2 BAGAZO GV5	101049	MOTOREDUCTOR ALIMENTADOR 2 BAGAZO CALD 5	MOTOREDUCTOR
1001033	SISTEMA ALIMENTADOR NO 3 BAGAZO GV5	101050	MOTOREDUCTOR ALIMENTADOR 3 BAGAZO CALD 5	MOTOREDUCTOR
1001034	SISTEMA ALIMENTADOR NO 4 BAGAZO GV5	101051	MOTOREDUCTOR ALIMENTADOR 4 BAGAZO CALD 5	MOTOREDUCTOR
1001035	SISTEMA ALIMENTADOR NO 5 BAGAZO GV5	101052	MOTOREDUCTOR ALIMENTADOR 5 BAGAZO CALD 5	MOTOREDUCTOR
1001036	SISTEMA ALIMENTADOR NO 6 BAGAZO GV5	101053	MOTOREDUCTOR ALIMENTADOR 6 BAGAZO CALD 5	MOTOREDUCTOR

Código de Sistema	Nombre de Sistema	Código de Equipo	Nombre de Equipo	Tipo de equipo
1001037	SISTEMA VENTILADORES DE TURBULENCIA GV5	200643	MOTOR AIRE ESPARCIDORES BAGAZO CALD 5	MOTOR ELECTRICO
1001038	SISTEMA VENTILADOR SOBRE FUEGO GV5	200644	MOTOR CALENTADOR DE AIRE CALD 5	MOTOR ELECTRICO
1001039	SISTEMA TIRO FORZADO GV5	200645	MOTOR AIRE PARA ECONOMIZADOR CALDERA 5	MOTOR ELECTRICO
1001040	SISTEMA TIRO INDUCIDO NO 1 GV5	200646	MOTOR TIRO INDUCIDO 1 DE CALDERA 5	MOTOR ELECTRICO
1001041	SISTEMA TIRO INDUCIDO NO 2 GV5	200647	MOTOR TIRO INDUCIDO 2 DE CALDERA 5	MOTOR ELECTRICO
1001048	SISTEMA ALIMENTADOR NO 1 BAGAZO GV6	101056	MOTOREDUCTOR ALIMENTADOR 1 BAGAZO CALD 6	MOTOREDUCTOR
1001049	SISTEMA ALIMENTADOR NO 2 BAGAZO GV6	101057	MOTOREDUCTOR ALIMENTADOR 2 BAGAZO CALD 6	MOTOREDUCTOR
1001050	SISTEMA ALIMENTADOR NO 3 BAGAZO GV6	101058	MOTOREDUCTOR ALIMENTADOR 3 BAGAZO CALD 6	MOTOREDUCTOR
1001051	SISTEMA ALIMENTADOR NO 4 BAGAZO GV6	101059	MOTOREDUCTOR ALIMENTADOR 4 BAGAZO CALD 6	MOTOREDUCTOR
1001052	SISTEMA ALIMENTADOR NO 5 BAGAZO GV6	101060	MOTOREDUCTOR ALIMENTADOR 5 BAGAZO CALD 6	MOTOREDUCTOR
1001053	SISTEMA ALIMENTADOR NO 6 BAGAZO GV6	101061	MOTOREDUCTOR ALIMENTADOR 6 BAGAZO CALD 6	MOTOREDUCTOR
1001054	SISTEMA VENTILADORES DE TURBULENCIA GV6	200648	MOTOR AIRE ESPARCIDOR DE BAGAZO CALD 6	MOTOR ELECTRICO
1001055	SISTEMA VENTILADOR SOBRE FUEGO GV6	200649	MOTOR AIRE CALENTADOR AIRE CALDERA 6	MOTOR ELECTRICO
1001056	SISTEMA TIRO FORZADO GV6	200650	MOTOR AIRE PARA ECONOMIZADOR CALDERA 6	MOTOR ELECTRICO
1001057	SISTEMA TIRO INDUCIDO NO 1 GV6	200651	MOTOR TIRO INDUCIDO 1 DE CALDERA 6	MOTOR ELECTRICO
1001058	SISTEMA TIRO INDUCIDO NO 2 GV6	200652	MOTOR TIRO INDUCIDO 2 DE CALDERA 6	MOTOR ELECTRICO

Código de Sistema	Nombre de Sistema	Código de Equipo	Nombre de Equipo	Tipo de equipo
1001067	SISTEMA BOMBEO DOSIFICACION SODA	201804	MOTOR BBA DOSIFICADORA SODA A CALDERA 6	MOTOR ELECTRICO
1001067	SISTEMA BOMBEO DOSIFICACION SODA	201804	MOTOR BBA DOSIFICADORA SODA A CALDERA 5	MOTOR ELECTRICO
1001067	SISTEMA BOMBEO DOSIFICACION SODA	103538	BOMBA DOSIFICADORA SODA A CALDERA 6	BOMBA DOSIFICADORA
1001067	SISTEMA BOMBEO DOSIFICACION SODA	103538	BOMBA DOSIFICADORA SODA A CALDERA 5	BOMBA DOSIFICADORA
1001068	SISTEMA BOMBEO DOSIFICACION POLIMERO	201806	MOTOR BBA DOSIFICAD POLIMERO A CALDERA 5	MOTOR ELECTRICO
1001068	SISTEMA BOMBEO DOSIFICACION POLIMERO	201806	MOTOR BBA DOSIFICAD POLIMERO A CALDERA 6	MOTOR ELECTRICO
1001068	SISTEMA BOMBEO DOSIFICACION POLIMERO	103540	BOMBA DOSIFICADORA POLIMERO A CALDERA 5	BOMBA DOSIFICADORA
1001068	SISTEMA BOMBEO DOSIFICACION POLIMERO	103540	BOMBA DOSIFICADORA POLIMERO A CALDERA 6	BOMBA DOSIFICADORA
1001069	SISTEMA BOMBEO DOSIFICACION AMINA	201808	MOTOR BBA DOSIFICADORA AMINA A CALDERA 5	MOTOR ELECTRICO
1001069	SISTEMA BOMBEO DOSIFICACION AMINA	201808	MOTOR BBA DOSIFICADORA AMINA A CALDERA 6	MOTOR ELECTRICO
1001069	SISTEMA BOMBEO DOSIFICACION AMINA	103542	BOMBA DOSIFICADORA AMINA A CALDERA 5	BOMBA DOSIFICADORA
1001069	SISTEMA BOMBEO DOSIFICACION AMINA	103542	BOMBA DOSIFICADORA AMINA A CALDERA 6	BOMBA DOSIFICADORA
1001070	SISTEMA BOMBEO SECUESTRANTE OXIGENO	201810	MOTOR BBA DOSIFICAD SECUESTRANTE OXIGENO	MOTOR ELECTRICO
1001070	SISTEMA BOMBEO SECUESTRANTE OXIGENO	103544	BOMBA DOSIFICADORA SECUESTRANTE OXIGENO	BOMBA DOSIFICADORA
1001072	SISTEMA TRANSPORTADOR NO 5 BAGAZO	200628	MOTOR TRANSPORTADOR DE BAGAZO 5	MOTOR ELECTRICO
1001072	SISTEMA TRANSPORTADOR NO 5 BAGAZO	100421	RESPALDO DE MOTOR DE TRANSPORTADOR 5	MOTOREDUCTOR

Código de Sistema	Nombre de Sistema	Código de Equipo	Nombre de Equipo	Tipo de equipo
1001072	SISTEMA TRANSPORTADOR NO 5 BAGAZO	100934	REDUCTOR TRANSPORTADOR 5 PARA BAGAZO	REDUCTOR
1001073	SISTEMA MESA BAGACERA	200630	MOTOR MECANIS HIDRA MESA BAGACERA	MOTOR ELECTRICO
1001073	SISTEMA MESA BAGACERA	101126	MOTOR HIDRAULICO MHI_0010	MOTOR HIDRAULICO
1001073	SISTEMA MESA BAGACERA	100936	REDUCTOR MESA BAGACERA	REDUCTOR
1001073	SISTEMA MESA BAGACERA	101179	BOMBA HIDRAULICA BHI_0046	BOMBA HIDRAULICA
1001076	SISTEMA BOMBEO LAVADO CAÑA	201448	MOTOR ELECTRICO BOMBA LAVADO DE CAÑA	MOTOR ELECTRICO
1001076	SISTEMA BOMBEO LAVADO CAÑA	106559	BOMBA ACHICADORA DE FOSA NO 2 (CERO RIO)	BOMBA
1001078	SISTEMA TRANSPORTADOR NO 1 BAGAZO	202656	MOTOR BANDA 1 TRANSPORTADORA DE BAGAZO	MOTOR ELECTRICO
1001078	SISTEMA TRANSPORTADOR NO 1 BAGAZO	100931	REDUCTOR BANDA 1 TRANSPORTADORA DE BAGAZ	REDUCTOR
1001079	SISTEMA TRANSPORTADOR NO 4 BAGAZO	200627	RESPALDO MOTOR TRANSPORTADOR DE BAGAZO 4	MOTOR ELECTRICO
1001079	SISTEMA TRANSPORTADOR NO 4 BAGAZO	200627	MOTOR TRANSPORTADOR DE BAGAZO 4	MOTOR ELECTRICO
1001079	SISTEMA TRANSPORTADOR NO 4 BAGAZO	100933	RESPALDO REDUCTOR TRANSP 4 PARA BAGAZO	REDUCTOR
1001079	SISTEMA TRANSPORTADOR NO 4 BAGAZO	100933	REDUCTOR TRANSPORTADOR 4 PARA BAGAZO	REDUCTOR
1001080	SISTEMA TRANSPORTADOR RETORNO BAGAZO	202659	MOTOR RESPALDO BANDA DE BAGAZO #2	MOTOR ELECTRICO
1001080	SISTEMA TRANSPORTADOR RETORNO BAGAZO	100935	REDUCTOR BANDA DE RETORNO DE BAGAZO	REDUCTOR
1001083	SISTEMA TRANSPORTADOR NO 2 BAGAZO	200625	MOTOR TRANSPORTADOR DE BAGAZO 2	MOTOR ELECTRICO

Código de Sistema	Nombre de Sistema	Código de Equipo	Nombre de Equipo	Tipo de equipo
1001083	SISTEMA TRANSPORTADOR NO 2 BAGAZO	100932	REDUCTOR TRANSPORTADOR 2 PARA BAGAZO	REDUCTOR
1001084	SISTEMA TRANSPORTADOR NO 2 (RETORNO)	201630	MOTOR TRANSPORTADOR DE BAGAZO 2 RETORNO	MOTOR ELECTRICO
1001084	SISTEMA TRANSPORTADOR NO 2 (RETORNO)	104045	REDUCTOR TRANSPORTADOR 2 BAGAZO RETORNO	REDUCTOR
1001086	SISTEMA ALIMENTADOR NO 7 BAGAZO	101062	MOTOREDUCTOR ALIMENTADOR 7 BAGAZO CALD 6	MOTOREDUCTOR
1001040	SISTEMA TIRO INDUCIDO NO 1 GV5	800001	CHUMACERAS TIRO INDUCIDO 1 DE CALDERA 5	CHUMACERA
1001041	SISTEMA TIRO INDUCIDO NO 2 GV5	800002	CHUMACERAS TIRO INDUCIDO 2 DE CALDERA 5	CHUMACERA
1001057	SISTEMA TIRO INDUCIDO NO 1 GV6	900001	CHUMACERAS TIRO INDUCIDO 1 DE CALDERA 6	CHUMACERA
1001058	SISTEMA TIRO INDUCIDO NO 2 GV6	900002	CHUMACERAS TIRO INDUCIDO 2 DE CALDERA 6	CHUMACERA
1001042	SISTEMA CALDERA NO 5 DE VAPOR	800003	TUBERIADE ZONA HOGAR	TUBERIA
1001042	SISTEMA CALDERA NO 5 DE VAPOR	800004	TUBERIADE SOBRE CALENTADOR DE VAPOR	TUBERIA
1001042	SISTEMA CALDERA NO 5 DE VAPOR	800005	TUBERIADE SOBRE CALENTADOR DE VAPOR	TUBERIA
1001042	SISTEMA CALDERA NO 5 DE VAPOR	800006	TUBERIADE ZONA CONVECTIVA	TUBERIA
1001042	SISTEMA CALDERA NO 5 DE VAPOR	800007	TUBERIADE ZONA CONVECTIVA	TUBERIA
1001042	SISTEMA CALDERA NO 5 DE VAPOR	800008	TUBERIADE ZONA CONVECTIVA	TUBERIA
1001042	SISTEMA CALDERA NO 5 DE VAPOR	800009	LAMINARESDE PRECALENTADOR DE AIRE	LAMINARES
1001039	SISTEMA TIRO FORZADO GV5	800010	LAMINARESDE TIRO FORZADO (LAMINARES)	LAMINARES

Código de Sistema	Nombre de Sistema	Código de Equipo	Nombre de Equipo	Tipo de equipo
1001044	SISTEMA ECONOMIZADOR CALDERA NO 5	800011	TUBERIADE ECONOMIZADOR	TUBERIA
1001042	SISTEMA CALDERA NO 5 DE VAPOR	800012	LAMINARESDE LAVADOR DE GASES	LAMINARES
1001042	SISTEMA CALDERA NO 5 DE VAPOR	800013	TUBERIADE SISTEMA CALDERA NO 5 DE VAPOR	TUBERIA
1001046	SISTEMA CHIMENEA DE CALDERA NO 5	800014	LAMINARESDE SISTEMA CHIMENEA DE CALDERA NO 5	LAMINARES
1001059	SISTEMA CALDERA NO 6 DE VAPOR	900003	TUBERIADE ZONA HOGAR	TUBERIA
1001059	SISTEMA CALDERA NO 6 DE VAPOR	900004	TUBERIADE SOBRE CALENTADOR DE VAPOR	TUBERIA
1001059	SISTEMA CALDERA NO 6 DE VAPOR	900005	TUBERIADE ZONA CONVECTIVA	TUBERIA
1001059	SISTEMA CALDERA NO 6 DE VAPOR	900006	LAMINARESDE PRECALENTADOR DE AIRE	LAMINARES
1001056	SISTEMA TIRO FORZADO GV6	900007	LAMINARESDE TIRO FORZADO (LAMINARES)	LAMINARES
1001061	SISTEMA ECONOMIZADOR CALDERA NO 6	900008	TUBERIADE ECONOMIZADOR	TUBERIA
1001059	SISTEMA CALDERA NO 6 DE VAPOR	900009	LAMINARESDE LAVADOR DE GASES	LAMINARES
1001059	SISTEMA CALDERA NO 6 DE VAPOR	900010	TUBERIADE LAVADOR DE GASES	TUBERIA
1001057	SISTEMA TIRO INDUCIDO NO 1 GV6	900011	TUBERIADE TIROS INDUCIDOS (LAMINARES)	TUBERIA
1001058	SISTEMA TIRO INDUCIDO NO 2 GV6	900012	TUBERIADE TIROS INDUCIDOS (LAMINARES)	TUBERIA
1001063	SISTEMA CHIMENEA DE CALDERA NO 6	900013	LAMINARESDE CHIMENEA	LAMINARES
1001031	SISTEMA ALIMENTADOR NO 1 BAGAZO GV5	800015	LAMINARES DE SISTEMA ALIMENTADOR NO 1 BAGAZO GV5	LAMINARES

Código de Sistema	Nombre de Sistema	Código de Equipo	Nombre de Equipo	Tipo de equipo
1001032	SISTEMA ALIMENTADOR NO 2 BAGAZO GV5	800016	LAMINARES DE SISTEMA ALIMENTADOR NO 2 BAGAZO GV5	LAMINARES
1001033	SISTEMA ALIMENTADOR NO 3 BAGAZO GV5	800017	LAMINARES DE SISTEMA ALIMENTADOR NO 3 BAGAZO GV5	LAMINARES
1001034	SISTEMA ALIMENTADOR NO 4 BAGAZO GV5	800018	LAMINARES DE SISTEMA ALIMENTADOR NO 4 BAGAZO GV5	LAMINARES
1001035	SISTEMA ALIMENTADOR NO 5 BAGAZO GV5	800019	LAMINARES DE SISTEMA ALIMENTADOR NO 5 BAGAZO GV5	LAMINARES
1001036	SISTEMA ALIMENTADOR NO 6 BAGAZO GV5	800020	LAMINARES DE SISTEMA ALIMENTADOR NO 6 BAGAZO GV5	LAMINARES
1001048	SISTEMA ALIMENTADOR NO 1 BAGAZO GV6	900014	LAMINARES DE SISTEMA ALIMENTADOR NO 1 BAGAZO GV6	LAMINARES
1001049	SISTEMA ALIMENTADOR NO 2 BAGAZO GV6	900015	LAMINARES DE SISTEMA ALIMENTADOR NO 2 BAGAZO GV6	LAMINARES
1001050	SISTEMA ALIMENTADOR NO 3 BAGAZO GV6	900016	LAMINARES DE SISTEMA ALIMENTADOR NO 3 BAGAZO GV6	LAMINARES
1001051	SISTEMA ALIMENTADOR NO 4 BAGAZO GV6	900017	LAMINARES DE SISTEMA ALIMENTADOR NO 4 BAGAZO GV6	LAMINARES
1001052	SISTEMA ALIMENTADOR NO 5 BAGAZO GV6	900018	LAMINARES DE SISTEMA ALIMENTADOR NO 5 BAGAZO GV6	LAMINARES
1001053	SISTEMA ALIMENTADOR NO 6 BAGAZO GV6	900019	LAMINARES DE SISTEMA ALIMENTADOR NO 6 BAGAZO GV6	LAMINARES

Código de Sistema	Nombre de Sistema	Código de Equipo	Nombre de Equipo	Tipo de equipo
1001041	SISTEMA TIRO INDUCIDO NO 2 GV5	800021	LAMINARESDE SISTEMA TIRO INDUCIDO NO 2 GV5	LAMINARES
1001041	SISTEMA TIRO INDUCIDO NO 2 GV5	800022	LAMINARESDE SISTEMA TIRO INDUCIDO NO 2 GV5	LAMINARES
1001041	SISTEMA TIRO INDUCIDO NO 2 GV5	800023	LAMINARESDE TIROS INDUCIDOS (LAMINARES)	LAMINARES

Tabla 18: Listado de equipo del área de generación de vapor y energía eléctrica.

Se ha definido a los componentes estáticos (tuberías y zona laminares) como equipos para facilitar el análisis en la sección de análisis de costo.

8.1.4. Desarrollo de Costos de mantenimiento basado en Condición.

La siguiente tabla muestra la cantidad de equipos por tipo.

Cantidad de Equipos por Tipo										
Tipos de Equipos	MOTOR ELECTRICO	MOTOR HIDRAULICO	MOTOREDUCTOR	REDUCTOR	BOMBA	BOMBA HIDRAULICA	BOMBA DOSIFICADORA	CHUMACERA	LAMINARES	TUBERIA
Cantidad de Equipos	46	1	16	10	13	10	7	4	23	15

Tabla 19: Cantidad de equipos por tipo.

Inversión de equipos, herramientas y capacitaciones de monitoreo de condición.

Análisis de amortización por tecnología predictiva (\$)			
Equipamiento	Costo de Equipo	Amortización Anual	Tiempo de Amortización años
Colector de Vibraciones	\$60,000.00	\$12,000.00	5
Cámara Termográfica	\$15,000.00	\$3,000.00	5
Termómetro Infrarojo	\$600.00	\$120.00	5
Eq. Analisis de Aceite	\$30,000.00	\$6,000.00	5
Lámpara estroboscópica	\$2,500.00	\$500.00	5
Eq. Ultrasonido Pulso-Eco	\$50,000.00	\$10,000.00	5
Alineador laser	\$3,000.00	\$600.00	5
Eq. Análisis estático de motores eléctrico	\$60,000.00	\$12,000.00	5
Eq. Tensión de Correa	\$3,000.00	\$600.00	5
Eq. Medición de parámetros eléctricos	\$2,000.00	\$400.00	5
Cámara Boroscopia	\$10,000.00	\$2,000.00	5
Eq. Ultrasonido Acustico	\$10,000.00	\$2,000.00	5
Líquidos penetrantes	\$2,000.00	\$400.00	5
Partículas Magnéticas	\$2,000.00	\$400.00	5
Medidor de espesores	\$4,000.00	\$800.00	5
Total	\$254,100.00	\$50,820.00	

Tabla 20: Inversión y amortización anual de equipos para método de monitoreo de condición.

En esta sección se ha considerado un equipo colector de vibraciones como herramienta básica para montar la estrategia básica de mantenimiento basado en condición, debido a que tradicionalmente se implementa mantenimiento basado en condición con la implementación de rutas de mantenimiento. En la sección de aplicación de mantenimiento 4.0 se considerará otras aplicaciones.

Costo de Capacitación			
Tecnología predictiva	Nivel Personal	Costo de Capacitación	Pro_rateo Anual (considera 5 años)
<i>Análisis de vibraciones</i>	<i>Nivel 3</i>	\$ 8,000.00	\$ 1,600.00
<i>Termografía</i>	<i>Nivel 3</i>	\$ 6,000.00	\$ 1,200.00
<i>Temperatura infrarroja</i>	<i>Nivel 1</i>	\$ 500.00	\$ 100.00
<i>Análisis de aceite</i>	<i>Nivel 3</i>	\$ 4,000.00	\$ 800.00
<i>Lámpara estroboscópica</i>	<i>Nivel 1</i>	\$ 500.00	\$ 100.00
<i>Ultrasonido Pulso Eco</i>	<i>Nivel 3</i>	\$ 6,000.00	\$ 1,200.00
<i>Alineado laser de ejes</i>	<i>Nivel 2</i>	\$ 1,000.00	\$ 200.00
<i>Análisis estático de motores eléctricos</i>	<i>Nivel 3</i>	\$ 4,000.00	\$ 800.00
<i>Tensión de Correa</i>	<i>Nivel 2</i>	\$ 500.00	\$ 100.00
<i>Medición de parametros eléctricos</i>	<i>Nivel 2</i>	\$ 1,000.00	\$ 200.00
<i>Boroscopia</i>	<i>Nivel 3</i>	\$ 8,000.00	\$ 1,600.00
<i>Ultrasonido Acustico</i>	<i>Nivel 3</i>	\$ 6,000.00	\$ 1,200.00
<i>Líquidos penetrantes</i>	<i>Nivel 2</i>	\$ 1,000.00	\$ 200.00
<i>Partículas Magnéticas</i>	<i>Nivel 2</i>	\$ 1,000.00	\$ 200.00
<i>Medición de espesores</i>	<i>Nivel 1</i>	\$ 500.00	\$ 100.00
Total		\$48,000.00	\$9,600.00

Tabla 21: Costo de capacitación para equipos de monitoreo de condición.

Para esta sección y subsiguientes secciones de análisis de costos, se considera solo las capacitaciones de la estrategia análisis de vibraciones.

Para la sección de entrenamiento se ha considerado capacitar al analista principal un nivel 3 (tres capacitaciones con certificación), al supervisor de área y recolector de datos se decide nivel 1 (dos capacitaciones con certificación).

Se muestran los costos de mano de obra de cada técnica de monitoreo de condición.

Costo unitario de H. Hombre por técnica(\$)		
Tecnología predictiva	Nivel Personal	costo
<i>Análisis de vibraciones</i>	<i>Nivel 3</i>	\$ 3.00
<i>Termografía</i>	<i>Nivel 3</i>	\$ 3.00
<i>Temperatura infrarroja</i>	<i>Nivel 1</i>	\$ 1.00
<i>Análisis de aceite</i>	<i>Nivel 3</i>	\$ 3.00
<i>Lámpara estroboscópica</i>	<i>Nivel 1</i>	\$ 1.00
<i>Ultrasonido Pulso Eco</i>	<i>Nivel 3</i>	\$ 3.00
<i>Alineado laser de ejes</i>	<i>Nivel 2</i>	\$ 2.00
<i>Análisis estático de motores eléctricos</i>	<i>Nivel 3</i>	\$ 3.00
<i>Tensión de Correa</i>	<i>Nivel 2</i>	\$ 2.00
<i>Medición de parametros eléctricos</i>	<i>Nivel 2</i>	\$ 2.00
<i>Boroscopia</i>	<i>Nivel 3</i>	\$ 3.00
<i>Ultrasonido Acustico</i>	<i>Nivel 3</i>	\$ 3.00
<i>Líquidos penetrantes</i>	<i>Nivel 2</i>	\$ 2.00
<i>Partículas Magnéticas</i>	<i>Nivel 2</i>	\$ 2.00
<i>Medición de espesores</i>	<i>Nivel 1</i>	\$ 1.00
<i>Supervisión</i>	<i>Superior</i>	\$ 3.50

Tabla 22: Costo unitario de horas hombre por técnica.

Los costos unitarios se pueden identificar como un costo de recursos humanos (costo de planilla). En este trabajo se considera que los costos pertenecen al presupuesto de la sección de mantenimiento basado en condición para poder realizar el análisis de retorno de la inversión.

Horas hombre empleadas en la recolección de datos y análisis de condición por técnica.

Horas Hombre de Recolección de Información por equipo (En horas)										
Tecnología predictiva	MOTOR ELECTRICO	MOTOR HIDRAULICO	MOTOREDUCTOR	REDUCTOR	BOMBA	BOMBA HIDRAULICA	BOMBA DOSIFICADOR A	CHUMACERA	LAMINARES	TUBERIA
<i>Análisis de vibraciones</i>	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0	0.25	0.15	0	0
<i>Termografía</i>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0.1	0	0
<i>Temperatura infrarroja</i>	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0	0
<i>Análisis de aceite</i>	0	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0	0	0	0
<i>Lámpara estroboscópica</i>	0.1	0	0	0	0.1	0	0	0.1	0	0
<i>Ultrasonido pulso eco</i>	0	0	0	0.5	0.5	0	0	0	0	0
<i>Alineado laser de poleas</i>	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0
<i>Análisis estático de motores eléctricos</i>	2.5	0	2.5	0	0	0	0	0	0	0
<i>Tensión de Correa</i>	0.25	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0
<i>Medición de parametros eléctricos</i>	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Boroscopia</i>	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
<i>Ultrasonido Acustico</i>	0.25	0.25	0.5	0.5	0.25	0	0	0.25	0	0
<i>Líquidos penetrantes</i>	0	0	0	4	4	0	0	0	0	9
<i>Partículas Magnéticas</i>	0	0	0	4	4	0	0	4	0	0
<i>Medición de espesores</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	9	9

Tabla 23: Horas hombre de recolección de información por equipo

Horas Hombre de Análisis por equipo (en horas)										
Tecnología predictiva	MOTOR ELECTRICO	MOTOR HIDRAULICO	MOTOREDUCTOR	REDUCTOR	BOMBA	BOMBA HIDRAULICA	BOMBA DOSIFICADORA	CHUMACERA	LAMINARES	TUBERIA
Análisis de vibraciones	0.5	0.5	1	1	0.5	0	0.5	0.5	0	0
Termografía	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0
Temperatura infrarroja	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0
Análisis de aceite	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0
Lámpara estroboscópica	0.1	0	0	0	0.1	0	0	0.1	0	0
Ultrasonido pulso eco	0	0	0	0.25	0.25	0	0	0	0	0
Alineado laser de ejes	0.1	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0	0
Análisis estático de motores eléctricos	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Tensión de Correa	0.1	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0
Medición de parámetros eléctricos	0.25	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0
Boroscopia	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Ultrasonido Acustico	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0.5	0	0
Líquidos penetrantes	0	0	0	2	2	0	0	0	0	4
Partículas Magnéticas	0	0	0	2	2	0	0	2	0	0
Medición de espesores	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5

Tabla 24: Horas hombre de análisis por equipo.

Para definir la frecuencia de monitoreo se utilizó el histograma de clasificación del tiempo medio entre falla de los equipos.

El histograma se observa que el intervalo de días que tiene mayor concentración de falla son los intervalos de 6 a 9 y 9 a 12. Por lo tanto, se considera rutas de monitoreo con frecuencia de 7 días. Para ello se consideró los modos de falla en los cuales mantenimiento basado en condición podría detectar las fallas potenciales (desalineamiento, desbalance, falla en rodamiento y eje).

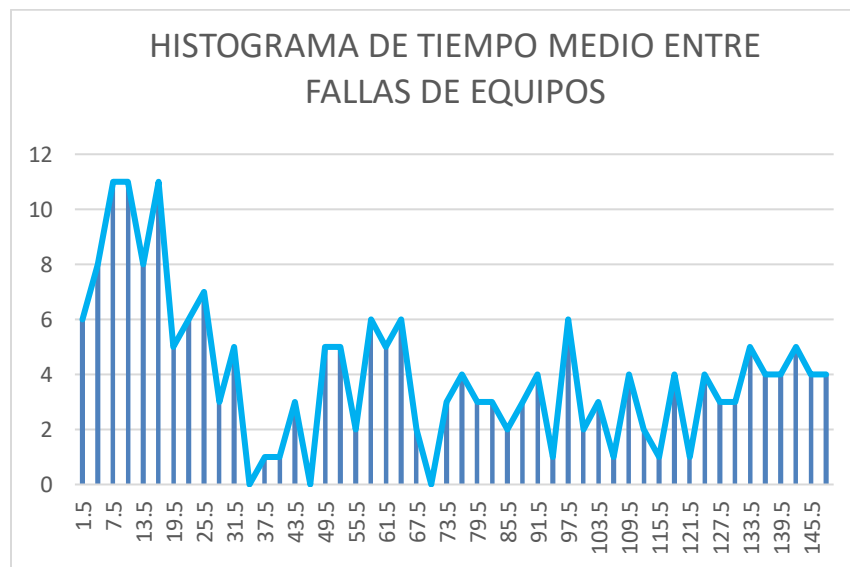


Ilustración 38: Histograma de clasificación de tiempo medio entre fallas de equipo.

Frecuencia de monitoreo por técnica y cantidad de intervenciones anualizadas. Para los cálculos siguientes se asume una etapa productiva (Zafra) de 150 días.

Frecuencia de monitoreo	
Tecnología predictiva	Cantidad de días
Análisis de vibraciones	7
Termografía	30
Temperatura infrarroja	2
Análisis de aceite	75
Lámpara estroboscópica	30
Ultrasonido pulso eco	30
Alineado laser de ejes	75
Análisis estático de motores eléctricos	150
Tensión de Correa	75
Medición de parámetros eléctricos	30
Boroscopia	150
Ultrasonido Acustico	7
Líquidos penetrantes	150
Partículas Magnéticas	150
Medición de espesores	150

Tabla 25: Frecuencia de monitoreo al año.

Tecnología predictiva	Cantidad de intervenciones por año									
	MOTOR ELECTRICO	MOTOR HIDRAULICO	MOTOREDUCTOR	REDUCTOR	BOMBA	BOMBA HIDRAULICA	BOMBA DOSIFICADORA	CHUMACERA	LAMINARES	TUBERIA
Análisis de vibraciones	21	21	21	21	21	0	21	21	0	0
Termografía	5	5	5	5	5	5	0	5	0	0
Temperatura infrarroja	75	75	75	75	75	75	75	75	0	0
Análisis de aceite	0	2	2	2	2	2	0	0	0	0
Lámpara estroboscópica	5	0	0	0	5	0	0	5	0	0
Ultrasonido pulso eco	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0
Alineado laser de ejes	2	0	0	2	2	0	0	0	0	0
Análisis estático de motores eléctricos	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Tensión de Correa	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0
Medición de parámetros eléctricos	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0
Boroscopia	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Ultrasonido Acustico	21	21	21	21	21	0	0	21	0	0
Líquidos penetrantes	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1
Partículas Magnéticas	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0
Medición de espesores	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

Tabla 26: Cantidad de intervención por año.

Costo total de horas hombre de la aplicación de las técnicas analizadas.

La cantidad de intervenciones (cantidad de veces que se mide la condición del equipo) depende de la frecuencia de monitoreo que se ha establecido.

Costo Total de H. Hombre por técnica(\$)			
Tecnología predictiva	Unitario	Cantidad de HH Anual	Costo Total
Análisis de vibraciones	\$ 3.00	1792.35	\$ 5,377.05
Termografía	\$ 3.00	300	\$ 900.00
Temperatura infrarroja	\$ 1.00	1203.75	\$ 1,203.75
Análisis de aceite	\$ 3.00	75	\$ 225.00
Lámpara estroboscópica	\$ 1.00	63	\$ 63.00
Ultrasonido Pulso Eco	\$ 3.00	86.25	\$ 258.75
Alineado laser de ejes	\$ 2.00	151.8	\$ 303.60
Análisis estático de motores eléctricos	\$ 3.00	217	\$ 651.00
Tensión de Correa	\$ 2.00	41.3	\$ 82.60
Medición de parámetros eléctricos	\$ 2.00	387.5	\$ 775.00
Boroscopia	\$ 3.00	40	\$ 120.00
Ultrasonido Acustico	\$ 3.00	1554	\$ 4,662.00
Líquidos penetrantes	\$ 2.00	333	\$ 666.00
Partículas Magnéticas	\$ 2.00	162	\$ 324.00
Medición de espesores	\$ 1.00	532	\$ 532.00
		6338.95	\$ 16,143.75

Tabla 27: Costo total de horas hombre en el año.

En el **Anexo 1: Estructura de costos aplicando mantenimiento basado en condición**, donde se ha considerado:

- Para este caso de estudio se asumirá el costo histórico promedio de mantenimiento de la planta de generación de vapor y energía eléctrica. Siendo este \$200,000. El porcentaje de ahorro esperado por la implementación de la estrategia de mantenimiento basado en condición es de 5%. Obteniendo el valor del ahorro \$10,000.
- Una producción a la venta de 27 MWh a un precio de \$75/MWh. Haciendo un ingreso de \$7'290,000.00. Este cálculo se realizó considerando la venta de energía a sobrantes después de satisfacer el consumo interno. También se ha considerado un incremento de eficiencia del 1%, obteniéndose un valor de 72,9000.

Item	Cantidad	Unidades
Capacidad instalada	45	MWh
Consumo interno	18	MWh
Disponible de energía para vender	27	MWh
Costo unitario	\$ 75.00	\$/MWh
Horas Producidas por día	24	horas
Días de Producción	150	días
Ingreso esperado	\$ 7,290,000.00	

Tabla 28: Disponibilidad de energía para vender.

- Ahorro del 1% de energía por aplicación de alineamiento laser de los equipos (el consumo de energía de los equipos es de 18MWh).
- La experiencia se ha cuantificado en \$30,000 estimando los años laborados del personal (\$1000 por año de experiencia).

Se muestra en el **Anexo 2: Cuenta de resultado aplicando mantenimiento basado en condición**; representa el balance de los ingresos versus los egresos en el periodo de un año. Se presenta la siguiente tabla con una descripción de los componentes de la cuenta de resultado, haciendo uso de esas ecuaciones se han calculado los siguientes valores.

- Total, de ingresos anuales \$196,300.
- Total, de costos directos anuales \$70,967.75.
- Total, de costos indirectos anuales \$3,926.60.
- En la última línea de la tabla se observa que en todos los meses hay valores positivos (hay utilidades para todos los meses).
- El resultado anual es un saldo positivo de \$121,405.66.

CUENTA DE RESULTADOS SECCIÓN GENERACIÓN DE VAPOR Y ENERGÍA ELÉCTRICA

	TOTAL	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
INGRESOS	\$196,300.00	\$24,850.00	\$24,850.00	\$26,450.00	\$28,150.00	\$6,266.67	\$6,266.67	\$6,266.67	\$8,066.67	\$7,566.67	\$7,866.67	\$24,850.00	\$24,850.00
COSTES DIRECTOS	\$70,967.75	\$7,005.63	\$7,005.63	\$7,005.63	\$7,005.63	\$4,822.33	\$4,822.33	\$4,822.33	\$4,822.33	\$4,822.33	\$4,822.33	\$7,005.63	\$7,005.63
COSTES INDIRECTOS	\$3,926.60	\$327.22	\$327.22	\$327.22	\$327.22	\$327.22	\$327.22	\$327.22	\$327.22	\$327.22	\$327.22	\$327.22	\$327.22
RESULTADO	\$121,405.66	\$17,517.16	\$17,517.16	\$19,117.16	\$20,817.16	\$1,117.12	\$1,117.12	\$1,117.12	\$2,917.12	\$2,417.12	\$2,717.12	\$17,517.16	\$17,517.16

Tabla 29: Resumen de cuenta de resultados aplicando mantenimiento basado en condición.

En el **Anexo 3: Análisis ROI aplicando mantenimiento basado en condición**; que se ha construido utilizando la cuenta de resultados y dividiendo el año en trimestres. Se obtiene un ROI acumulado de \$278,652 que es mayor a la inversión de equipos \$254,100. Valor obtenido de sumar la inversión de equipo, Por tanto, la inversión se recupera a los 2.25 años. Esto se comprueba aplicando la fórmula de ROI y los valores acumulados de los resultados trimestrales (referencia de ROI con inversión).

ANÁLISIS DE RETORNO DE INVERSIÓN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN.

TOTAL ANUAL INVERSIÓN	1er AÑO				2º AÑO				3er AÑO			
	1T	2T	3T	4T	1T	2T	3T	4T	1T	2T	3T	4T
RESULTADO ANUAL	-\$79,434.68											
ROI €	30,961	30,961	30,961	30,961	30,961	30,961	30,961	30,961	30,961	30,961	30,961	30,961
ROI ACUMULADO \$	30,961	61,923	92,884	123,845	154,807	185,768	216,729	247,691	278,652	309,613	340,575	371,536
ROI ACUMULADO AÑOS	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00

Referencia de ROI con Inversión	-0.88	-0.76	-0.63	-0.51	-0.39	-0.27	-0.15	-0.03	0.10	0.22	0.34	0.46
---------------------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------

ROI > 0

Tabla 30: Análisis de retorno de la inversión de mantenimiento basado en condición.

8.2. Desarrollo Mantenimiento Basado en Condición con Principios de ISO 17359:2018.

Para mejor comprensión se ha optado por hacer el análisis de costo beneficio al final del desarrollo de esta etapa.

8.2.1. Auditoria de Equipos.

Se utiliza la muestra de equipos seleccionados en el **Ítem 8.1.3.**

8.2.1.1. Identificación de Equipo.

Se presenta el grafico de identificación de funciones de acuerdo a la taxonomía citada en la metodología anterior.



Ilustración 39: Identificación de funciones de acuerdo a taxonomía según norma ISO 14224.

8.2.1.2. Identificación de Funciones de Equipo.

BOMBA DE ALIMENTACION DE AGUA	
Verbo	Bombear
Objeto	Agua
Estandar de Funcionamiento	600 Gpm, 900 Psi
Función de la Bomba:	"Bombear agua a 670 Gpm por minuto a una presión de 900 Psi"

Tabla 31: Plantilla para identificación de funciones de bomba de alimentación de agua.

TIRO INDUCIDO	
Verbo	Extraer
Objeto	Gases de Combustion
Estandar de Funcionamiento	Vacio de -0.07 INH ₂ O, 890 RPM
Función de la Bomba:	"Extraer gases de combustion a -0.07 INH₂O A 890 RPM"

Tabla 32: Plantilla para identificación de funciones de tiro inducido.

8.2.2. Desarrollo de Matriz de Criticidad de Equipo.

En el **Anexo 4: Matriz de criticidad**; muestra desarrollo que fue la tabla diseñada en **Ítem 7.2.2**. Este desarrollo se ha realizado a nivel sistema operativo, asumiendo que todos los subsistemas, equipos, partes, componentes tendrán el mismo nivel de criticidad del sistema que forman parte.

Resultados de la aplicación:

Los resultados de la aplicación de la matriz de criticidad fueron los siguientes:

En sistemas funcionales se tiene:

CRITICO	MEDIO	NC	TOTAL
30	30	32	92
32.6%	32.6%	34.8%	100%

Tabla 33: Resultados de matriz de criticidad de sistemas.

Se observa que solo el 32.6% los sistemas son críticos y el 34.8% son no críticos. Y de criticidad media el 32.6%.

Nota: Se considera sistemas a un conjunto de equipos. Por ejemplo: Sistema de Bombeo: Está compuesto por la bomba. Reductor y motor.

La distribución de criticidad de los equipos analizados es:

CRITICO	MEDIO	NC	TOTAL
72	55	18	145
50%	38%	12%	

Tabla 34: Resultados de matriz de criticidad de equipos.

Este resultado es esperable pues la generación de vapor y generación eléctrica cuenta equipos que mayoritariamente impactan directamente en algún factor; es por ello que los equipos críticos y medios son el 88%.

8.2.3. Desarrollo de la Selección Apropriada de la Estrategia de Mantenimiento y Métodos de Monitoreo de Condición.

Producto del desarrollo de las técnicas de análisis de modos de falla (AMEF) se obtienen los modos de falla y a partir de ellos se identificarán las estrategias adecuadas de mantenimiento. Si la estrategia elegida es de mantenimiento basado en condición se desarrollarán los aspectos referentes a los métodos de monitoreo de condición. Ver **Anexo 5: Análisis de modos de falla del sistema tiro inducido** y **Anexo 6: Análisis de modos de falla del sistema bomba de alimentación caldera.**

8.2.4. Métodos de Monitoreo de Condición.

Se desarrolló en la tabla de AMEF ver ítem 8.2.3 **Anexo 5: Análisis de modos de falla del sistema tiro inducido** y **Anexo 6: Análisis de modos de falla del sistema bomba de alimentación caldera.**

8.2.5. Desarrollo de Configuración y Gestión de Datos.

Se presenta como ejemplo de la metodología los datos de configuración para la técnica de análisis de vibraciones en los equipos de tiro inducidos y bomba de alimentación calderas.

Sistema: Tiro Inducido: Las chumaceras de los tiros inducidos son iguales. Por tanto, se utiliza la misma línea base.

CONFIGURACIONES NECESARIAS PARA EL MONITOREO DE CONDICION		
Instalación: Energía.		
Planta: Generación de vapor y energía eléctrica.		
Sistema: Tiro inducido.		
Equipo: Chumacera		
Técnica Utilizada: Análisis vibracional		
Parámetro a Medir: Vibraciones		
LÍNEA BASE	NIVEL DE ALERTA	NIVEL DE ALARMA
2.5 ±10% mm/s - Pico	6 mm/s - Pico	10 mm/s - Pico

Tabla 35: Límites operacionales para el monitoreo de condición tiro inducido.

CONFIGURACIONES NECESARIAS PARA EL MONITOREO DE CONDICION	
Instalación:	Energia.
Planta:	Generacion de vapor y energia electrica.
Sistema:	Tiro inducido.
Equipo:	Chumacera
Tecnica Utilizada:	Analisis vibracional

VARIABLES DE LA MAQUINA	DATOS DE TECNICOS Y OPERACIONALES	VALOR
	Velocidad de giro	
Temperatura		60 °C

PARAMETROS DE APOYO AL DIAGNOSTICO SEGUN LA TECNICA	DATOS DE TECNICOS Y OPERACIONALES	VALOR
	Velocidad de giro	
Numero de rodamiento 1		22222 EK/C3
Numero de rodamiento 2		C2222 K

Tabla 36: Variable de apoyo al diagnóstico para el monitoreo de condición tiro inducido.

Sistema: Bomba de Alimentación Caldera: Los motores de las bombas alimentación caldera son iguales. Por tanto, se utilizarán la misma línea base.

CONFIGURACIONES NECESARIAS PARA EL MONITOREO DE CONDICION		
Instalación:	Energia.	
Planta:	Generacion de vapor y energia electrica.	
Sistema:	Bomba de alimentacion caldera.	
Equipo:	Motor	
Tecnica Utilizada:	Analisis vibracional	
Parametro a Medir:	Vibraciones	

LINEA BASE	NIVEL DE ALERTA	NIVEL DE ALARMA
1.5 ±10% mm/s - Pico	5 mm/s - Pico	7 mm/s - Pico

Tabla 37: Límites operacionales para el monitoreo de condición bomba de alimentación caldera.

CONFIGURACIONES NECESARIAS PARA EL MONITOREO DE CONDICION	
Instalación:	Energia.
Planta:	Generacion de vapor y energia electrica.
Sistema:	Bomba de alimentacion caldera.
Equipo:	Motor
Tecnica Utilizada:	Analisis vibracional

VARIABLES DE LA MAQUINA	DATOS DE TECNICOS Y OPERACIONALES	VALOR
	Velocidad de giro	
Temperatura		60 °C
Potencia		800 HP

PARAMETROS DE APOYO AL DIAGNOSTICO SEGUN LA TECNICA	DATOS DE TECNICOS Y OPERACIONALES	VALOR
	Velocidad de giro	
Numero de rodamiento 1		6218 2RS
Numero de rodamiento 2		6218 2RS

Tabla 38: Variable de apoyo al diagnóstico para el monitoreo de condición bomba de alimentación caldera.

8.2.6. Desarrollo de Determinación de las Acciones de Mantenimiento.

Las acciones de mantenimiento que a continuación se mencionan serán decididas de acuerdo a la gravedad y progresión de cada falla.

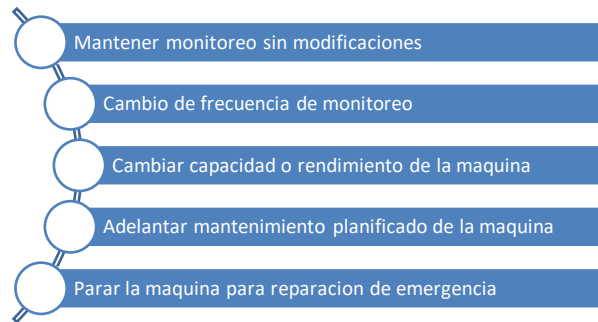


Ilustración 40: Acciones de mantenimiento a tomar de acuerdo a la gravedad y progresión de falla.

8.2.7. Desarrollo de Revisión de Efectividad del Plan de Mantenimiento Basado en Condición.

La revisión de este Ítem se realizará llevando un registro y estadística de los diagnóstico y su nivel de diagnóstico certero según la tabla expuesta en el ítem 7.2.7. A continuación se muestran los ejemplos de la tabla en mención.

DATOS DE LA MAQUINA		DETALLES DE DIAGNOSTICO			ACCION DE MANTENIMIENTO	MEJORA CONTINUA
Unidad	Nombre de la Maquina	Técnica Utilizada	Limite Operacional	Detalle de Diagnostico	Accion de Mantenimiento	¿Diagnóstico fue certero?
Energia	Tiro inducido a caldera 6	medicion de espesor	Alerta	Soldaduras con desgastes y espesores de laminas bajos	*Reforzar con soldadura y lamina parte interna de Voluta(cono)	Diagnostico certero
Energia	Bomba de alimentacion de caldera 1	A. vrbiracional	Alarma	Rodamientos con daños en pista externa	Cambiar de rodamientos	Diagnostico errado

Tabla 39: Ejemplo de uso de control del grado de certeza para tiro inducido y bomba de alimentación caldera.

La fórmula es:

$$\% \text{ Aceierto} = \left(\frac{\text{diagnosticos acertados}}{\text{diagnosticos acertados} + \text{diagnosticos errados}} \right) \times 100\%$$

Ilustración 41: Diagnósticos certeros.

Del ejemplo se tiene que de dos diagnósticos uno es certero y el otro errado, por tanto el nivel de certeza es del 50%.

8.2.8. Desarrollo de Análisis de Costo-Beneficio Aplicando Mantenimiento Basado en Condición con Principios de ISO 17259:2018.

Para el análisis de costo-beneficio los datos siguientes se consideran los mismos que los que presenta el **ítem 8.1.4**:

- La cantidad de equipos por tipo son los mismos que se han considerado para el área de generación de vapor y energía eléctrica.
- Se utilizarán los mismos datos para la inversión de equipo, herramientas y capacitaciones de monitoreo de condición con aplicación de ISO 17359; debido a que habrán máquinas que requieran ser monitoreadas y analizadas con personal calificado.
- Se tomarán los mismos costos unitarios de mano de obra de cada técnica; debido a que el costo de hora-hombre serán los mismos.
- Las horas hombre empleadas en recolección de datos y análisis por técnica (tiempo unitario).

Con el análisis de monitoreo de condición con aplicación de ISO 17359, los siguientes datos cambiarán.

La frecuencia de monitoreo varía de acuerdo al nivel de criticidad de las máquinas. Por tanto, el tiempo total de medición y análisis también variará y por consecuencia el costo total de intervención.

Por ejemplo:

En el caso de equipos críticos la frecuencia de monitoreo de análisis vibraciones es de 7 días. Para los equipos de criticidad media es de 14 días. Y para los equipos de criticidad baja es de 150 días. A continuación, se muestran en los siguientes cuadros. Utilizando el histograma se clasifican los fallos de equipo (ver ilustración

38) se ha decidido de modo conservador mantener la frecuencia de monitoreo de 7 días (Se tiene acumulación de falla de 6 a 7 y de 9 a 12 días)

EQUIPO CRITICOS	
Tecnología predictiva	Frecuencia de Monitoreo (cada "x" días)
Análisis de vibraciones	7
Termografía	30
Temperatura infrarroja	2
Análisis de aceite	75
Lámpara estroboscópica	30
Ultrasonido pulso eco	30
Alineado laser de ejes	75
Análisis estático de motores eléctricos	150
Tensión de Correa	75
Medición de parametros eléctricos	30
Borosocopia	150
Ultrasonido Acustico	7
Líquidos penetrantes	150
Partículas Magnéticas	150
Medición de espesores	150

Tabla 40: Frecuencia de monitoreo por cada tecnología para equipos críticos.

Tecnología predictiva	CANTIDAD DE INTERVENCIÓN POR AÑO EQUIPO CRITICO									
	MOTOR ELÉCTRICO	MOTOR HIDRAULICO	MOTOREDUCTO R	REDUCTOR	BOMBA	BOMBA HIDRAULICA	BOMBA DOSIFICAD ORA	CHUMACERA	LAMINARES	TUBERIA
Análisis de vibraciones	21	21	21	21	21	0	21	21	0	0
Termografía	5	5	5	5	5	5	0	5	0	0
Temperatura infrarroja	75	75	75	75	75	75	75	75	0	0
Análisis de aceite	0	2	2	2	2	2	0	0	0	0
Lámpara estroboscópica	5	0	0	0	5	0	0	5	0	0
Ultrasonido pulso eco	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0
Alineado laser de ejes	2	0	0	2	2	0	0	0	0	0
Análisis estático de motores eléctricos	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Tensión de Correa	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0
Medición de parametros eléctricos	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0
Borosocopia	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Ultrasonido Acustico	21	21	21	21	21	0	0	21	0	0
Líquidos penetrantes	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1
Partículas Magnéticas	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0
Medición de espesores	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

Tabla 41: Cantidad de intervenciones en equipos crítico por año.

En el caso de los equipos de criticidad media, se decide definir una frecuencia de monitoreo de 14 días, debido a que hay una acumulación relativamente alta en los intervalos de 15 y 18 días.

EQUIPO CRITICIDAD MEDIA	
Tecnología predictiva	Frecuencia de Mnitoreo (cada "x" días)
Análisis de vibraciones	14
Termografía	50
Temperatura infrarroja	3
Análisis de aceite	75
Lámpara estroboscópica	50
Ultrasonido pulso eco	50
Alineado laser de ejes	75
Análisis estático de motores eléctricos	150
Tensión de Correa	75
Medición de parametros eléctricos	75
Borosocopia	150
Ultrasonido Acustico	14
Líquidos penetrantes	150
Partículas Magnéticas	150
Medición de espesores	150

Tabla 42: Frecuencia de monitoreo por cada tecnología para equipos de criticidad media.

CANTIDAD DE INTERVENCIÓN POR AÑOS CRITICIDAD MEDIA										
Tecnología predictiva	MOTOR ELECTRICO	MOTOR HIDRAULICO	MOTOREDUCTO R	REDUCTOR	BOMBA	BOMBA HIDRAULICA	BOMBA DOSIFICAD ORA	CHUMACERA	LAMINARES	TUBERIA
Análisis de vibraciones	10	10	10	10	10	0	10	10	0	0
Termografía	3	3	3	3	3	3	0	3	0	0
Temperatura infrarroja	50	50	50	50	50	50	50	50	0	0
Análisis de aceite	0	2	2	2	2	2	0	0	0	0
Lámpara estroboscópica	3	0	0	0	3	0	0	3	0	0
Ultrasonido pulso eco	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0
Alineado laser de ejes	2	0	0	2	2	0	0	0	0	0
Análisis estático de motores eléctricos	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Tensión de Correa	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0
Medición de parametros eléctricos	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0
Boroscopia	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Ultrasonido Acustico	10	10	10	10	10	0	0	10	0	0
Líquidos penetrantes	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1
Partículas Magnéticas	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0
Medición de espesores	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

Tabla 43: Cantidad de intervenciones en equipos de criticidad media por año.

Para los equipos de criticidad baja se decide realizar una sola inspección, con el objetivo de prever el mantenimiento en periodo no productivo.

EQUIPO NO CRITICO	
Tecnología predictiva	Frecuencia de Mnitoreo (cada "x" días)
Análisis de vibraciones	150
Termografía	150
Temperatura infrarroja	30
Análisis de aceite	150
Lámpara estroboscópica	150
Ultrasonido pulso eco	150
Alineado laser de ejes	150
Análisis estático de motores eléctricos	150
Tensión de Correa	150
Medición de parametros eléctricos	150
Boroscopia	150
Ultrasonido Acustico	150
Líquidos penetrantes	150
Partículas Magnéticas	150
Medición de espesores	150

Tabla 44: Frecuencia de monitoreo por cada tecnología para equipos no críticos.

CANTIDAD DE INTERVENCIÓN POR AÑO EQUIPO NO CRITICO										
Tecnología predictiva	MOTOR ELECTRICO	MOTOR HIDRAULICO	MOTOREDUCTO R	REDUCTOR	BOMBA	BOMBA HIDRAULICA	BOMBA DOSIFICAD ORA	CHUMACERA	LAMINARES	TUBERIA
Análisis de vibraciones	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0
Termografía	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0
Temperatura infrarroja	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0
Análisis de aceite	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
Lámpara estroboscópica	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0
Ultrasonido pulso eco	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
Alineado laser de ejes	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0
Análisis estático de motores eléctricos	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Tensión de Correa	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Medición de parametros eléctricos	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Boroscopia	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Ultrasonido Acustico	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0
Líquidos penetrantes	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1
Partículas Magnéticas	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0
Medición de espesores	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

Tabla 45: Cantidad de intervenciones en equipos no críticos por año.

Costo total de horas hombre de la aplicación de las técnicas analizadas.

Costo Total de H. Hombre por técnica(\$)			
Tecnología predictiva	c/unitario	Cantidad de HH Anual	Costo Total
<i>Análisis de vibraciones</i>	\$ 3.00	1166.6	\$ 3,499.80
<i>Termografía</i>	\$ 3.00	226.8	\$ 680.40
<i>Temperatura infrarroja</i>	\$ 1.00	895.5	\$ 895.50
<i>Análisis de aceite</i>	\$ 3.00	72	\$ 216.00
<i>Lámpara estroboscópica</i>	\$ 1.00	47.8	\$ 47.80
<i>Ultrasonido Pulso Eco</i>	\$ 3.00	66.75	\$ 200.25
<i>Alineado laser de ejes</i>	\$ 2.00	141.9	\$ 283.80
<i>Análisis estático de motores eléctricos</i>	\$ 3.00	217	\$ 651.00
<i>Tensión de Correa</i>	\$ 2.00	38.5	\$ 77.00
<i>Medición de parametros eléctricos</i>	\$ 2.00	247.5	\$ 495.00
<i>Boroscopia</i>	\$ 3.00	40	\$ 120.00
<i>Ultrasonido Acustico</i>	\$ 3.00	1052.5	\$ 3,157.50
<i>Líquidos penetrantes</i>	\$ 2.00	333	\$ 666.00
<i>Partículas Magnéticas</i>	\$ 2.00	162	\$ 324.00
<i>Medición de espesores</i>	\$ 1.00	532	\$ 532.00
		5239.85	\$ 11,846.05

Tabla 46: Costo Anual de horas hombre por técnica con aplicación de ISO 17359.

En el **Anexo 7: Estructura de costos aplicando mantenimiento basado en condición con principios de ISO 17359**; donde se ha considerado:

- Costos de mantenimiento de \$200,000 y ahorro de 5% al aplicar mantenimiento basado en condición.
- Una producción a la venta de 27 MWH a un precio de \$75/MWH. Haciendo un ingreso de \$7'290,000.00 y un incremento de eficiencia del 1% por mayor disponibilidad de equipos. Los cálculos utilizados son los mismos de la tabla 28.
- Costo en mano de obra de mantenimiento de \$252,000 (costos directos e indirectos). Y un ahorro del 5% (\$12,600).
- Ahorro del 1% de energía por aplicación de alineamiento laser de los equipos (el consumo de energía de los equipos es de 18MWH). El valor de consumo de energía eléctrica es monitoreado permanentemente.
- La experiencia se ha cuantificado en \$30,000 estimando los años laborados del personal (\$1000 por año de experiencia).

En el **Anexo 8: Cuenta de resultados aplicando mantenimiento basado en condición con principios de ISO 17359**; representa el balance de los ingresos

versus los egresos en el periodo de un año. A continuación, se presentan los datos más relevantes. Los cálculos siguientes han sido realizados según tabla 28

- Total, de ingresos anuales \$196,300.
- Total, de costos directos anuales \$66,670.05
- Total, de costos indirectos anuales \$3,153.01.
- En la última línea de la tabla se observa que en todos los meses hay valores positivos (hay utilidades para todos los meses).
- La utilidad neta anual es de \$126,476.94.

CUENTA DE RESULTADOS SECCIÓN GENERACIÓN DE VAPOR Y ENERGÍA ELÉCTRICA

	TOTAL	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
INGRESOS	\$196,300.00	\$24,850.00	\$24,850.00	\$26,450.00	\$28,150.00	\$6,266.67	\$6,266.67	\$6,266.67	\$8,066.67	\$7,566.67	\$7,866.67	\$24,850.00	\$24,850.00
COSTES DIRECTOS	\$66,670.05	\$6,289.34	\$6,289.34	\$6,289.34	\$6,289.34	\$4,822.33	\$4,822.33	\$4,822.33	\$4,822.33	\$4,822.33	\$4,822.33	\$6,289.34	\$6,289.34
COSTES INDIRECTOS	\$3,153.01	\$262.75	\$262.75	\$262.75	\$262.75	\$262.75	\$262.75	\$262.75	\$262.75	\$262.75	\$262.75	\$262.75	\$262.75
RESULTADO	\$126,476.94	\$18,297.91	\$18,297.91	\$19,897.91	\$21,597.91	\$1,181.58	\$1,181.58	\$1,181.58	\$2,981.58	\$2,481.58	\$2,781.58	\$18,297.91	\$18,297.91

Tabla 47: Resumen de cuenta de resultados aplicando mantenimiento basado en condición con principios de ISO 17359.

En el **Anexo 9: Análisis de ROI aplicando mantenimiento basado en condición con principios de ISO 17359**, muestra el análisis ROI que se ha construido utilizando la cuenta de resultados y dividiendo el año en trimestres. Se obtiene un ROI acumulado de \$256,286 que es mayor a la inversión de equipos \$254,100. Por tanto, la inversión se recupera a los 2.00 años. Esto se comprueba aplicando la fórmula de ROI y los valores acumulados de los resultados trimestrales (referencia de ROI con inversión).

ANÁLISIS DE RETORNO DE INVERSIÓN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN CON ISO 17359

TOTAL ANUAL INVERSIÓN	1er AÑO				2º AÑO				3er AÑO			
	1T	2T	3T	4T	1T	2T	3T	4T	1T	2T	3T	4T
RESULTADO ANUAL	-\$75,136.98											
FRACCIÓN ROI \$	32,036	32,036	32,036	32,036	32,036	32,036	32,036	32,036	32,036	32,036	32,036	32,036
ROI ACUMULADO \$	32,036	64,072	96,107	128,143	160,179	192,215	224,250	256,286	288,322	320,358	352,393	384,429
ROI:ACUMULADO AÑOS	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00
Referencia de ROI con inversión	-0.87	-0.75	-0.62	-0.50	-0.37	-0.24	-0.12	0.01	0.13	0.26	0.39	0.51

Tabla 48: Resumen de análisis ROI aplicando mantenimiento basado en condición con principios de ISO 17359.

8.3. Desarrollo Utilizando Principios de Industria 4.0.

8.3.1. Desarrollo de Elección del Método de Monitoreo.

Se evaluó la matriz de criticidad complementado con el factor de vulnerabilidad Ver **Anexo 10: Matriz de criticidad con factor de vulnerabilidad**; como se detalla en el ítem 7.3.1. El resultado obtenido es el siguiente:

El factor de vulnerabilidad de los sistemas es:

Factor de Vulnerabilidad	Número de Sistemas	Porcentaje
VULNERABILIDAD ALTA	18	20%
VULNERABILIDAD MEDIA	20	22%
VULNERABILIDAD BAJA	54	59%
Total	92	1

Tabla 49: Cantidad de sistemas según factor vulnerabilidad

Y aplicado a los quipos se obtuvieron:

Factor de Vulnerabilidad	Cantidad de Equipos
ALTO	24
MEDIO	32
BAJO	51
NO APLICA	38
Total general	145

Tabla 50: Cantidad de equipos según factor de vulnerabilidad.

Existen tipos de equipos el cual el Factor de Vulnerabilidad no es aplicable, debido a que son equipos estáticos y el factor de vulnerabilidad va relacionado a equipos dinámicos.

Para la elección del método de monitoreo, En los equipos seleccionados de generación de vapor y energía eléctrica se aplicó el algoritmo de decisión para

obtener método de monitoreo más adecuado, ítem 7.3.1 tabla 47: cuadro de decisión para elección de método de monitoreo. Obteniéndose el resultado siguiente:

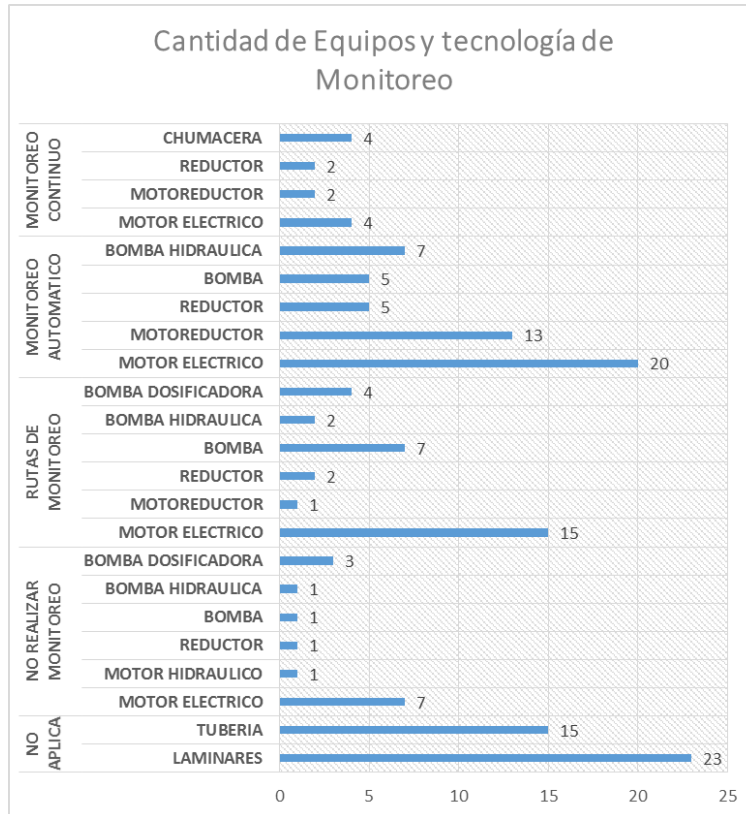


Ilustración 42: Cantidad de equipos y tecnología de monitoreo.

Es importante notar que se aplicara rutas de monitoreo solo a 31 equipos, pues los demás equipos estarán conectados a sistemas de monitoreo de tipo continuo, colectores automáticos y otros no se realizara ningún tipo de monitoreo debido a que son considerados equipos no críticos. Para estos equipos se puede seleccionar una estrategia de Mantenimiento Correctivo o “run to failure”.

8.3.2. Desarrollo Monitoreo Continuo.

El monitoreo continuo se debe aplicar a equipos que requerimos monitorización permanente y en simultaneo por la vulnerabilidad que presentan y por ser consideradas maquinas críticas. Para el monitoreo continuo se utilizan sensores fijos o permanentes.

El equipo escogido a modo ejemplo son los tiros inducidos de las calderas.

Cada tiro inducido está compuesto por un arreglo de 1 motor eléctrico, 2 chumaceras y 1 ventiladores. El conjunto tiene 4 puntos de medición. Por tanto, la caldera al tener 2 tiros inducidos tendrá 8 puntos de medición.

El esquema de los puntos de medición es el siguiente:

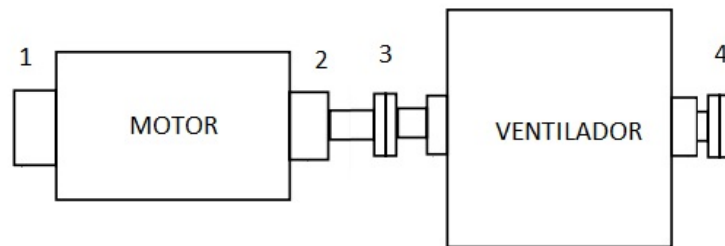


Ilustración 43: Puntos de medición para monitoreo continuo.

1.-Selección de Sensores. (Acelerómetros fijos).

Para la selección del acelerómetro se deben de tener presente los siguientes aspectos:

- Ancho de Banda (Frecuencias de falla máxima y mínima).

La frecuencia máxima deberá de ser por lo menos de 10 veces a frecuencia de interés de falla máxima se dan en los rodamientos. Estas frecuencias se calculan del siguiente modo:

$$\text{Frecuencia de falla de pista externa: } BFPO = \frac{nfr}{2} \left(1 - \frac{d}{D} \cos \varphi \right)$$

Ecuación 7: Frecuencia de falla de pista externa en rodamiento.

$$\text{Frecuencia de falla de pista interna: } BFPI = \frac{nfr}{2} \left(1 + \frac{d}{D} \cos \varphi \right)$$

Ecuación 8: Frecuencia de falla de pista interna en rodamiento.

$$\text{Frecuencia de falla de jaula: } FTF = \frac{fr}{2} \left(1 - \frac{d}{D} \cos \varphi \right)$$

Ecuación 9: Frecuencia de falla de jaula.

$$\text{Frecuencia de falla de bolas: } BSF(RSF) = \frac{D}{2d} \left[1 - \left(\frac{d}{D} \cos \varphi \right)^2 \right]$$

Ecuación 10: Frecuencia de falla de bolas.

Donde:

fr: Velocidad del eje.

n: Número de elementos rodantes.

d: Diámetro interior de rodamiento.

D: diámetro exterior del rodamiento.

Φ : Angulo de carga desde el plano radial.

De las fórmulas se puede observar que la frecuencia de fallos mayor es la BFPI (frecuencia de fallos de Pista Interna). Al utilizar la herramienta de cálculo se obtiene los siguientes valores:

Bearing Frequencies Calculator

This calculator is used to calculate the different bearing defect frequencies of bearing applications. One can search for an existing SKF bearing or input the different bearing parameters manually. The bearing defect frequencies can be displayed in Hertz, CPM or in orders of the rotational speed.

Bearing Data		Output	
<input type="text" value="22222 EK"/>	<input type="button" value="Search"/>	<input checked="" type="radio"/> Hertz <input type="radio"/> CPM <input type="radio"/> Orders	
<input type="radio"/> Metric <input type="radio"/> Imperial		<input type="text" value="50.000 Hz"/>	Shaft speed frequency
<input type="text" value="SRB"/>		<input type="text" value="521.023 Hz"/>	Inner race defect frequency (BPFI)
<input type="text" value="158.125"/> mm		<input type="text" value="378.977 Hz"/>	Outer race defect frequency (BPFO)
<input type="text" value="25.3"/> mm		<input type="text" value="21.054 Hz"/>	Cage defect frequency (FTF)
<input type="text" value="18"/>		<input type="text" value="152.358 Hz"/>	Ball spin frequency (BSF)
<input type="text" value="9.45"/> degrees		<input type="text" value="304.716 Hz"/>	Rolling element defect frequency
<input type="text" value="3000"/> rpm			
<input checked="" type="radio"/> inner <input type="radio"/> outer			
<input type="button" value="Calculate"/>			

Ilustración 44: Calculadora de frecuencia de rodamiento.

Por tanto, la frecuencia máxima del sensor deberá ser igual a:

$$Frec. de Sensor = 10 * 521.02 Hz = 5210Hz$$

Ecuación 11: Frecuencia máxima de sensor.

Para encontrar la frecuencia mínima del sensor, se debe buscar la frecuencia de interés de falla mínima, que en nuestro caso sería la frecuencia que tipifica una soltura mecánica que es la mitad de la frecuencia de giro de la maquina (tablas de Charlotte). En el caso de los Tiros inducidos la frecuencia de giro es de 890 rpm.

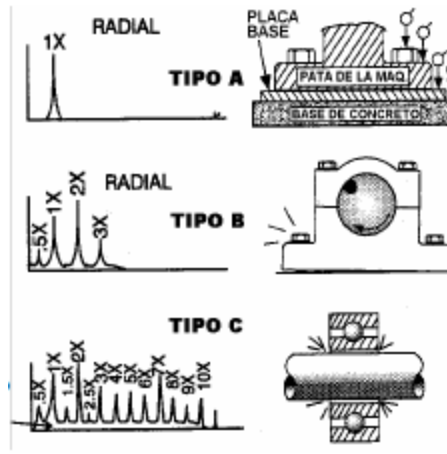


Ilustración 45: Tipos de soltura mecánica.

$$\text{Frecuencia de falla mínima} = 0.5 * n \text{ (rpm)}$$

Ecuación 12: Formula de frecuencia de falla mínima.

$$\text{Frecuencia de falla mínima} = 0.5 * \frac{1}{60} * 890 \text{ (Hz)}$$

Ecuación 13: Sustitución de variables por datos de campo en formula frecuencia de falla mínima.

$$\text{Frecuencia de falla mínima} = 0.5 * \frac{1}{60} * n \text{ (Hz)}$$

Ecuación 14: Frecuencia de falla.

$$\text{Frecuencia de falla mínima} = 7.4 \text{ Hz}$$

Ecuación 15: Resultado de frecuencia de falla mínima.

Con estos valores límites se debe escoger el sensor más adecuado en la curva de respuesta del sensor.

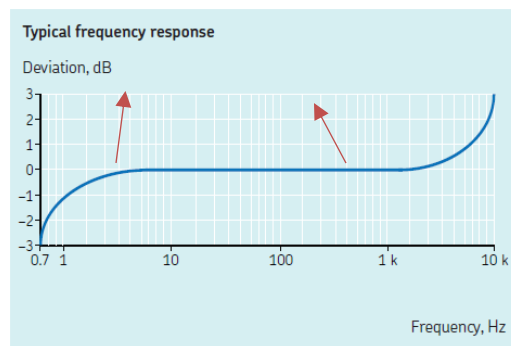


Ilustración 46: Respuesta de frecuencia típica de un sensor.

- Rango de temperatura y sensibilidad.

La sensibilidad deberá ser la menor posible. El rango de temperatura en el cual operara el sensor es importante conocerlo debido que con ella variara la sensibilidad del sensor. Por ejemplo: se tiene que el sensor siguiente tiene una variación de sensibilidad inferior al 5% a 60 °C (temperatura de operación de chumacera de los tiros inducidos).

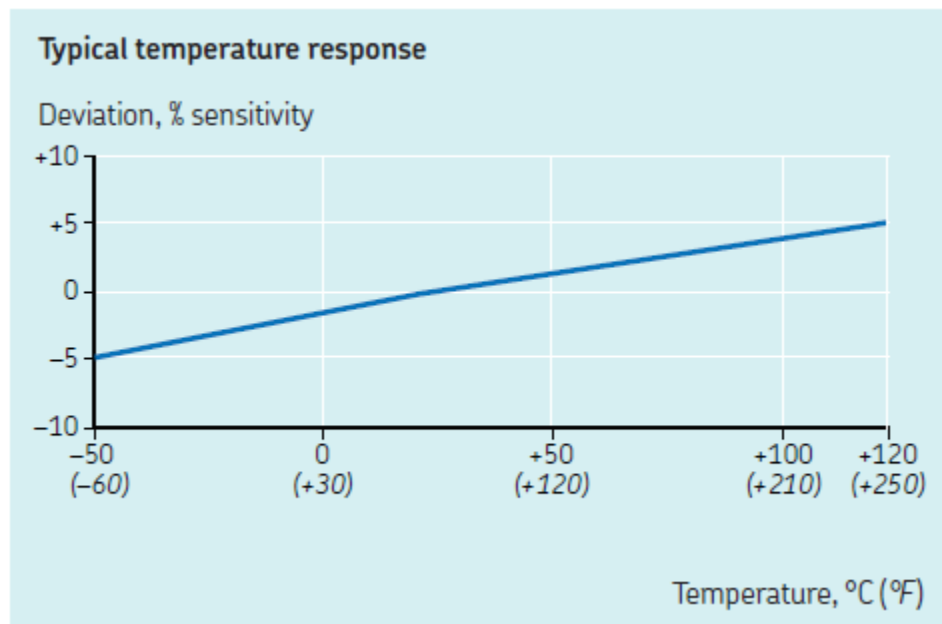


Ilustración 47: Respuesta de temperatura típica de un sensor.

2.- Tarjeta de Adquisición de Datos.

Llamaremos Tarjeta de adquisición de datos al módulo encargado de procesar la información recibida por los sensores, almacenar información temporalmente y transmitir la información al servidor para su posterior tratamiento.

Para escoger la tarjeta más adecuada es importante saber la cantidad de entradas que debe tener. Pues en ellas se conectarán los sensores.

En el caso de los tiros inducidos se tiene 4 puntos de medición por cada tiro inducido. Que hacen un total de 8 entradas analógicas requeridas.



Ilustración 48: Tarjeta de adquisición de datos.

3.- Arquitectura de Red y Funcionamiento.

Los sensores se conectan a la tarjeta de adquisición de datos mediante cable a por las puertas analógicas. La medición es continua.

La tarjeta se alimenta con 24 VDC. El controlador se conectará al servidor local mediante Ethernet.

En el servidor se almacena la información, que tiene potencial de ser transmitida al software de visualización y/o análisis. Inclusive se podría exportar a través de internet los datos para análisis externo.

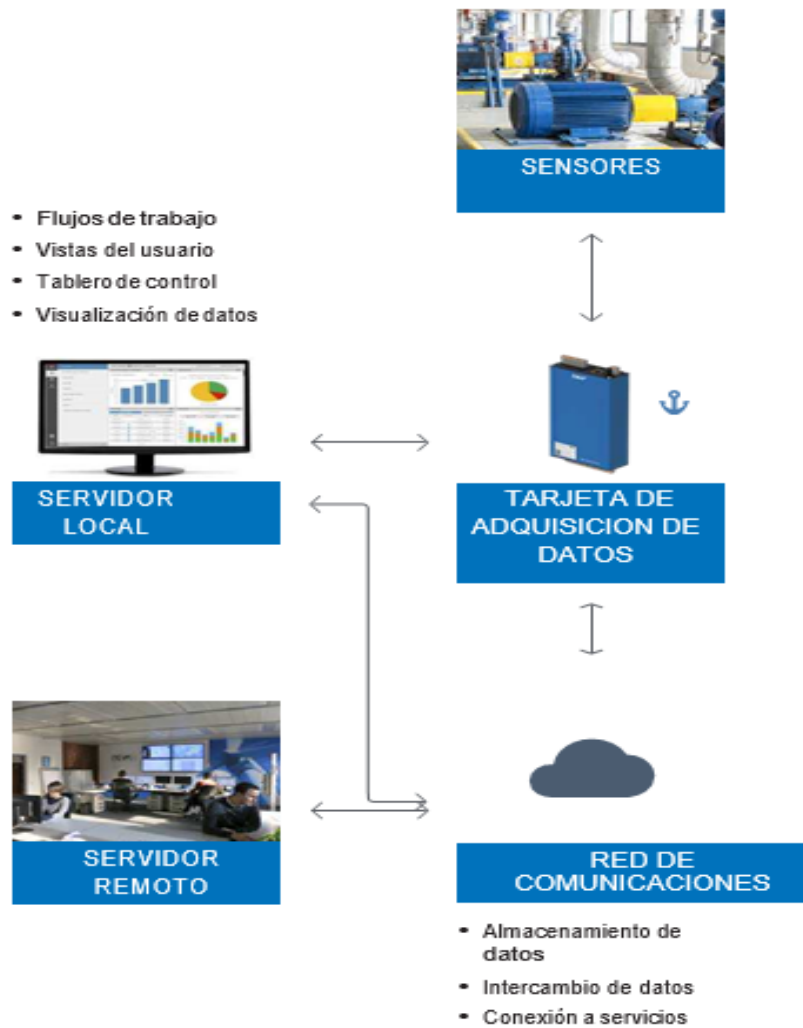


Ilustración 49: Arquitectura de red.

8.3.3. Desarrollo Monitoreo de Condición Colectores Automáticos.

El objetivo de este método de monitoreo es recolectar mediciones a intervalos de tiempo definidos. Sin la necesidad de tener a una persona recolectando información, la información se recolectará mediante sensores instalados en los equipos y comunicación Wireless. Se utilizará para monitorear equipos que son críticos y tienen una vulnerabilidad media.

El equipo escogido a modo ejemplo son las bombas de alimentación de calderas.

El arreglo de las bombas de alimentación de calderas es el siguiente:

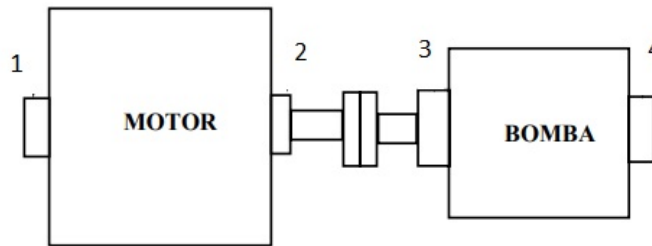


Ilustración 50: Puntos de medición de motor y bomba de alimentación calderas.

EL ingenio cuenta con 5 bombas de alimentación de calderas cada una con 4 puntos de medición. Que hacen en total 20 puntos de medición.

1.- Selección de Sensores.

Para la selección de sensores se buscarán las frecuencias de falla máximas y mínimas de modo similar al de la selección del monitoreo continuo.

La frecuencia de falla máxima se da en rodamientos. Frecuencia de fallo de pista interna (BPFI). Es de 300.570Hz.

Bearing Frequencies Calculator

This calculator is used to calculate the different bearing defect frequencies of bearing applications. One can search for an existing SKF bearing or input the different bearing parameters manually. The bearing defect frequencies can be displayed in Hertz, CPM or in orders of the rotational speed.

Bearing Data		Output	
<input type="text" value="7408 BM"/> SKF bearing designation*	<input type="button" value="Search"/>	<input checked="" type="radio"/> Hertz <input type="radio"/> CPM <input type="radio"/> Orders	
<input type="radio"/> Metric <input checked="" type="radio"/> Imperial		<input type="text" value="50.000"/> Shaft speed frequency	50.000 Hz
<input type="text" value="ACBB"/> Bearing type*		<input type="text" value="300.570"/> Inner race defect frequency (BPFI)	300.570 Hz
<input type="text" value="3.077"/> Pitch diameter*	in	<input type="text" value="199.430"/> Outer race defect frequency (BPFO)	199.430 Hz
<input type="text" value="0.8125"/> Rolling element diameter*	in	<input type="text" value="19.943"/> Cage defect frequency (FTF)	19.943 Hz
<input type="text" value="10"/> Number of rolling elements (per row)*		<input type="text" value="90.803"/> Ball spin frequency (BSF)	90.803 Hz
<input type="text" value="40.0"/> Contact angle*	degrees	<input type="text" value="181.606"/> Rolling element defect frequency	181.606 Hz
<input type="text" value="3000"/> Rotational speed*	rpm		
<input checked="" type="radio"/> inner <input type="radio"/> outer			
	<input type="button" value="Calculate"/>		

Ilustración 51: Calculadora de frecuencia de rodamiento.

$$\text{Frec. de Sensor} = 10 * 300.570 \text{ Hz} = 3000.57\text{Hz}$$

Ecuación 16: Frecuencia del sensor.

Y la frecuencia mínima de falla. De acuerdo a Charlotte. Sera:

$$\text{Frecuencia de falla mínima} = 0.5 * n \text{ (rpm)}$$

$$\text{Frecuencia de falla mínima} = 0.5 * 1/60 * n \text{ (Hz)}$$

$$\text{Frecuencia de falla mínima} = 0.5 * 1/60 * 3565 \text{ (Hz)}$$

$$\text{Frecuencia de falla mínima} = 29.7 \text{ Hz}$$

Ecuación 17: Frecuencia mínima de falla.

Por tanto, el sensor escogido será el que tiene la siguiente curva de respuesta.

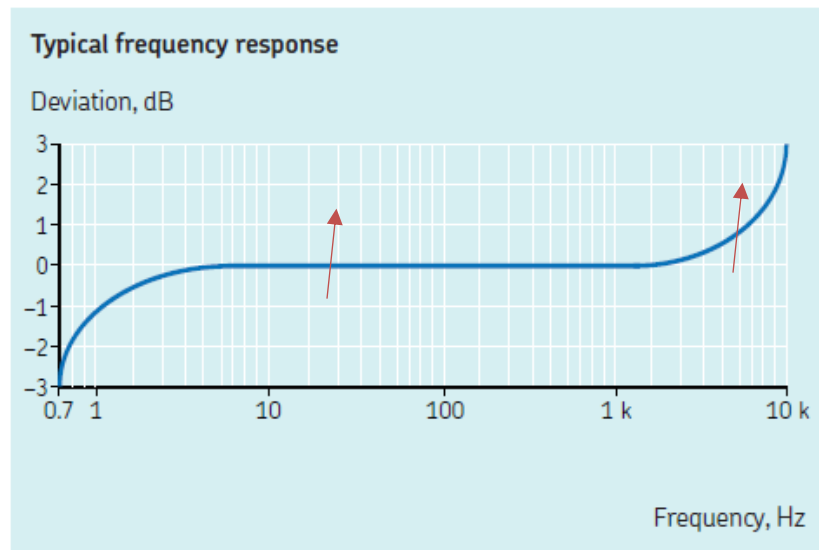


Ilustración 52: Curva de respuesta de frecuencia típica de sensor.

2.- Arquitectura de Red y Funcionamiento.

En el caso del monitoreo automático se cuenta con varios sensores que se han distribuido en cada punto de medición. Estos sensores se comunican mediante Wireless y forman parte de una topología de red llamada "Malla".

La topología de red Malla, se caracteriza por realizar una comunicación entrelazada, es decir, cada sensor se comunica entre sí y funge de repetidor. Esto hasta lograr la comunicación con la puerta de enlace o Gateway.

El Gateway, se encarga de deprecionar la comunicación con los sensores y mediante una red WiFi o 3G. Transmite la información por internet, dirigido hacia un servidor remoto. La información es procesada mediante un software remoto (Cloud computing) y es posible acceder mediante un dispositivo móvil (tanto la información de las mediciones como el diagnóstico de la misma).

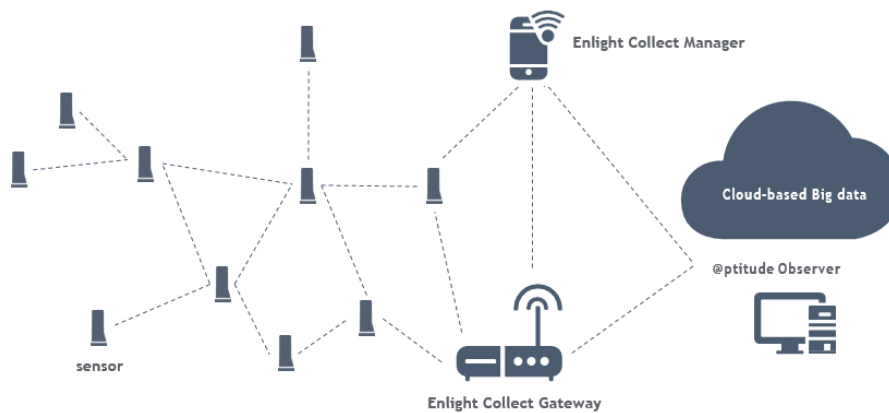


Ilustración 53: Arquitectura de red de monitoreo automático.

8.3.4 Monitoreo de Condición Mediante Rutas.

El objetivo del monitoreo mediante rutas es de monitorear equipos con un nivel de criticidad medio y con un factor de vulnerabilidad alta o media.

Estas mediciones en rutas se realizan punto a punto. Es decir, que requieren que un operador se traslade y mida los datos punto por punto. Pero solo medirá los datos no realizará el análisis.

- Funcionamiento y Comunicaciones.

El sensor que se utiliza es universal (amplia banda de frecuencias), tiene la posibilidad de comunicación vía Bluetooth con un dispositivo móvil.

El dispositivo móvil, tiene una aplicación que le permite almacenar datos y hacer un análisis rápido de la señal medida (servicio pagado). Es posible realizar análisis más detallados a requerimiento.

La comunicación entre el dispositivo móvil y el servidor remoto (por ende, software de análisis) es a través de wifi o una red 3G.



Ilustración 54: Ruta de comunicación.

8.3.3. Desarrollo de Análisis de Costo con Aplicación de ISO 17359 y Principios de Mantenimiento 4.0.

Para el análisis de costo-beneficio los datos siguientes se consideran los mismos que los que presenta el **ítem 8.1.4**:

- La cantidad de equipos por tipo son los mismos que se han considerado para el área de generación de vapor y energía eléctrica.
- Se tomarán los mismos costos unitarios de mano de obra de cada técnica; debido a que el costo de hora-hombre serán los mismos.
- Las horas hombre empleadas en recolección de datos y análisis por técnica (tiempo unitario).

Con el análisis de monitoreo de condición con aplicación de ISO 17359 y principios de mantenimiento 4.0, los siguientes datos cambiarán:

- La inversión en equipos es la cifra que tiene variación más significativa, debido a que los equipos de monitoreo continuo son costosos; al igual que los equipos de monitoreo automático. En contraparte se evita la compra de colectores de información avanzados, sin embargo, esta diferencia es alta.

Análisis de amortización por tecnología predictiva (\$)			
Equipamiento	Costo de Equipo	Amortización Anual	Tiempo de Amortización años
Colector de Vibraciones	\$0.00	\$0.00	0
Cámara Termográfica	\$15,000.00	\$3,000.00	5
Termómetro Infrarojo	\$0.00	\$0.00	0
Eq. Analisis de Aceite	\$30,000.00	\$6,000.00	5
Lámpara estroboscópica	\$2,500.00	\$500.00	5
Eq.Ultrasonido Pulso-Eco	\$50,000.00	\$10,000.00	5
Alineador laser	\$3,000.00	\$600.00	5
Eq. Análisis estático de motores eléctricos	\$60,000.00	\$12,000.00	5
Eq. Tensión de Correa	\$3,000.00	\$600.00	5
Eq. Medición de parámetros eléctricos	\$2,000.00	\$400.00	5
Cámara Boroscopia	\$10,000.00	\$2,000.00	5
Eq. Ultrasonido Acústico	\$10,000.00	\$2,000.00	5
Líquidos penetrantes	\$2,000.00	\$400.00	5
Partículas Magnéticas	\$2,000.00	\$400.00	5
Medidor de espesores	\$4,000.00	\$800.00	5
Equipo de Monitoreo Continuo	\$103,800.00	\$20,760.00	5
Equipo de Monitoreo Automático	\$109,248.00	\$21,849.60	5
Equipo para Rutas 4.0	\$3,000.00	\$600.00	5
Otros costos anuales asociados a 4.0			
Nombre Costo	Costo Unitario	unidad	Costo Total
Servicio de Internet 3G	\$2,400.00	1	\$2,400.00
Licencia Software de M.Condición	\$3,200.00	1	\$3,200.00
Servicio de Análisis	\$2,000.00	1	\$2,000.00
Total	\$417,148.00		

Tabla 51: Análisis de amortización por tecnología predictiva.

Componentes de Equipo de Monitoreo Continuo			
Nombre Componente	Costo Unitario	Cantidad Requerida	Costo Total
Sensor	\$400.00	72	\$28,800.00
Unidad de Control	\$8,000.00	9	\$72,000.00
Servidor	\$3,000.00	1	\$3,000.00
			\$103,800.00

Tabla 52: Componente de equipo de monitoreo continuo.

Componentes de Equipo de Colector Automático			
Nombre Componente	Costo Unitario	Cantidad Requerida	Costo Total
Sensor	\$323.00	300	\$96,900.00
Gateway	\$2,058.00	6	\$12,348.00
			\$109,248.00

Tabla 53: Componente de equipo de colector automático.

Componentes de Equipo de Rutas 4.0			
Nombre Componente	Costo Unitario	Cantidad Requerida	Costo Total
Sensor	\$2,000.00	1	\$2,000.00
Tablet	\$1,000.00	1	\$1,000.00
			\$3,000.00

Tabla 54: Componente de equipo de ruta 4.0.

- Las rutas de monitoreo de análisis vibraciones y temperatura varían pues solo se aplicarán a un número menor de equipos; pues los demás equipos estarán monitoreados mediante dispositivos de monitoreo continuo, automáticos o dejarán de monitorearse. Todo esto producto de la aplicación de la tabla 12: Cuadro de decisión para elección de método de monitoreo citada en ítem 7.3.1.

CANTIDAD DE EQUIPOS POR METODO DE MONITOREO- ANALISIS VIBRACIONAL Y TEMPERATURA.												
CRITICIDAD	MODULO DE DETECCION PARA ANALISIS DE VIBRACIONES Y	MOTOR ELECTRICO	MOTOR HIDRAULICO	MOTOREDUCTOR	REDUCTOR	BOMBA	BOMBA HIDRAULICA	BOMBA DOSIFICADORA	CHUMACER A	LAMINARES	TUBERIA	Total general
CRITICO	MONITOREO CONTINUO	4		2	2				4			12
	MONITOREO AUTOMATICO	20		1	5	5	7					38
	NO APLICA									9	13	22
MEDIO	MONITOREO AUTOMATICO			12								12
	RUTAS DE MONITOREO	15		1	2	7	2	4				31
	NO APLICA									12		12
NO CRITICO	NO APLICA									2	2	4
	NO REALIZAR MONITOREO	7	1		1	1	1	3				14
TOTAL GENERAL		46	1	16	10	13	10	7	4	23	15	145

Tabla 55: Cantidad de equipos y método de monitoreo.

La frecuencia de monitoreo para el caso de análisis de vibraciones y de temperatura se considerará nula, pues dependerán de la configuración de los dispositivos continuos y automáticos y no impactarán en los costos de mano de obra ni de gestión de ruta.

Con las consideraciones anteriores las frecuencias de monitoreo y la cantidad de horas hombre invertida quedaran de la siguiente forma:

EQUIPO CRITICOS	
Tecnología predictiva	Frecuencia de Monitoreo (cada "x" dias)
Análisis de vibraciones	N/A
Termografía	30
Temperatura infrarroja	N/A
Análisis de aceite	75
Lámpara estroboscópica	30
Ultrasonido pulso eco	30
Alineado laser de ejes	75
Análisis estático de motores eléctricos	150
Tensión de Correa	75
Medición de parametros eléctricos	30
Boroscopia	150
Ultrasonido Acustico	7
Líquidos penetrantes	150
Partículas Magnéticas	150
Medición de espesores	150

Tabla 56: Frecuencia de monitoreo de equipos críticos.

CANTIDAD DE INTERVENCIÓN POR AÑO EQUIPO CRITICO										
Tecnología predictiva	MOTOR ELECTRICO	MOTOR HIDRAULICO	MOTOREDUCTOR	REDUCTOR	BOMBA	BOMBA HIDRAULICA	BOMBA DOSIFICADORA	CHUMACERA	LAMINARES	TUBERIA
Análisis de vibraciones	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Termografía	5	5	5	5	5	5	0	5	0	0
Temperatura infrarroja	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Análisis de aceite	0	2	2	2	2	2	0	0	0	0
Lámpara estroboscópica	5	0	0	0	5	0	0	5	0	0
Ultrasonido pulso eco	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0
Alineado laser de ejes	2	0	0	2	2	0	0	0	0	0
Análisis estático de motores eléctricos	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Tensión de Correa	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0
Medición de parametros eléctricos	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0
Boroscopia	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Ultrasonido Acustico	21	21	21	21	21	0	0	21	0	0
Líquidos penetrantes	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1
Partículas Magnéticas	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0
Medición de espesores	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

Tabla 57: Número de intervenciones anualizadas por equipos críticos.

EQUIPO CRITICIDAD MEDIA	
Tecnología predictiva	Frecuencia de Mnitoreo (cada "x" días)
Análisis de vibraciones	14
Termografía	50
Temperatura infrarroja	3
Análisis de aceite	75
Lámpara estroboscópica	50
Ultrasonido pulso eco	50
Alineado laser de ejes	75
Análisis estático de motores eléctricos	150
Tensión de Correa	75
Medición de parametros eléctricos	75
Boroscopia	150
Ultrasonido Acustico	14
Líquidos penetrantes	150
Partículas Magnéticas	150
Medición de espesores	150

Tabla 58: Frecuencia de monitoreo de equipos de criticidad media.

CANTIDAD DE INTERVENCIÓN POR AÑO CRITICIDAD MEDIA										
Tecnología predictiva	MOTOR ELECTRICO	MOTOR HIDRAULICO	MOTOREDUCTOR	REDUCTOR	BOMBA	BOMBA HIDRAULICA	BOMBA DOSIFICADORA	CHUMACERA	LAMINARES	TUBERIA
Análisis de vibraciones	15	0	1	2	7	2	4	0	0	0
Termografía	3	3	3	3	3	3	0	3	0	0
Temperatura infrarroja	15	0	1	2	7	2	4	0	0	0
Análisis de aceite	0	2	2	2	2	2	0	0	0	0
Lámpara estroboscópica	3	0	0	0	3	0	0	3	0	0
Ultrasonido pulso eco	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0
Alineado laser de ejes	2	0	0	2	2	0	0	0	0	0
Análisis estático de motores eléctricos	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Tensión de Correa	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0
Medición de parametros eléctricos	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0
Boroscopia	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Ultrasonido Acustico	10	10	10	10	10	10	0	10	0	0
Líquidos penetrantes	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1
Partículas Magnéticas	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0
Medición de espesores	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

Tabla 59: Número de intervenciones anualizadas por equipos de criticidad media.

EQUIPO NO CRITICO	
Tecnología predictiva	Frecuencia de Mnitoreo (cada "x" días)
Análisis de vibraciones	N/A
Termografía	150
Temperatura infrarroja	N/A
Análisis de aceite	150
Lámpara estroboscópica	150
Ultrasonido pulso eco	150
Alineado laser de ejes	150
Análisis estático de motores eléctricos	150
Tensión de Correa	150
Medición de parametros eléctricos	150
Boroscopia	150
Ultrasonido Acustico	150
Líquidos penetrantes	150
Partículas Magnéticas	150
Medición de espesores	150

Tabla 60: Frecuencia de monitoreo de equipos no críticos.

CANTIDAD DE INTERVENCIÓN POR AÑO EQUIPO NO CRÍTICO										
Tecnología predictiva	MOTOR ELÉCTRICO	MOTOR HIDRAULICO	MOTOREDUCTOR	REDUCTOR	BOMBA	BOMBA HIDRAULICA	BOMBA DOSIFICADORA	CHUMACERA	LAMINARES	TUBERIA
Análisis de vibraciones	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Termografía	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0
Temperatura infrarroja	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Análisis de aceite	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
Lámpara estroboscópica	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0
Ultrasonido pulso eco	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
Alineado laser de ejes	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0
Análisis estático de motores eléctricos	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Tensión de Correa	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Medición de parámetros eléctricos	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Boroscopia	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Ultrasonido Acustico	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0
Líquidos penetrantes	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1
Partículas Magnéticas	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0
Medición de espesores	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

Tabla 61: Número de intervenciones anualizadas por equipos no críticos.

Costo total de horas hombre de la aplicación de las técnicas analizadas. Se observa que el costo por horas hombre ha disminuido debido a que el análisis de vibraciones y de temperatura únicamente se requiere mano de obra para recolección de información en las rutas, y ya no se destinara horas hombre para el análisis pues se realizara de forma remota.

Costo Total de H. Hombre por técnica(\$)			
Tecnología predictiva	c/unitario	Cantidad de HH Anual	Costo Total
Análisis de vibraciones	\$ 3.00	162	\$ 486.00
Termografía	\$ 3.00	226.8	\$ 680.40
Temperatura infrarroja	\$ 1.00	31.1	\$ 31.10
Análisis de aceite	\$ 3.00	72	\$ 216.00
Lámpara estroboscópica	\$ 1.00	47.8	\$ 47.80
Ultrasonido Pulso Eco	\$ 3.00	66.75	\$ 200.25
Alineado laser de ejes	\$ 2.00	141.9	\$ 283.80
Análisis estático de motores eléctricos	\$ 3.00	217	\$ 651.00
Tensión de Correa	\$ 2.00	38.5	\$ 77.00
Medición de parámetros eléctricos	\$ 2.00	247.5	\$ 495.00
Boroscopia	\$ 3.00	40	\$ 120.00
Ultrasonido Acustico	\$ 3.00	1052.5	\$ 3,157.50
Líquidos penetrantes	\$ 2.00	333	\$ 666.00
Partículas Magnéticas	\$ 2.00	162	\$ 324.00
Medición de espesores	\$ 1.00	532	\$ 532.00
		3370.85	\$ 7,967.85

Tabla 62: Costo Anual de horas hombre por técnica con aplicando principios de Mantenimiento 4.0

En el **Anexo 11: Estructura de costo aplicando mantenimiento basado en condición con principios de ISO 17359 y mantenimiento 4.0**, donde se ha considerado:

- Costos de mantenimiento de \$200,000 y ahorro de 5% al aplicar mantenimiento basado en condición.
- Una producción a la venta de 27 MWH a un precio de \$75/MWH. Haciendo un ingreso de \$7'290,000.00 y un incremento de eficiencia del 1% por mayor disponibilidad de equipos.
- Costo en mano de obra de mantenimiento de \$252,000 (costos directos e indirectos). Y un ahorro del 5% (\$12,600).
- Ahorro del 1% de energía por aplicación de alineamiento laser de los equipos (el consumo de energía de los equipos es de 18MWH).
- La experiencia se ha cuantificado en \$30,000 estimando los años laborados del personal (\$1000 por año de experiencia).

En el **Anexo 12: Cuenta de resultados aplicando mantenimiento basado en condición con principios de ISO 17359 y mantenimiento 4.0**; que representa el balance de los ingresos versus los egresos en el periodo de un año. A continuación, se presentan los datos más relevantes.

- Total, de ingresos anuales \$194,600.
- Total, de costos directos anuales \$101,481.45
- Total, de costos indirectos anuales \$2,454.93
- En la última línea de la tabla se observa que en todos los meses hay valores positivos (hay utilidades para todos los meses).
- La utilidad neta anual es de \$90,663.62

CUENTA DE RESULTADOS SECCIÓN GENERACIÓN DE VAPOR Y ENERGÍA ELÉCTRICA

	TOTAL	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
INGRESOS	\$194,600.00	\$24,850.00	\$24,850.00	\$26,450.00	\$28,150.00	\$6,266.67	\$6,266.67	\$6,266.67	\$7,966.67	\$7,966.67	\$6,266.67	\$24,850.00	\$24,850.00
COSTES DIRECTOS	\$101,481.45	\$8,867.11	\$8,867.11	\$8,867.11	\$8,867.11	\$8,046.47	\$8,046.47	\$8,046.47	\$8,046.47	\$8,046.47	\$8,046.47	\$8,867.11	\$8,867.11
COSTES INDIRECTOS	\$2,454.93	\$204.58	\$204.58	\$204.58	\$204.58	\$204.58	\$204.58	\$204.58	\$204.58	\$204.58	\$204.58	\$204.58	\$204.58
RESULTADO	\$90,663.62	\$15,778.31	\$15,778.31	\$17,378.31	\$19,078.31	-\$1,984.38	-\$1,984.38	-\$1,984.38	-\$284.38	-\$684.38	-\$1,984.38	\$15,778.31	\$15,778.31

Tabla 63: Resumen de cuenta de resultados aplicando mantenimiento basado en condición con principios de ISO 17359 y mantenimiento 4.0.

En el **Anexo 13: Análisis de ROI aplicando mantenimiento basado en condición con principio de ISO y mantenimiento 4.0**; se ha construido utilizando la cuenta de resultados y dividiendo el año en trimestres. Se obtiene un ROI acumulado de \$256,286 que es mayor a la inversión de equipos \$417,148.00 (monto que se obtuvo

del cuadro de inversión de equipo). Por tanto, la inversión se recupera a los 4.75 años. Esto se comprueba aplicando la fórmula de ROI y los valores acumulados de los resultados trimestrales (referencia de ROI con inversión).

ANÁLISIS DE RETORNO DE INVERSIÓN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN CON ISO 17359 Y PRINCIPIOS DE MANTENIMIENTO 4.0.

TOTAL ANUAL INVERSIÓN	1er AÑO				2º AÑO				3er AÑO				4to AÑO				5to AÑO			
	1T	2T	3T	4T	1T	2T	3T	4T	1T	2T	3T	4T	1T	2T	3T	4T	1T	2T	3T	4T
RESULTADO ANUAL	-\$236,006.78																			
ROI \$	22,908	22,908	22,908	22,908	22,908	22,908	22,908	22,908	22,908	22,908	22,908	22,908	22,908	22,908	22,908	22,908	22,908	22,908	22,908	22,908
ROI ACUMULADO \$	22,908	45,816	68,724	91,632	114,540	137,447	160,355	183,263	206,171	229,079	251,987	274,895	297,803	320,711	343,619	366,526	389,434	412,342	435,250	458,158
ROI ACUMULADO AÑOS	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00	4.25	4.50	4.75	5.00
Referencia de ROI con Inversión	-0.95	-0.89	-0.84	-0.78	-0.73	-0.67	-0.62	-0.56	-0.51	-0.45	-0.40	-0.34	-0.29	-0.23	-0.18	-0.12	-0.07	-0.01	0.04	0.10

Tabla 64: Resumen de análisis de ROI aplicando mantenimiento basado en condición con principios de ISO 17359 y mantenimiento 4.0.

IX. PROPUESTA DE INDICADORES.

La selección de los indicadores de mantenimiento es una decisión importante, debido a que permiten a la organización medir los resultados de la gestión de mantenimiento y de acuerdo a ellos orientar los esfuerzos para el logro de las metas de los objetivos trazados.

9.1. Indicadores Generales de Mantenimiento.

Estos indicadores nos permiten evaluar el resultado de la gestión de mantenimiento sobre la producción.

9.1.1. Disponibilidad.

La disponibilidad se define como la probabilidad que el equipo funcione satisfactoriamente en el momento que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables.

Para el cálculo de la disponibilidad se utiliza una ecuación:

$$Disponibilidad = \frac{\text{horas totales} - \text{horas de parada por mantenimiento}}{\text{horas totales}} \times 100\%$$

Ecuación 18: Ecuación para cálculo de disponibilidad de equipo.

Donde:

- Horas totales: Es el tiempo total de funcionamiento de la máquina. Este valor será proporcionado por el departamento de producción como mención a la bitácora diaria de trabajo. Se extenderá y sumarán los tiempos de producción del periodo de análisis.
- Hora de parada por mantenimiento: Es el tiempo de indisponibilidad del equipo por mantenimiento. Este dato será proporcionado por el departamento de mantenimiento con respecto a las intervenciones programadas (periódicas) y no programadas (correctivos) que afecten directamente a producción. El insumo de esta información es la orden de trabajo de mantenimiento ver diseño en el anexo.

9.1.2. Indicador MTBF.

El indicador MTBF se define como tiempo medio entre falla, es decir que es el tiempo medio o promedio que los equipos o maquinas trabajan sin presentar alguna falla. Por tanto, un alto valor de MTBF indica que los planes de mantenimiento están siendo eficiente; Pero si se tiene un valor bajo de MTBF indicará que el equipo no es confiable y el plan de mantenimiento no es el óptimo.

Para el cálculo de MTBF se utiliza una ecuación:

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de funcionamiento}}{\text{N}^\circ \text{ de fallas presentadas}}$$

Ecuación 19: Ecuación para cálculo de tiempo promedio entre falla.

Donde:

- Tiempo total de funcionamiento: Es el tiempo de operación continua de un equipo sin presentar incidencias que ocasionen un comportamiento anormal en la operación de los equipos. Esta información será proporcionada por el

departamento de producción en base a la programación de un tiempo determinado de producción en equipos.

- Número de fallos: Este valor es la cantidad de veces que falla un equipo durante su operación. Esta información será proporcionada por el departamento de mantenimiento, dicha información, será alimentado por las órdenes de trabajo de las fallas presentadas en los equipos.

9.2. Indicadores de Impacto de Mantenimiento Basado en Condición en la Gestión de Mantenimiento.

Este indicador muestra el aporte de mantenimiento basado en condición en la gestión del departamento de mantenimiento, y por ende en la organización.

El objetivo principal de mantenimiento basado en condición es detectar las fallas potenciales antes que se vuelvan funcionales. Por tanto, gestionar mejor el tratamiento de la falla (acciones de mantenimiento).

El indicador es calculado de la división de órdenes de trabajo correctivas diferidas (detectadas por mantenimiento basado en condición) y el total de órdenes correctivas inmediatas y diferidas.

$$\text{Impacto de MBC en fallas} = \frac{\text{Número de OT correctivas diferidas}}{\text{Total ordenes correctivas (inmediatas y diferidas)}} \times 100\%$$

Ecuación 20: Ecuación para cálculo de impacto de mantenimiento basado en condición en la gestión de mantenimiento.

La meta debería ser fijada por la gerencia de mantenimiento; cuanto mayor sea este valor significa que el departamento de mantenimiento basado en condición está siendo más efectivo.

9.3. *Indicador de Impacto de Mantenimiento Basado en Condición en los Costos.*

Debido al modo de operar de los ingenios azucareros en EL Salvador; los cuales operan seis meses al año (Periodo Productivo) y los meses restantes no producen (Periodo No Productivo). El impacto de la gestión de mantenimiento basado en condición en los costos se dividirá en dos indicadores.

9.3.1. *Impacto en el Costo de Producción (Periodo Productivo).*

El aporte de mantenimiento de condición es ayudar a mejorar la disponibilidad de los equipos para lograr la producción meta. Una forma de ver este aporte es utilizando un indicador que cuantifique el costo evitado; por la detección de la falla potencial de mantenimiento basado en condición. Es aplicable a aquellas maquinas que hacen una disminución parcial y total del producto final (equipos críticos).

Para su cálculo se utiliza el costo productivo hora y la cantidad de horas que hubiese tomado una reparación en esa máquina.

Este indicador nos da una idea general del costo evitado, el nivel de precisión dependerá de la valoración del tiempo total de mantenimiento que se hubiera empleado.

La fórmula es la siguiente:

$$\text{Costos evitados por m. condicion} = \frac{\text{Sumatoria de ahorros que se evitaron por fallas}}{\text{Presupuesto de mantenimiento en periodo productivo}} \times 100\%$$

Ecuación 21: Ecuación de cálculo de costos evitados por aplicar mantenimiento basado en condición en periodo productivo.

El resultado nos indica que porcentaje de los ahorros evitados representa el presupuesto de mantenimiento.

9.3.2. *Indicador de Impacto de Mantenimiento Basado en Condición en el Costo de Mantenimiento (periodo no productivo).*

En este periodo no productivo el impacto del mantenimiento basado en condición es ayudar a disminuir el costo global de mantenimiento, eso se logra disminuyendo las intervenciones preventivas durante el periodo no productivo. Solo se intervienen si se detecta alguna falla potencial en el mantenimiento basado en condición.

El cálculo de este indicador es la sumatoria de los costos de las intervenciones preventivas de los equipos que serán los ahorros por no intervenirlos.

$$\text{Periodo no productivo} = \frac{\text{Sumatoria de costos "ahorros" individuales de las NO intervenciones de equipos}}{\text{Presupuesto de mantenimiento (Periodo No productivo)}} \times 100\%$$

Ecuación 22: Ecuación de cálculo de costos evitados por aplicar mantenimiento basado en condición en periodo no productivo.

9.4. Ventajas de Realizar Mantenimiento 4.0.

A continuación, se presenta algunas ventajas que se generan a través de industria 4.0:

- Incremento de desempeño de los activos.
- Mejor interacción hombre-máquina.
- Reemplazo de componentes cuando es necesario.
- Análisis avanzado de datos en tiempo real.
- Monitoreo, rastreabilidad y control de los activos.
- Uso de servicios en la nube.
- Aumento en la vida útil de los equipos.

9.5. Recurso Informático para Mantenimiento de Monitoreo de Condición.

9.5.1. CMMS e-Maint

Es una plataforma de confiabilidad para los activos que sirve de apoyo a las organizaciones para la correcta gestión de las herramientas de mantenimiento y aumentar la fiabilidad de los activos desde una solución con programas computacionales.

Las partes que integra el software e-maint son:

- Generación y gestión de OT.
- Monitoreo de condición (ruido, vibración, temperatura, los lubricantes, el desgaste, la corrosión, la presión de los equipos).
- Gestión de activos.
- Programación de tareas.
- Gestión de partes e inventarios.
- Tableros y reportes.
- Visualización de datos.
- Mantenimiento y monitoreo en tiempo real con plataforma para móviles.
- Plataforma para mantenimiento predictivo y preventivo.
- Plataforma con hasta 200GB de espacio en línea, con posibilidad de aumentar.

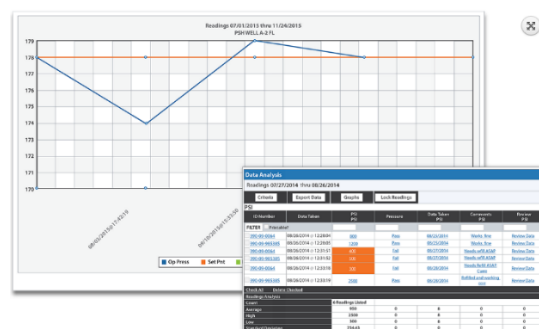


Ilustración 55: Mantenimiento preventivo.

X. CONCLUSIONES.

La propuesta de: “Implementación de estrategia de mantenimiento basado en condición con orientación a la industria 4.0”, que se ha desarrollado en este estudio está dirigida a ordenar y estandarizar metodológicamente los aspectos tanto internos como externos del mantenimiento basado en condición. Para lograr homogenizar con otras industrias y estar preparados para el advenimiento de nuevas tendencias o realidades como son la industria 4.0. Debido a que en las industrias locales tiene desarrollo heterogéneo. Las conclusiones que se han llegado en este estudio son las siguientes:

- El mantenimiento basado en condición es una estrategia eficiente en disminución de costos de la organización y aumento sus ingresos. Optimiza los costos de mantenimiento interviniendo en las maquinas solo si es necesario hacerlo y evitar disminución de ingresos haciendo que la producción no disminuya por temas de indisponibilidad de la maquinaria. Para ello es posible formular cuantitativamente indicadores.
- Para tener una buena gestión de mantenimiento basado en condición es necesario la aplicación de etapas. Desde principios básicos como la identificación estandarizada de las maquinas ISO 14224 y la aplicación metodológica de etapas según normativas existentes ISO 17359. Que son pasos necesarios para adoptar nuevas tecnologías de la industria 4.0 en donde la estandarización es importante pues la ubicación física y geográfica no determinan la realidad de los equipos. Es decir, lo que determinara a un equipo son datos codificados en escenarios virtuales.
- La definición de los entornos externo e interno del mantenimiento basado en condición y la identificación de sus componentes. Hacen posible administrar los mismos de modo similar a procesos. Los cuales se interrelacionarán con mantenimiento basado en condición mediante entradas y salidas definidas. Estos procesos se pueden orientar para el logro de los objetivos organizacionales.

- La creación de componentes semi cuantitativos – como es el caso de factor de vulnerabilidad y matriz de criticidad- hacen posible crear un modelo de gestión de mantenimiento basado en condición práctico. Estas creaciones o aplicaciones se realizan ante la ausencia información precisa y falta de registro referente a mantenimiento.
- Es factible la disminución de costos de la aplicación de mantenimiento basado en condición aplicando normativa internacional ISO 17359. Con la reorganización de los equipos en base a análisis de criticidad es posible disminuir los costos de la aplicación de mantenimiento basado en condición y dirigir los recursos en equipos que tienen un impacto mayor (“Críticos”). Según resultados obtenidos en 4 % aproximadamente.
- Dado el análisis netamente económico la aplicación de tecnología 4.0 (Análisis de Vibraciones y temperatura). El retorno de inversión de la aplicación de esta tecnología es en un lapso más largo en comparación al de la aplicación de mantenimiento basado en condición con ISO 17359 y aplicación sin norma (Tiempo de retorno de inversión de 4.75, 2.0 y 2.25 años respectivamente). Esto debido a la fuerte inversión que se debe realizar en la adquisición de equipos y al costo de servicios de diagnóstico remoto. Esto hecho se potencia con el bajo costo de la hora hombre del personal local dedicado al monitoreo de condición.
- La generación de retorno de inversión de la aplicación de tecnología 4.0 tiene la posibilidad de volverse más atractiva debido a la mejora del grado de certeza de diagnóstico de las fallas (en este estudio se consideró el mismo nivel de certeza del analista local con el analista 4.0) y la ausencia de personal calificado en los análisis. Así mismo la aplicación de la tecnología 4.0 tiene gran importancia en la recolección de información para el análisis y como elemento de seguridad industrial y de las propias maquinas.

BIBLIOGRAFIA:

1. Luis Alberto Mora Gutiérrez. MANTENIMIENTO; PLANEACIÓN, EJECUCIÓN Y CONTROL. México. Alfaomega. Septiembre 2009. Primera edición.
2. John Moubray. MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD. North Carolina, USA. 1997. Segunda Edición.
3. William Orlarte C., Marcela Botero A., Benhur Cañon. TECNICAS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO UTILIZADAS EN LA INDUSTRIA. <<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4546591.pdf>>. Universidad Tecnológica de Pereira. Artículo. Pereira, Colombia, Agosto 2010.
4. Mora Cevallos Anderson Xavier. ANALISIS DE LA EFECTIVIDAD DE LOS MODELOS MIXTOS DE DIAGNOSTICOS TECNICO EN MOTORES ELECTRICOS TRIFASICOS ASINCRONICOS JAULA DE ARDILLA DEL LABORATORIO DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE LA FACULTAD DE MECANICA DE LA ESPOCH. Escuela Superior Politécnica De Chimborazo. Trabajo de Titulación. Riobamba, Ecuador. 2016.
5. Gilberto Enríquez Harper. 2004 “El ABC de la calidad de energía eléctrica” editores Limusa Noriega.
6. Jennifer Desiree Araujo Gonzales. ESTUDIO DE INVERSIÓN PARA LA COMPETITIVIDAD: PROPUESTA DE INNOVACIÓN A UN LABORATORIO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS. Tesis (Maestra en dirección y gestión de proyectos de ingeniería). Querétaro, México, Ciateq, 2017, 161p.

7. Organización Internacional de Normalización (ISO). 2018. Condition monitoring and diagnostics. Tercera Edición. Numero de Referencia ISO 17359:2018(E). Suiza.
8. Eduardo Javier Rodríguez Paredes. ESTUDIO DE LA EFECTIVIDAD DEL ENSAYO DE ULTRASONIDO PARA INSPECCION ESTRUCTURAL A ACERO A37-A24 ES DE CALIDAD SAE 1020. Tesis (Ingeniero Civil en Obras Civil). Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile, facultad de ciencia de la ingeniería. 2014.
9. Christian Fernando Bernal Reinoso. ESTUDIO TÉCNICO DE IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (EDN) PARA EL ÁREA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍAS DE LA UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA SEDE CUENCA. Tesis (ingeniero mecánico). Cuenca, Ecuador, Universidad Politécnica Salesiana. 2014.
10. Aduino Sanchez Melissa, Aliaga remigio Ros Mery, barrera Aliaga Ximena, Borja Orellana Denis, Manturano Cordova Angela. CUARTA REVOLUCION INDUSTRIAL. Huancayo, Perú. Universidad Continental. 2015.
11. Rubén Roberto Monardes Ponce. CONFIABILIDAD EN MOTORES ASINCRONOS EN UNA PLANTA DE PROCESAMIENTO DE MINERALES. Valparaíso, Chile. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. 2017.
12. Barreda Beltran, Salvador. PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) EN LA EDAR DE NULES-VILAVELLA. (http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/128127/TFG_2015_BarredaBeltranS.pdf?sequence=1). España. Universidad Jaume I. Julio 2015.
13. Morales Retamal, Sergio Enrique. GENERACION Y DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN BASE A CRITICIDAD, SEGÚN CRITERIOS DE ESTADISTICAS DE FALLA EN EMPRESA

QUIMICA CLARIANT. Chile. Universidad Técnica Federico Santa María.2017
(<https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/23029/3560900231969UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>).

14. D. Fernando Manuel Martínez García. GESTIÓN INTEGRADA DEL MANTENIMIENTO Y LA ENERGÍA PARA LA PREVENCIÓN DE FALLOS EN EQUIPOS DE PLANTA DE PROCESO. UNIVERSIDAD DE MURCIA. Facultad de química, noviembre 2015, 98 P.
15. Miguel A. Luna Perez, Graciela Vasquez Alvarez. METODOLOGIA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO 4.0 PARA ASEGURAR PROCESOS DE PRODUCCION. [http://www.iiisci.org/journal/CV\\$/risci/pdfs/CA639LI19.pdf](http://www.iiisci.org/journal/CV$/risci/pdfs/CA639LI19.pdf). Ciudad de México, México. Instituto Politécnico Nacional. 2019.

ANEXOS.

Anexo 1: Estructura de costos aplicando mantenimiento basado en condición

Generación de Vapor y Energía Eléctrica			ESTRUCTURA DE COSTES												
GRUPO DE COSTE	TIPO DE COSTE	CONCEPTO	HORAS /AÑO	%	AMORTIZACIÓN /AÑO (\$)	\$/AÑO (material, producción, MO total)	KW DE PRODUCCIÓN	\$/ HORA	\$/ DIRECTO	\$/ INDIRECTO	\$/ OCULTO	TOTAL \$ / AÑO	% POR GRUPO DE COSTE	% RESPECTO EL TOTAL	
RECURSOS HUMANOS	Directo	Análisis de vibraciones	1,792.4					3.0	5,377			\$5,377.05	22.3%	2.0%	8.9%
	Directo	Termografía	300.0					3.0	900			\$900.00	3.7%	0.3%	
	Directo	Temperatura infrarroja	1,203.8					1.0	1,204			\$1,203.75	5.0%	0.4%	
	Directo	Análisis de aceite	75.0					3.0	225			\$225.00	0.9%	0.1%	
	Directo	Lámpara estroboscópica	63.0					1.0	63			\$63.00	0.3%	0.0%	
	Directo	Ultrasonido pulso eco	86.3					3.0	259			\$258.75	1.1%	0.1%	
	Directo	Alineado laser de poleas	151.8					2.0	304			\$303.60	1.3%	0.1%	
	Directo	Análisis estático de motores eléctricos	217.0					3.0	651			\$651.00	2.7%	0.2%	
	Directo	Tensión de Correa	41.3					2.0	83			\$82.60	0.3%	0.0%	
	Directo	Medición de parametros eléctricos	387.5					2.0	775			\$775.00	3.2%	0.3%	
	Directo	Boroscopia	40.0					3.0	120			\$120.00	0.5%	0.0%	
	Directo	Ultrasonido Acustico	1,554.0					3.0	4,662			\$4,662.00	19.4%	1.7%	
	Directo	Líquidos penetrantes	333.0					2.0	666			\$666.00	2.8%	0.2%	
	Directo	Partículas Magnéticas	162.0					2.0	324			\$324.00	1.3%	0.1%	
	Directo	Medición de espesores	532.0					1.0	532			\$532.00	2.2%	0.2%	
Directo	Supervisión	1,144.0					4	4,004			\$4,004.00	16.6%	1.5%		
Directo	Gestión de las intervenciones	300					1	300			\$300.00	1.2%	0.1%		
Indirecto	Administrativo - Jefatura		15						3,022			\$3,022.16	12.6%	1.1%	
Indirecto	Estructurales		3						604			\$604.43	2.5%	0.2%	
MATERIALES	Directo	Colector de Vibraciones			12,000				12,000			\$12,000.00	23.6%	4.4%	18.7%
	Directo	Cámara Termográfica			3,000				3,000			\$3,000.00	5.9%	1.1%	
	Directo	Termómetro Infrarojo			120				120			\$120.00	0.2%	0.0%	
	Directo	Eq. Analisis de Aceite			6,000				6,000			\$6,000.00	11.8%	2.2%	
	Directo	Lámpara estroboscópica			500				500			\$500.00	1.0%	0.2%	
	Directo	Eq.Ultrasonido Pulso-Eco			10,000				10,000			\$10,000.00	19.7%	3.7%	
	Directo	Alineador laser			600				600			\$600.00	1.2%	0.2%	
	Directo	Eq. Análisis estático de motores eléctricos			12,000				12,000			\$12,000.00	23.6%	4.4%	
	Directo	Eq. Tensión de Correa			600				600			\$600.00	1.2%	0.2%	
	Directo	Eq. Medición de parametros eléctricos			400				400			\$400.00	0.8%	0.1%	
	Directo	Cámara Boroscopia			2,000				2,000			\$2,000.00	3.9%	0.7%	
	Directo	Eq. Ultrasonido Acustico			2,000				2,000			\$2,000.00	3.9%	0.7%	
	Directo	Líquidos penetrantes			400				400			\$400.00	0.8%	0.1%	
	Directo	Partículas Magnéticas			400				400			\$400.00	0.8%	0.1%	
Directo	Medidor de espesores			800				800			\$800.00	1.6%	0.3%		
CONOCIMIENTO	Oculto	Análisis de vibraciones					1,600				1,600	\$1,600.00	4.0%	0.6%	14.6%
	Oculto	Termografía					1,200				1,200	\$1,200.00	3.0%	0.4%	
	Oculto	Temperatura infrarroja					100				100	\$100.00	0.3%	0.0%	
	Oculto	Análisis de aceite					800				800	\$800.00	2.0%	0.3%	
	Oculto	Lámpara estroboscópica					100				100	\$100.00	0.3%	0.0%	
	Oculto	Ultrasonido Pulso Eco					1,200				1,200	\$1,200.00	3.0%	0.4%	
	Oculto	Alineado laser de ejes					200				200	\$200.00	0.5%	0.1%	
	Oculto	Análisis estático de motores eléctricos					800				800	\$800.00	2.0%	0.3%	
	Oculto	Tensión de Correa					100				100	\$100.00	0.3%	0.0%	
	Oculto	Medición de parametros eléctricos					200				200	\$200.00	0.5%	0.1%	
	Oculto	Boroscopia					1,600				1,600	\$1,600.00	4.0%	0.6%	
	Oculto	Ultrasonido Acustico					1,200				1,200	\$1,200.00	3.0%	0.4%	
	Oculto	Líquidos penetrantes					200				200	\$200.00	0.5%	0.1%	
	Oculto	Partículas Magnéticas					200				200	\$200.00	0.5%	0.1%	
	Oculto	Medición de espesores					100				100	\$100.00	0.3%	0.0%	
	Oculto	Experiencia					30,000				30,000	\$30,000.00	75.8%	11.1%	
OPORTUNIDAD	Oculto	Recambios ahorrados		5		\$ 200,000.00					10,000	\$10,000.00	6.4%	3.7%	57.8%
	Oculto	Aumento productividad		1		\$ 7,290,000.00					72,900	\$72,900.00	46.5%	26.9%	
	Oculto	MO total ahorrada		5					8,400	4,200	12,600	\$25,200.00	16.1%	9.3%	
	Oculto	Ahorro energético ALI	3600	1			18000	0.075			48,600	\$48,600.00	31.0%	17.9%	

100.0% 100.0%

Anexo 2: Cuenta de resultado aplicando mantenimiento basado en condición

CUENTA DE RESULTADOS SECCIÓN GENERACIÓN DE VAPOR Y ENERGÍA ELECTRICA

			TOTAL	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
CONOCIMIENTO	Oculto	0	\$1,600.00										\$1,600.00		
	Oculto	0	\$1,200.00									\$1,200.00			
	Oculto	0	\$100.00									\$100.00			
	Oculto	0	\$800.00				\$800.00								
	Oculto	0	\$100.00									\$100.00			
	Oculto	0	\$1,200.00				\$1,200.00								
	Oculto	0	\$200.00									\$200.00			
	Oculto	0	\$800.00				\$800.00								
	Oculto	0	\$100.00										\$100.00		
	Oculto	0	\$200.00									\$200.00			
	Oculto	0	\$1,600.00			\$1,600.00									
	Oculto	0	\$1,200.00									\$1,200.00			
	Oculto	0	\$200.00					\$200.00							
	Oculto	0	\$200.00					\$200.00							
	Oculto	0	\$100.00					\$100.00							
Oculto	0	\$30,000.00	\$2,500.00	\$2,500.00	\$2,500.00	\$2,500.00	\$2,500.00	\$2,500.00	\$2,500.00	\$2,500.00	\$2,500.00	\$2,500.00	\$2,500.00	\$2,500.00	\$2,500.00
OPORTUNIDAD	Oculto	0	\$10,000.00					\$1,666.67	\$1,666.67	\$1,666.67	\$1,666.67	\$1,666.67	\$1,666.67		
	Oculto	0	\$72,900.00	\$12,150.00	\$12,150.00	\$12,150.00	\$12,150.00							\$12,150.00	\$12,150.00
	Oculto	0	\$25,200.00	\$2,100.00	\$2,100.00	\$2,100.00	\$2,100.00	\$2,100.00	\$2,100.00	\$2,100.00	\$2,100.00	\$2,100.00	\$2,100.00	\$2,100.00	\$2,100.00
	Oculto	0	\$48,600.00	\$8,100.00	\$8,100.00	\$8,100.00	\$8,100.00							\$8,100.00	\$8,100.00
INGRESOS			\$196,300.00	\$24,850.00	\$24,850.00	\$26,450.00	\$28,150.00	\$6,266.67	\$6,266.67	\$6,266.67	\$8,066.67	\$7,566.67	\$7,866.67	\$24,850.00	\$24,850.00
RECURSOS HUMANOS	Directo	Análisis de vibraciones	\$5,377.05	\$896.18	\$896.18	\$896.18	\$896.18							\$896.18	\$896.18
	Directo	Termografía	\$900.00	\$150.00	\$150.00	\$150.00	\$150.00							\$150.00	\$150.00
	Directo	Temperatura infrarroja	\$1,203.75	\$200.63	\$200.63	\$200.63	\$200.63							\$200.63	\$200.63
	Directo	Análisis de aceite	\$225.00	\$37.50	\$37.50	\$37.50	\$37.50							\$37.50	\$37.50
	Directo	Lámpara estroboscópica	\$63.00	\$10.50	\$10.50	\$10.50	\$10.50							\$10.50	\$10.50
	Directo	Ultrasonido pulso eco	\$258.75	\$43.13	\$43.13	\$43.13	\$43.13							\$43.13	\$43.13
	Directo	Alineado laser de poleas	\$303.60	\$50.60	\$50.60	\$50.60	\$50.60							\$50.60	\$50.60
	Directo	Análisis estático de motores eléctricos	\$651.00	\$108.50	\$108.50	\$108.50	\$108.50							\$108.50	\$108.50
	Directo	Tensión de Correa	\$82.60	\$13.77	\$13.77	\$13.77	\$13.77							\$13.77	\$13.77
	Directo	Medición de parametros eléctricos	\$775.00	\$129.17	\$129.17	\$129.17	\$129.17							\$129.17	\$129.17
	Directo	Boroscopia	\$120.00	\$20.00	\$20.00	\$20.00	\$20.00							\$20.00	\$20.00
	Directo	Ultrasonido Acustico	\$4,662.00	\$777.00	\$777.00	\$777.00	\$777.00							\$777.00	\$777.00
	Directo	Líquidos penetrantes	\$666.00					\$111.00	\$111.00	\$111.00	\$111.00	\$111.00	\$111.00		
	Directo	Partículas Magnéticas	\$324.00					\$54.00	\$54.00	\$54.00	\$54.00	\$54.00	\$54.00		
	Directo	Medición de espesores	\$532.00					\$88.67	\$88.67	\$88.67	\$88.67	\$88.67	\$88.67		
Directo	Supervisión	\$4,004.00	\$333.67	\$333.67	\$333.67	\$333.67	\$333.67	\$333.67	\$333.67	\$333.67	\$333.67	\$333.67	\$333.67	\$333.67	
MATERIALES	Directo	Colector de Vibraciones	\$12,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00
	Directo	Cámara Termográfica	\$3,000.00	\$250.00	\$250.00	\$250.00	\$250.00	\$250.00	\$250.00	\$250.00	\$250.00	\$250.00	\$250.00	\$250.00	\$250.00
	Directo	Termómetro Ifrarojo	\$120.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00
	Directo	Eq. Analisis de Aceite	\$6,000.00	\$500.00	\$500.00	\$500.00	\$500.00	\$500.00	\$500.00	\$500.00	\$500.00	\$500.00	\$500.00	\$500.00	\$500.00
	Directo	Lámpara estroboscópica	\$500.00	\$41.67	\$41.67	\$41.67	\$41.67	\$41.67	\$41.67	\$41.67	\$41.67	\$41.67	\$41.67	\$41.67	\$41.67
	Directo	Eq.Ultrasonido Pulso-Eco	\$10,000.00	\$833.33	\$833.33	\$833.33	\$833.33	\$833.33	\$833.33	\$833.33	\$833.33	\$833.33	\$833.33	\$833.33	\$833.33
	Directo	Alineador laser	\$600.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00
	Directo	Eq. Análisis estático de motores eléctricos	\$12,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00
	Directo	Eq. Tensión de Correa	\$600.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00
	Directo	Eq. Medición de parametros eléctricos	\$400.00	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33
	Directo	Cámara Boroscopia	\$2,000.00	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67
	Directo	Eq. Ultrasonido Acustico	\$2,000.00	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67
	Directo	Líquidos penetrantes	\$400.00	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33
	Directo	Partículas Magnéticas	\$400.00	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33
	Directo	Medidor de espesores	\$800.00	\$66.67	\$66.67	\$66.67	\$66.67	\$66.67	\$66.67	\$66.67	\$66.67	\$66.67	\$66.67	\$66.67	\$66.67
COSTES DIRECTOS			\$70,967.75	\$7,005.63	\$7,005.63	\$7,005.63	\$7,005.63	\$4,822.33	\$4,822.33	\$4,822.33	\$4,822.33	\$4,822.33	\$4,822.33	\$7,005.63	\$7,005.63
RECURSOS HUMANOS	Indirecto	Gestión de las intervenciones	\$300.00	\$25.00	\$25.00	\$25.00	\$25.00	\$25.00	\$25.00	\$25.00	\$25.00	\$25.00	\$25.00	\$25.00	\$25.00
	Indirecto	Administrativo - Jefatura	\$3,022.16	\$251.85	\$251.85	\$251.85	\$251.85	\$251.85	\$251.85	\$251.85	\$251.85	\$251.85	\$251.85	\$251.85	\$251.85
	Indirecto	Estructurales	\$604.43	\$50.37	\$50.37	\$50.37	\$50.37	\$50.37	\$50.37	\$50.37	\$50.37	\$50.37	\$50.37	\$50.37	\$50.37
COSTES INDIRECTOS			\$3,926.60	\$327.22	\$327.22	\$327.22	\$327.22	\$327.22	\$327.22	\$327.22	\$327.22	\$327.22	\$327.22	\$327.22	\$327.22
RESULTADO			\$121,405.66	\$17,517.16	\$17,517.16	\$19,117.16	\$20,817.16	\$1,117.12	\$1,117.12	\$1,117.12	\$2,917.12	\$2,417.12	\$2,717.12	\$17,517.16	\$17,517.16

Anexo 3: Análisis ROI aplicando mantenimiento basado en condición

ANALISIS DE RETORNO DE INVERSION DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICION.

		TOTAL ANUAL INVERSIÓN	1er AÑO				2º AÑO				3er AÑO				4to AÑO				5to AÑO				6to AÑO			
			1T	2T	3T	4T	1T	2T	3T	4T	1T	2T	3T	4T	1T	2T	3T	4T	1T	2T	3T	4T	1T	2T	3T	4T
CONOCIMIENTO	Oculto	0	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	
	Oculto	0	\$1,600.00	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	
	Oculto	0	\$100.00	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
	Oculto	0	\$800.00	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
	Oculto	0	\$100.00	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
	Oculto	0	\$1,200.00	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	
	Oculto	0	\$200.00	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
	Oculto	0	\$800.00	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
	Oculto	0	\$100.00	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
	Oculto	0	\$200.00	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
	Oculto	0	\$1,600.00	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	
	Oculto	0	\$1,200.00	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	
	Oculto	0	\$200.00	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
	Oculto	0	\$200.00	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
	Oculto	0	\$100.00	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
Oculto	0	\$30,000.00	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500		
OPORTUNIDAD	Oculto	0	\$10,000.00	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500		
	Oculto	0	\$72,900.00	18,225	18,225	18,225	18,225	18,225	18,225	18,225	18,225	18,225	18,225	18,225	18,225	18,225	18,225	18,225	18,225	18,225	18,225	18,225	18,225	18,225		
	Oculto	0	\$25,200.00	6,300	6,300	6,300	6,300	6,300	6,300	6,300	6,300	6,300	6,300	6,300	6,300	6,300	6,300	6,300	6,300	6,300	6,300	6,300	6,300	6,300		
	Oculto	0	\$48,600.00	12,150	12,150	12,150	12,150	12,150	12,150	12,150	12,150	12,150	12,150	12,150	12,150	12,150	12,150	12,150	12,150	12,150	12,150	12,150	12,150	12,150		
INGRESOS		\$196,300.00	49,075	49,075	49,075	49,075	49,075	49,075	49,075	49,075	49,075	49,075	49,075	49,075	49,075	49,075	49,075	49,075	49,075	49,075	49,075	49,075	49,075	49,075		
RECURSOS HUMANOS	Directo	0	\$5,377.05	1,344	1,344	1,344	1,344	1,344	1,344	1,344	1,344	1,344	1,344	1,344	1,344	1,344	1,344	1,344	1,344	1,344	1,344	1,344	1,344	1,344		
	Directo	0	\$900.00	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225		
	Directo	0	\$1,203.75	301	301	301	301	301	301	301	301	301	301	301	301	301	301	301	301	301	301	301	301	301		
	Directo	0	\$225.00	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56		
	Directo	0	\$63.00	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16		
	Directo	0	\$258.75	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65		
	Directo	0	\$303.60	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76		
	Directo	0	\$651.00	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163		
	Directo	0	\$82.60	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21		
	Directo	0	\$775.00	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194		
	Directo	0	\$120.00	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30		
	Directo	0	\$4,662.00	1,166	1,166	1,166	1,166	1,166	1,166	1,166	1,166	1,166	1,166	1,166	1,166	1,166	1,166	1,166	1,166	1,166	1,166	1,166	1,166	1,166		
	Directo	0	\$666.00	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167		
	Directo	0	\$324.00	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81		
	Directo	0	\$532.00	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133		
Directo	0	\$4,004.00	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001			
MATERIALES	Directo	Colector de Vibraciones	\$60,000.00	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000		
	Directo	Cámara Termográfica	\$15,000.00	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750		
	Directo	Termómetro Ifrarojo	\$600.00	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30		
	Directo	Eq. Analisis de Aceite	\$30,000.00	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500		
	Directo	Lámpara estroboscópica	\$2,500.00	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125		
	Directo	Eq.Ultrasonido Pulso-Eco	\$50,000.00	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500		
	Directo	Alineador laser	\$3,000.00	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150		
	Directo	Eq. Análisis estático de motores eléctricos	\$254,100.00	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000		
	Directo	Eq. Tensión de Correa	\$3,000.00	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150		
	Directo	Eq. Medición de parametros eléctricos	\$2,000.00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
	Directo	Cámara Boroscopia	\$10,000.00	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500		
	Directo	Eq. Ultrasonido Acustico	\$10,000.00	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500		
	Directo	Líquidos penetrantes	\$2,000.00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
	Directo	Partículas Magnéticas	\$2,000.00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
	Directo	Medidor de espesores	\$4,000.00	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200		
COSTES DIRECTOS		\$274,247.75	17,742	17,742	17,742	17,742	17,742	17,742	17,742	17,742	17,742	17,742	17,742	17,742	17,742	17,742	17,742	17,742	17,742	17,742	5,037	5,037	5,037	5,037		
RECURSOS HUMANOS	Indirecto	Gestión de las intervenciones	\$624.00	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156		
	Indirecto	Gerencia de mantenimiento	\$592.25	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148			
	Indirecto	Estructurales	\$270.68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68			
COSTES INDIRECTOS		\$1,486.93	372	372	372	37																				

Anexo 5: Análisis de modos de falla del sistema tiro inducido

ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA

ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO

MÉTODOS DE MONITOREO DE CONDICION

Instalación: Energía.
 Planta: Generación de vapor y energía eléctrica.
 Sistema: Tiro inducido.

SISTEMA	FUNCION	FALLA FUNCIONAL	EQUIPO	MODOS DE FALLA	EFECTO DE FALLA	CONSECUENCIA DE FALLA	ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO	PARAMETRO A MEDIR	TECNICA DE MEDICION	FRECUENCIA DE MONITOREO
Tiro inducido #1 de caldera #6	Extraer gases de combustion a -0.07 INH2O A 890 RPM	Incapacidad de extraer gases	Motor	Falla de aislamientos en cables de alimentacion electrica de motores	Genera cortocircuito y provoca que las bobinas de motor se cortocircuiten. Hay paro total del movimiento del motor	Perdida parcial de extraccion de gases de combustion, disminucion de generacion de vapor y de energia por 2 horas para remplazo de cables electricos	Estrategia basada en condicion	Aislamiento (ohm)	Megometro	Semestral
Tiro inducido #1 de caldera #6	Extraer gases de combustion a -0.07 INH2O A 890 RPM	Incapacidad de extraer gases	Motor	Falla en aislante de bobinas de motor	Genera cortocircuito en devanado y paro total del movimiento del motor	Perdida parcial de extraccion de gases de combustion, disminucion de generacion de vapor y de energia por 4 horas para remplazo de motor	Estrategia basada en condicion	Aislamiento (ohm)	Megometro	Semestral
Tiro inducido #1 de caldera #6	Extraer gases de combustion a -0.07 INH2O A 890 RPM	Incapacidad de extraer gases	Motor	Falla en rodamientos de motor	Genera aumento de temperatura en motor, vibraciones, desbalances y reduccion de velocidad en el motor.	Perdida parcial de extraccion de gases de combustion, disminucion de generacion de vapor y de energia por 4 horas para remplazo de motor	Estrategia basada en condicion	Vibraciones	Analisis vibracional	Cada 8 horas
Tiro inducido #1 de caldera #6	Extraer gases de combustion a -0.07 INH2O A 890 RPM	Incapacidad de extraer gases	Motor	Falla por interrupcion de fase a motor	Sobrecalentamiento en motor. Riesgo a cortocircuito en devanado. Paro total de movimiento del motor	Perdida parcial de extraccion de gases de combustion, disminucion de generacion de vapor y de energia por 2 horas para remplazo de borne de conexión	Estrategia basada en condicion	*Temperatura. *Aumento de corriente en fases.	*Termografia infrarroja. *Analizador de redes de potencia.	Mensual
Tiro inducido #1 de caldera #6	Extraer gases de combustion a -0.07 INH2O A 890 RPM	Incapacidad de extraer gases	Motor	Falla en driver de motor	Falta de suministro de energia al motor. Paro completo de movimiento	Perdida parcial de extraccion de gases de combustion, disminucion de generacion de vapor y de energia por 4 horas para remplazo de driver	*Estrategia basada en condicion *Estrategia correctiva.	*Aislamiento (ohm). *N/A	*Megometro. *N/A	Trimestral.
Tiro inducido #1 de caldera #6	Extraer gases de combustion a -0.07 INH2O A 890 RPM	Incapacidad de extraer gases	Ventilador	Desgaste o torcion en eje de ventilador	Provoca alta vibracion, desbalance en ventilador y ruptura completa de eje.	Perdida parcial de extraccion de gases de combustion, disminucion de generacion de vapor y de energia por 12 horas para remplazo de eje; o perdida total de extraccion de gases.	*Estrategia basada en condicion.	*Vibraciones. *Discontinuidad.	*Analisis vibracional. *Liquidos penetrantes.	*Cada 8 horas. *Semestral.
Tiro inducido #1 de caldera #6	Extraer gases de combustion a -0.07 INH2O A 890 RPM	Incapacidad de extraer gases	Ventilador	falla en rodamientos de chumaceras	Desgaste de eje del ventilador	Perdida parcial de extraccion de gases de combustion, disminucion de generacion de vapor y de energia por 2 horas para remplazo de rodamiento.	*Estrategia basada en condicion.	Vibraciones	Analisis vibracional	Cada 8 horas
Tiro inducido #1 de caldera #6	Extraer gases de combustion a -0.07 INH2O A 890 RPM	Incapacidad de extraer gases	Ventilador	Grieta en eje de ventilador	Quebradura de eje de ventilador	Perdida parcial de extraccion de gases de combustion, disminucion de generacion de vapor y de energia por 12 horas para remplazo de eje; o perdida total de extraccion de gases.	*Estrategia basada en condicion.	*Acumulacion de particulas magneticas. *Tiempo de rebote del sonido.	*Particulas magneticas. *Ultrasonido pulso eco.	*Semestral. *Mensual.
Tiro inducido #1 de caldera #6	Extraer gases de combustion a -0.07 INH2O A 890 RPM	Incapacidad de extraer gases	Ventilador	desgastes en alabes de ventilador	desbalance de ventilador	Perdida parcial de extraccion de gases de combustion, disminucion de generacion de vapor y de energia por 4 horas para reparacion de alabes	*Estrategia basada en condicion.	*Tiempo de rebote del sonido.	*Medidor de espesores.	Semestral
Tiro inducido #1 de caldera #6	Extraer gases de combustion a -0.07 INH2O A 890 RPM	Incapacidad de extraer gases	Estructura	Grietas, desgastes y rotura de estructura	Fugas de gases de combustion	Perdida parcial de extraccion de gases de combustion, disminucion de generacion de vapor y de energia por 1 hora para reparacion de estructura	*Estrategia basada en condicion.	*Tiempo de rebote del sonido. *Discontinuidad.	*Medidor de espesores. *Liquido penetrante.	Semestral
Tiro inducido #1 de caldera #6	Extraer gases de combustion a -0.07 INH2O A 890 RPM	Incapacidad de extraer gases	Chumacera	Quebradura en rodamientos	Desgaste en eje de ventilador, perdida de velocidad y aumento de temperatura de eje	Perdida parcial de extraccion de gases de combustion, disminucion de generacion de vapor y de energia por 1 hora para reparacion de estructura	*Estrategia basada en condicion.	*Vibraciones.	*Analisis vibracional	Semestral
Tiro inducido #1 de caldera #6	Extraer gases de combustion a -0.07 INH2O A 890 RPM	Incapacidad de extraer gases	Chumacera	Lubricación inadecuada en rodamiento	Desgaste de rodamiento y aumento de temperatura	Perdida parcial de extraccion de gases de combustion, disminucion de generacion de vapor y de energia por 1 hora para reparacion de estructura	*Estrategia basada en condicion.	*Vibraciones. *Sonido alta frecuencia. *Temperatura.	*Analisis vibracional. *Ultrasonido acustico. *Temperatura infrarroja.	* cada 8 horas. * Semanal. *cada 8 horas.

Anexo 6: Análisis de modos de falla del sistema bomba de alimentación caldera

ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA	ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO	METODOS DE MONITOREO DE CONDICION
----------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

Instalación: Energía.

Planta: Generacion de vapor y energia electrica.

Sistema: Bomba de alimentacion caldera.

SISTEMA	FUNCION	FALLA FUNCIONAL	EQUIPO	MODOS DE FALLA	EFECTO DE FALLA	CONSECUENCIA DE FALLA	ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO	PARAMETRO A MEDIR	TECNICA DE MEDICION	FRECUENCIA DE MONITOREO
Sistema de Bombeo de Alimentacion Caldera	Bombear agua a 670 GPMgalones por minuto a una presion de 1300 PSI	Incapacidad de inyectar agua a caldera	Motor	Falla de aislamientos en cables de alimentacion electrica de motores	Genera cortocircuito y proboca que las bobinas de motor se cortocircuiten. Hay paro total del movimiento del motor. Se activan los dispositivos de proteccion de la caldera.	Por seguridad la caldera cierras valvulas para mantener los niveles minimos de agua. La caldera deja de generar vapor hasta que la instalacion de la bomba de reserva(tiempo aproximado 2hrs)	Estrategia basada en condicion	Aislamiento (ohm)	Megometro	Semestral
Sistema de Bombeo de Alimentacion Caldera	Bombear agua a 670 GPMgalones por minuto a una presion de 1300 PSI	Incapacidad de inyectar agua a caldera	Motor	Falla en aislante de bobinas de motor	Genera cortocircuito en devanado y paro total del movimiento del motor	Por seguridad la caldera cierras valvulas para mantener los niveles minimos de agua. La caldera deja de generar vapor hasta que la instalacion de la bomba de reserva(tiempo aproximado 2hrs)	Estrategia basada en condicion	Aislamiento (ohm)	Megometro	Semestral
Sistema de Bombeo de Alimentacion Caldera	Bombear agua a 670 GPMgalones por minuto a una presion de 1300 PSI	Incapacidad de inyectar agua a caldera	Motor	Falla en rodamientos de motor	Genera aumento de temperatura en motor, vibraciones, desbalances y reduccion de velocidad en el motor.	Necesidad de sacar de operacion la caldera para realizar cambio de bomba por la de reserva y reparar la bomba en mal estado.	Estrategia basada en condicion	Vibraciones	Analisis vibracional	Cada 8 horas
Sistema de Bombeo de Alimentacion Caldera	Bombear agua a 670 GPMgalones por minuto a una presion de 1300 PSI	Incapacidad de inyectar agua a caldera	Motor	Falla por interrupcion de fase a motor	Sobrecalentamiento en motor. Riesgo a cortocircuito en devanado. Paro total de movimiento del motor	Necesidad de sacar de operacion la caldera para realizar cambio de bomba por la de reserva y reparar la bomba en mal estado.	Estrategia basada en condicion	*Temperatura. *Aumento de corriente en fases.	*Termografia infrarroja. *Analizador de redes de potencia.	Mensual
Sistema de Bombeo de Alimentacion Caldera	Bombear agua a 670 GPMgalones por minuto a una presion de 1300 PSI	Incapacidad de inyectar agua a caldera	Motor	Falla en driver de motor	Falta de suministro de energia al motor. Paro completo de movimiento	Necesidad de sacar de operacion la caldera para realizar cambio de bomba por la de reserva y reparar la bomba en mal estado.	*Estrategia basada en condicion *Estrategia correctiva.	*Aislamiento (ohm). *N/A	*Megometro. *N/A	Trimestral.
Sistema de Bombeo de Alimentacion Caldera	Bombear agua a 670 GPMgalones por minuto a una presion de 1300 PSI	Incapacidad de inyectar agua a caldera	Bomba	Impulsor de bomba quebrado	Desbalance en eje de motor probocando sobre calentamiento en motor y bomba.	Necesidad de sacar de operacion la caldera para realizar cambio de bomba por la de reserva y reparar la bomba en mal estado.	Estrategia basada en condicion	*Acumulcion de particulas magneticas. *Discontinuidad.	*Particulas magneticas. *Liquido penetrantes.	Semestral
Sistema de Bombeo de Alimentacion Caldera	Bombear agua a 670 GPMgalones por minuto a una presion de 1300 PSI	Incapacidad de inyectar agua a caldera	Bomba	Daño en empaques o carcasa de Bomba	Perdida de caudal que es inyectado a caldera	Necesidad de sacar de operacion la caldera para realizar cambio de bomba por la de reserva y reparar la bomba en mal estado.	Estrategia preventiva	N/A	N/A	Semestral
Sistema de Bombeo de Alimentacion Caldera	Bombear agua a 670 GPMgalones por minuto a una presion de 1300 PSI	Incapacidad de mantener presion requerida	Bomba	Grieta en carcasa de bomba	Perdida de presion de gua de alimentacion a caldera	Necesidad de sacar de operacion la caldera para realizar cambio de bomba por la de reserva y reparar la bomba en mal estado.	Estrategia basada en condicion	*Discontinuidad	*Liquidos penetrantes.	Semestral
Sistema de Bombeo de Alimentacion Caldera	Bombear agua a 670 GPMgalones por minuto a una presion de 1300 PSI	Ineficiencia en bombeo de bomba	Bomba	Bomba desalineada	Alta vribracion, aumento de consumo de energia y de temperatura	Necesidad de sacar de operacion la caldera para realizar cambio de bomba por la de reserva y reparar la bomba en mal estado.	Estrategia basada en condicion	*Distancia.	*Alineador laser	Semestral
Sistema de Bombeo de Alimentacion Caldera	Bombear agua a 670 GPMgalones por minuto a una presion de 1300 PSI	Perdida de presion requerida	Bomba	Desgaste en impulsor	Aumento consumo de energia, alimentacion insuficiente de agua a caldera.	Necesidad de sacar de operacion la caldera para realizar cambio de bomba por la de reserva y reparar la bomba en mal estado.	Estrategia basada en condicion	*Tiempo de rebote del sonido.	*Medidor de espesor.	Semestral

Anexo 7: Estructura de costos aplicando mantenimiento basado en condición con principios de ISO 17359

ESTRUCTURA DE COSTES.

Generación de Vapor y Energía Eléctrica.

			ESTRUCTURA DE COSTES												
GRUPO DE COSTE	TIPO DE COSTE	CONCEPTO	HORAS /AÑO	%	AMORTIZACIÓN /AÑO (\$)	\$/AÑO (materiales, producción, MO total)	KW DE PRODUCCIÓN	\$/ HORA	\$/ DIRECTO	\$/ INDIRECTO	\$/ OCULTO	TOTAL \$/ AÑO	% POR GRUPO DE COSTE	% RESPECTO EL TOTAL	
RECURSOS HUMANOS	Directo	Análisis de vibraciones	1,166.6					3.0	3,500			\$3,499.80	18.4%	1.3%	7.1%
	Directo	Termografía	226.8					3.0	680			\$680.40	3.6%	0.3%	
	Directo	Temperatura infrarroja	895.5					1.0	896			\$895.50	4.7%	0.3%	
	Directo	Análisis de aceite	72.0					3.0	216			\$216.00	1.1%	0.1%	
	Directo	Lámpara estroboscópica	47.8					1.0	48			\$47.80	0.3%	0.0%	
	Directo	Ultrasonido pulso eco	66.8					3.0	200			\$200.25	1.1%	0.1%	
	Directo	Alineado laser de poleas	141.9					2.0	284			\$283.80	1.5%	0.1%	
	Directo	Análisis estático de motores eléctricos	217.0					3.0	651			\$651.00	3.4%	0.2%	
	Directo	Tensión de Correa	38.5					2.0	77			\$77.00	0.4%	0.0%	
	Directo	Medición de parametros eléctricos	247.5					2.0	495			\$495.00	2.6%	0.2%	
	Directo	Boroscopia	40.0					3.0	120			\$120.00	0.6%	0.0%	
	Directo	Ultrasonido Acustico	1,052.5					3.0	3,158			\$3,157.50	16.6%	1.2%	
	Directo	Líquidos penetrantes	333.0					2.0	666			\$666.00	3.5%	0.3%	
	Directo	Partículas Magnéticas	162.0					2.0	324			\$324.00	1.7%	0.1%	
	Directo	Medición de espesores	532.0					1.0	532			\$532.00	2.8%	0.2%	
	Directo	Supervisión	1,144.0					4	4,004			\$4,004.00	21.1%	1.5%	
Directo	Gestión de las intervenciones	300					1	300			\$300.00	1.6%	0.1%		
Indirecto	Administrativo - Jefatura			15						2,378		\$2,377.51	12.5%	0.9%	
Indirecto	Estructurales			3						476		\$475.50	2.5%	0.2%	
MATERIALES	Directo	Colector de Vibraciones			12,000				12,000			\$12,000.00	23.6%	4.5%	19.1%
	Directo	Cámara Termográfica			3,000				3,000			\$3,000.00	5.9%	1.1%	
	Directo	Termómetro Infrarrojo			120				120			\$120.00	0.2%	0.0%	
	Directo	Eq. Analisis de Aceite			6,000				6,000			\$6,000.00	11.8%	2.3%	
	Directo	Lámpara estroboscópica			500				500			\$500.00	1.0%	0.2%	
	Directo	Eq.Ultrasonido Pulso-Eco			10,000				10,000			\$10,000.00	19.7%	3.8%	
	Directo	Alineador laser			600				600			\$600.00	1.2%	0.2%	
	Directo	Eq. Análisis estático de motores eléctricos			12,000				12,000			\$12,000.00	23.6%	4.5%	
	Directo	Eq. Tensión de Correa			600				600			\$600.00	1.2%	0.2%	
	Directo	Eq. Medición de parametros eléctricos			400				400			\$400.00	0.8%	0.2%	
	Directo	Cámara Boroscopia			2,000				2,000			\$2,000.00	3.9%	0.8%	
	Directo	Eq. Ultrasonido Acustico			2,000				2,000			\$2,000.00	3.9%	0.8%	
	Directo	Líquidos penetrantes			400				400			\$400.00	0.8%	0.2%	
	Directo	Partículas Magnéticas			400				400			\$400.00	0.8%	0.2%	
	Directo	Medidor de espesores			800				800			\$800.00	1.6%	0.3%	
CONOCIMIENTO	Oculto	Análisis de vibraciones				1,600					1,600	\$1,600.00	4.0%	0.6%	14.9%
	Oculto	Termografía				1,200					1,200	\$1,200.00	3.0%	0.5%	
	Oculto	Temperatura infrarroja				100					100	\$100.00	0.3%	0.0%	
	Oculto	Análisis de aceite				800					800	\$800.00	2.0%	0.3%	
	Oculto	Lámpara estroboscópica				100					100	\$100.00	0.3%	0.0%	
	Oculto	Ultrasonido Pulso Eco				1,200					1,200	\$1,200.00	3.0%	0.5%	
	Oculto	Alineado laser de ejes				200					200	\$200.00	0.5%	0.1%	
	Oculto	Análisis estático de motores eléctricos				800					800	\$800.00	2.0%	0.3%	
	Oculto	Tensión de Correa				100					100	\$100.00	0.3%	0.0%	
	Oculto	Medición de parametros eléctricos				200					200	\$200.00	0.5%	0.1%	
	Oculto	Boroscopia				1,600					1,600	\$1,600.00	4.0%	0.6%	
	Oculto	Ultrasonido Acustico				1,200					1,200	\$1,200.00	3.0%	0.5%	
	Oculto	Líquidos penetrantes				200					200	\$200.00	0.5%	0.1%	
	Oculto	Partículas Magnéticas				200					200	\$200.00	0.5%	0.1%	
	Oculto	Medición de espesores				100					100	\$100.00	0.3%	0.0%	
	Oculto	Experiencia				30,000					30,000	\$30,000.00	75.8%	11.3%	
OPORTUNIDAD	Oculto	Recambios ahorrados		5		\$ 200,000.00					10,000	\$10,000.00	6.4%	3.8%	58.9%
	Oculto	Aumento productividad		1		\$ 7,290,000.00					72,900	\$72,900.00	46.5%	27.4%	
	Oculto	MO total ahorrada		5					8,400	4,200	12,600	\$25,200.00	16.1%	9.5%	
	Oculto	Ahorro energético ALI	3600	1			18000	0.075			48,600	\$48,600.00	31.0%	18.3%	

Anexo 8: Cuenta de resultados aplicando mantenimiento basado en condición con principios de ISO 17359

CUENTA DE RESULTADOS SECCIÓN GENERACIÓN DE VAPOR Y ENERGÍA ELECTRICA

			TOTAL	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
CONOCIMIENTO	Oculto	Análisis de vibraciones	\$1,600.00										\$1,600.00		
	Oculto	Termografía	\$1,200.00									\$1,200.00			
	Oculto	Temperatura infrarroja	\$100.00								\$100.00				
	Oculto	Análisis de aceite	\$800.00				\$800.00								
	Oculto	Lámpara estroboscópica	\$100.00								\$100.00				
	Oculto	Ultrasonido Pulso Eco	\$1,200.00				\$1,200.00								
	Oculto	Alineado laser de ejes	\$200.00								\$200.00				
	Oculto	Análisis estático de motores eléctricos	\$800.00				\$800.00								
	Oculto	Tensión de Correa	\$100.00									\$100.00			
	Oculto	Medición de parametros eléctricos	\$200.00								\$200.00				
	Oculto	Boroscopia	\$1,600.00			\$1,600.00									
	Oculto	Ultrasonido Acustico	\$1,200.00								\$1,200.00				
	Oculto	Líquidos penetrantes	\$200.00				\$200.00								
	Oculto	Partículas Magnéticas	\$200.00				\$200.00								
	Oculto	Medición de espesores	\$100.00				\$100.00								
	Oculto	Experiencia	\$30,000.00	\$2,500.00	\$2,500.00	\$2,500.00	\$2,500.00	\$2,500.00	\$2,500.00	\$2,500.00	\$2,500.00	\$2,500.00	\$2,500.00	\$2,500.00	\$2,500.00
OPORTUNIDAD	Oculto	Recambios ahorrados	\$10,000.00					\$1,666.67	\$1,666.67	\$1,666.67	\$1,666.67	\$1,666.67	\$1,666.67		
	Oculto	Aumento productividad	\$72,900.00	\$12,150.00	\$12,150.00	\$12,150.00	\$12,150.00							\$12,150.00	\$12,150.00
	Oculto	MO total ahorrada	\$25,200.00	\$2,100.00	\$2,100.00	\$2,100.00	\$2,100.00	\$2,100.00	\$2,100.00	\$2,100.00	\$2,100.00	\$2,100.00	\$2,100.00	\$2,100.00	\$2,100.00
	Oculto	Ahorro energético ALI	\$48,600.00	\$8,100.00	\$8,100.00	\$8,100.00	\$8,100.00							\$8,100.00	\$8,100.00
INGRESOS			\$196,300.00	\$24,850.00	\$24,850.00	\$26,450.00	\$28,150.00	\$6,266.67	\$6,266.67	\$6,266.67	\$8,066.67	\$7,566.67	\$7,866.67	\$24,850.00	\$24,850.00
RECURSOS HUMANOS	Directo	Análisis de vibraciones	\$3,499.80	\$583.30	\$583.30	\$583.30	\$583.30							\$583.30	\$583.30
	Directo	Termografía	\$680.40	\$113.40	\$113.40	\$113.40	\$113.40							\$113.40	\$113.40
	Directo	Temperatura infrarroja	\$895.50	\$149.25	\$149.25	\$149.25	\$149.25							\$149.25	\$149.25
	Directo	Análisis de aceite	\$216.00	\$36.00	\$36.00	\$36.00	\$36.00							\$36.00	\$36.00
	Directo	Lámpara estroboscópica	\$47.80	\$7.97	\$7.97	\$7.97	\$7.97							\$7.97	\$7.97
	Directo	Ultrasonido pulso eco	\$200.25	\$33.38	\$33.38	\$33.38	\$33.38							\$33.38	\$33.38
	Directo	Alineado laser de poleas	\$283.80	\$47.30	\$47.30	\$47.30	\$47.30							\$47.30	\$47.30
	Directo	Análisis estático de motores eléctricos	\$651.00	\$108.50	\$108.50	\$108.50	\$108.50							\$108.50	\$108.50
	Directo	Tensión de Correa	\$77.00	\$12.83	\$12.83	\$12.83	\$12.83							\$12.83	\$12.83
	Directo	Medición de parametros eléctricos	\$495.00	\$82.50	\$82.50	\$82.50	\$82.50							\$82.50	\$82.50
	Directo	Boroscopia	\$120.00	\$20.00	\$20.00	\$20.00	\$20.00							\$20.00	\$20.00
	Directo	Ultrasonido Acustico	\$3,157.50	\$526.25	\$526.25	\$526.25	\$526.25							\$526.25	\$526.25
	Directo	Líquidos penetrantes	\$666.00						\$111.00	\$111.00	\$111.00	\$111.00	\$111.00	\$111.00	
	Directo	Partículas Magnéticas	\$324.00						\$54.00	\$54.00	\$54.00	\$54.00	\$54.00	\$54.00	
	Directo	Medición de espesores	\$532.00						\$88.67	\$88.67	\$88.67	\$88.67	\$88.67	\$88.67	
	Directo	Supervisión	\$4,004.00	\$333.67	\$333.67	\$333.67	\$333.67	\$333.67	\$333.67	\$333.67	\$333.67	\$333.67	\$333.67	\$333.67	\$333.67
MATERIALES	Directo	Colector de Vibraciones	\$12,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00
	Directo	Cámara Termográfica	\$3,000.00	\$250.00	\$250.00	\$250.00	\$250.00	\$250.00	\$250.00	\$250.00	\$250.00	\$250.00	\$250.00	\$250.00	\$250.00
	Directo	Termómetro Ifrarojo	\$120.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00
	Directo	Eq. Analisis de Aceite	\$6,000.00	\$500.00	\$500.00	\$500.00	\$500.00	\$500.00	\$500.00	\$500.00	\$500.00	\$500.00	\$500.00	\$500.00	\$500.00
	Directo	Lámpara estroboscópica	\$500.00	\$41.67	\$41.67	\$41.67	\$41.67	\$41.67	\$41.67	\$41.67	\$41.67	\$41.67	\$41.67	\$41.67	\$41.67
	Directo	Eq.Ultrasonido Pulso-Eco	\$10,000.00	\$833.33	\$833.33	\$833.33	\$833.33	\$833.33	\$833.33	\$833.33	\$833.33	\$833.33	\$833.33	\$833.33	\$833.33
	Directo	Alineador laser	\$600.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00
	Directo	Eq. Análisis estático de motores eléctricos	\$12,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00
	Directo	Eq. Tensión de Correa	\$600.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00
	Directo	Eq. Medición de parametros eléctricos	\$400.00	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33
	Directo	Cámara Boroscopia	\$2,000.00	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67
	Directo	Eq. Ultrasonido Acustico	\$2,000.00	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67
	Directo	Líquidos penetrantes	\$400.00	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33
	Directo	Partículas Magnéticas	\$400.00	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33
	Directo	Medidor de espesores	\$800.00	\$66.67	\$66.67	\$66.67	\$66.67	\$66.67	\$66.67	\$66.67	\$66.67	\$66.67	\$66.67	\$66.67	\$66.67
	COSTES DIRECTOS			\$66,670.05	\$6,289.34	\$6,289.34	\$6,289.34	\$6,289.34	\$4,822.33	\$4,822.33	\$4,822.33	\$4,822.33	\$4,822.33	\$4,822.33	\$6,289.34
RECURSOS HUMANOS	Indirecto	Gestión de las intervenciones	\$300.00	\$25.00	\$25.00	\$25.00	\$25.00	\$25.00	\$25.00	\$25.00	\$25.00	\$25.00	\$25.00	\$25.00	\$25.00
	Indirecto	Administrativo - Jefatura	\$2,377.51	\$198.13	\$198.13	\$198.13	\$198.13	\$198.13	\$198.13	\$198.13	\$198.13	\$198.13	\$198.13	\$198.13	\$198.13
	Indirecto	Estructurales	\$475.50	\$39.63	\$39.63	\$39.63	\$39.63	\$39.63	\$39.63	\$39.63	\$39.63	\$39.63	\$39.63	\$39.63	\$39.63
COSTES INDIRECTOS			\$3,153.01	\$262.75	\$262.75	\$262.75	\$262.75	\$262.75	\$262.75	\$262.75	\$262.75	\$262.75	\$262.75	\$262.75	\$262.75
RESULTADO			\$126,476.94	\$18,297.91	\$18,297.91	\$19,897.91	\$21,597.91	\$1,181.58	\$1,181.58	\$1,181.58	\$2,981.58	\$2,481.58	\$2,781.58	\$18,297.91	\$18,297.91

Anexo 9: Análisis de ROI aplicando mantenimiento basado en condición con principios de ISO 17359

ANALISIS DE RETORNO DE INVERSION APLICANDO MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICION CON PRINCIPIOS DE ISO 17359

	TOTAL ANUAL INVERSIÓN	1er AÑO				2º AÑO				3er AÑO				4to AÑO				5to AÑO				6to AÑO				
		1T	2T	3T	4T	1T	2T	3T	4T	1T	2T	3T	4T	1T	2T	3T	4T	1T	2T	3T	4T	1T	2T	3T	4T	
CONOCIMIENTO	Oculto Análisis de vibraciones	\$1,600.00	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
	Oculto Termografía	\$1,200.00	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
	Oculto Temperatura infrarroja	\$100.00	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	Oculto Análisis de aceite	\$800.00	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	Oculto Lámpara estroboscópica	\$100.00	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	Oculto Ultrasonido Pulso Eco	\$1,200.00	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
	Oculto Alineado laser de ejes	\$200.00	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	Oculto Análisis estático de motores eléctricos	\$800.00	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	Oculto Tensión de Correa	\$100.00	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	Oculto Medición de parametros eléctricos	\$200.00	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	Oculto Boroscopia	\$1,600.00	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
	Oculto Ultrasonido Acustico	\$1,200.00	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
	Oculto Líquidos penetrantes	\$200.00	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	Oculto Partículas Magnéticas	\$200.00	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	Oculto Medición de espesores	\$100.00	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Oculto Experiencia	\$30,000.00	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	
OPORTUNIDAD	Oculto Recambios ahorrados	\$10,000.00	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500
	Oculto Aumento productividad	\$72,900.00	18,225	18,225	18,225	18,225	18,225	18,225	18,225	18,225	18,225	18,225	18,225	18,225	18,225	18,225	18,225	18,225	18,225	18,225	18,225	18,225	18,225	18,225	18,225	18,225
	Oculto MO total ahorrada	\$25,200.00	6,300	6,300	6,300	6,300	6,300	6,300	6,300	6,300	6,300	6,300	6,300	6,300	6,300	6,300	6,300	6,300	6,300	6,300	6,300	6,300	6,300	6,300	6,300	6,300
	Oculto Ahorro energético ALI	\$48,600.00	12,150	12,150	12,150	12,150	12,150	12,150	12,150	12,150	12,150	12,150	12,150	12,150	12,150	12,150	12,150	12,150	12,150	12,150	12,150	12,150	12,150	12,150	12,150	12,150
INGRESOS	\$196,300.00	49,075	49,075	49,075	49,075	49,075	49,075	49,075	49,075	49,075	49,075	49,075	49,075	49,075	49,075	49,075	49,075	49,075	49,075	49,075	49,075	49,075	49,075	49,075	49,075	

RECURSOS HUMANOS	Directo Análisis de vibraciones	\$3,499.80	875	875	875	875	875	875	875	875	875	875	875	875	875	875	875	875	875	875	875	875	875	875	875	875
	Directo Termografía	\$680.40	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170
	Directo Temperatura infrarroja	\$895.50	224	224	224	224	224	224	224	224	224	224	224	224	224	224	224	224	224	224	224	224	224	224	224	224
	Directo Análisis de aceite	\$216.00	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
	Directo Lámpara estroboscópica	\$47.80	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	Directo Ultrasonido pulso eco	\$200.25	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	Directo Alineado laser de poleas	\$283.80	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71
	Directo Análisis estático de motores eléctricos	\$651.00	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163
	Directo Tensión de Correa	\$77.00	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
	Directo Medición de parametros eléctricos	\$495.00	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124
	Directo Boroscopia	\$120.00	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	Directo Ultrasonido Acustico	\$3,157.50	789	789	789	789	789	789	789	789	789	789	789	789	789	789	789	789	789	789	789	789	789	789	789	789
	Directo Líquidos penetrantes	\$666.00	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167
	Directo Partículas Magnéticas	\$324.00	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81
	Directo Medición de espesores	\$532.00	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133
Directo Supervisión	\$4,004.00	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	
MATERIALES	Directo Colector de Vibraciones	\$60,000.00	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	0	0	0	0
	Directo Cámara Termográfica	\$15,000.00	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	0	0	0	0
	Directo Termómetro Ifrarojo	\$600.00	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	0	0	0	0
	Directo Eq. Analisis de Aceite	\$30,000.00	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	0	0	0	0
	Directo Lámpara estroboscópica	\$2,500.00	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	0	0	0	0
	Directo Eq. Ultrasonido Pulso-Eco	\$50,000.00	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	0	0	0	0
	Directo Alineador laser	\$3,000.00	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	0	0	0	0
	Directo Eq. Análisis estático de motores eléctricos	\$254,100.00	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	0	0	0	0
	Directo Eq. Tensión de Correa	\$3,000.00	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	0	0	0	0
	Directo Eq. Medición de parametros eléctricos	\$2,000.00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0
	Directo Cámara Boroscopia	\$10,000.00	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	0	0	0	0
	Directo Eq. Ultrasonido Acustico	\$10,000.00	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	0	0	0	0
	Directo Líquidos penetrantes	\$2,000.00	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0
	Directo Partículas Magnéticas	\$2,000.00																								

Anexo 10: Matriz de criticidad con factor de vulnerabilidad

			MATRIZ DE CRITICIDAD CON FACTOR DE VULNERABILIDAD																																		
			SEGURIDAD INDUSTRIAL (SI)					MEDIO AMBIENTE (MA)					IMPACTO EN PRODUCCIÓN (IP)					CALIDAD DEL PRODUCTO (QP)			MANTENIBILIDAD (MA)			REGIMEN DE TRABAJO (RT)		FRECUENCIA DE FALLO (FF)				C		O	FACTOR DE CRITICIDAD				
			5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	2.5	1	5	2.5	1	4	2	1	4	3	2	1	C = (s x si) + (m x ma) + (n x qp) + (r x rt)		O = (ip + ff) + (q x ff)	FACTOR DE CRITICIDAD			
			de factor, calificar el cual no indica el grado de vulnerabilidad en el proceso de un equipo rotativo																																		
INSTALACION	PLANTA	NOMBRE DE SISTEMA	FACTOR DE VULNERABILIDAD																																		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA BOMBEO NO 1 SATURADOR VAPOR FAB	BAJO					X					X					X					X				X	13	2.8	MEDIO					RUTAS DE MONITOREO		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA BOMBEO NO 1 AGUA CALIENTE	BAJO		X																						X	13	2.8	MEDIO					RUTAS DE MONITOREO		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA BOMBEO NO 2 AGUA CALIENTE	BAJO	X																							X	13	2.8	MEDIO					RUTAS DE MONITOREO		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA BOMBEO NO 1 AGUA DEAREADOR	BAJO		X																						X	13	2.8	MEDIO					RUTAS DE MONITOREO		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA BOMBEO NO 1 AGUA TANQUE NO 5	BAJO		X																						X	13	2.8	MEDIO					RUTAS DE MONITOREO		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA ENTRADA AGUA A DEAREADORES	BAJO			X										X						X					X	13	2.8	MEDIO					RUTAS DE MONITOREO		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA ENTRADA VAPOR A DEAREADORES	BAJO			X										X						X					X	10	2.2	NC					NO APLICA		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA DESAIRADO DE GASES DEAREADORES	BAJO			X										X						X					X	10	2.2	NC					NO APLICA		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA BOMBEO NO1 ALIMENTACION CALDERAS	MEDIO		X							X	X					X				X	X				X	28	2.8	CRITICO					MONITOREO AUTOMATICO		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA BOMBEO NO2 ALIMENTACION CALDERAS	MEDIO	X								X	X					X				X	X				X	28	2.8	CRITICO					MONITOREO AUTOMATICO		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA BOMBEO NO3 ALIMENTACION CALDERAS	MEDIO	X								X	X					X				X	X				X	28	2.8	CRITICO					MONITOREO AUTOMATICO		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA BOMBEO NO4 ALIMENTACION CALDERAS	MEDIO	X								X	X					X				X	X				X	28	2.8	CRITICO					MONITOREO AUTOMATICO		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA BOMBEO NOS ALIMENTACION CALDERAS	MEDIO	X								X	X					X				X	X				X	28	2.8	CRITICO					MONITOREO AUTOMATICO		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA ENFRIAMIENTO TURBINA BOMBA NO 2	BAJO			X						X				X						X	X				X	13	2.8	MEDIO					RUTAS DE MONITOREO		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA ENFRIAMIENTO TURBINA BOMBA NO 4	BAJO			X						X				X						X	X				X	13	2.8	MEDIO					RUTAS DE MONITOREO		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA BOMBEO NO 2 SATURADOR VAPOR FAB	BAJO		X											X						X	X				X	13	2.8	MEDIO					RUTAS DE MONITOREO		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA INTERCAMBIADOR AGUA DESMIN	BAJO		X							X	X			X						X	X				X	16	2.8	MEDIO					RUTAS DE MONITOREO		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA DEAREADOR NO 1	BAJO		X							X				X						X	X				X	16	2.2	NC					NO APLICA		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA FILTRO MANGA AGUA CALDERA NO 6	BAJO		X							X				X						X	X				X	10	2.2	NC					NO APLICA		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA TANQUE NO 1 AGUA CALIENTE	BAJO		X							X				X						X	X				X	13	2.2	NC					NO APLICA		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA TANQUE NO 2 AGUA CALIENTE	BAJO		X							X				X						X	X				X	13	2.2	NC					NO APLICA		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA TANQUE NO 3 AGUA CALIENTE	BAJO		X							X				X						X	X				X	13	2.2	NC					NO APLICA		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA TANQUE NO 5 AGUA CALIENTE	BAJO		X							X				X						X	X				X	13	2.2	NC					NO APLICA		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA SALIDA AGUA DEAREADORES	BAJO			X						X				X						X	X				X	16	2.2	NC					NO APLICA		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA TANQUE DE DEAREADORES	BAJO		X							X				X						X	X				X	13	2.2	NC					NO APLICA		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA ALIMENTADOR NO 1 BAGAZO GV5	ALTO		X							X				X						X	X				X	10	2.8	MEDIO					MONITOREO AUTOMATICO		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA ALIMENTADOR NO 2 BAGAZO GV5	ALTO		X							X				X						X	X				X	10	2.8	MEDIO					MONITOREO AUTOMATICO		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA ALIMENTADOR NO 3 BAGAZO GV5	ALTO		X							X				X						X	X				X	10	2.8	MEDIO					MONITOREO AUTOMATICO		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA ALIMENTADOR NO 4 BAGAZO GV5	ALTO		X							X				X						X	X				X	10	2.8	MEDIO					MONITOREO AUTOMATICO		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA ALIMENTADOR NO 5 BAGAZO GV5	ALTO		X							X				X						X	X				X	10	2.8	MEDIO					MONITOREO AUTOMATICO		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA ALIMENTADOR NO 6 BAGAZO GV5	ALTO		X							X				X						X	X				X	10	2.8	MEDIO					MONITOREO AUTOMATICO		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA VENTILADORES DE TURBULENCIA GV5	MEDIO		X							X	X			X						X	X				X	23.5	2.2	CRITICO					MONITOREO AUTOMATICO		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA VENTILADOR SOBRE FUEGO GV5	MEDIO		X							X	X			X						X	X				X	26	2.2	CRITICO					MONITOREO AUTOMATICO		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA TIRO FORZADO GV5	MEDIO			X						X	X			X						X	X				X	26.5	2.2	CRITICO					MONITOREO AUTOMATICO		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA TIRO INDUCIDO NO 1 GV5	ALTO		X							X				X						X	X				X	26	4	CRITICO					MONITOREO CONTINUO		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA TIRO INDUCIDO NO 2 GV5	ALTO		X							X				X						X	X				X	26	4	CRITICO					MONITOREO CONTINUO		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA CALDERA NO 5 DE VAPOR	BAJO		X							X				X						X	X				X	31	2.8	CRITICO					MONITOREO AUTOMATICO		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA CALENTADOR DE AIRE CALDERA NO 5	BAJO			X						X				X						X	X				X	20	2.2	MEDIO					RUTAS DE MONITOREO		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA ECONOMICIZADOR CALDERA NO 5	BAJO			X						X				X						X	X				X	10	2.2	NC					NO APLICA		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA CAPTADOR HOLLIN GV5	BAJO		X							X				X						X	X				X	14	2.2	NC					NO APLICA		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA CHIMENEA DE CALDERA NO 5	BAJO		X							X				X						X	X				X	12	2.2	NC					NO APLICA		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA TANQUE DE PURGAS GV5	MEDIO		X							X				X						X	X				X	10	2.2	NC					NO APLICA		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA ALIMENTADOR NO 1 BAGAZO GV6	ALTO		X							X				X						X	X				X	10	2.8	MEDIO					MONITOREO AUTOMATICO		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA ALIMENTADOR NO 2 BAGAZO GV6	ALTO		X							X				X						X	X				X	10	2.8	MEDIO					MONITOREO AUTOMATICO		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA ALIMENTADOR NO 3 BAGAZO GV6	ALTO		X							X				X						X	X				X	10	2.8	MEDIO					MONITOREO AUTOMATICO		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA ALIMENTADOR NO 4 BAGAZO GV6	ALTO		X							X				X						X	X				X	10	2.8	MEDIO					MONITOREO AUTOMATICO		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA ALIMENTADOR NO 5 BAGAZO GV6	ALTO		X							X				X						X	X				X	10	2.8	MEDIO					MONITOREO AUTOMATICO		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA ALIMENTADOR NO 6 BAGAZO GV6	ALTO		X							X				X						X	X				X	10	2.8	MEDIO					MONITOREO AUTOMATICO		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA VENTILADORES DE TURBULENCIA GV6	MEDIO		X							X	X			X						X	X				X	23.5	2.2	CRITICO					MONITOREO AUTOMATICO		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA VENTILADOR SOBRE FUEGO GV6	MEDIO		X							X	X			X						X	X				X	26	2.2	CRITICO					MONITOREO AUTOMATICO		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA TIRO FORZADO GV6	MEDIO		X							X	X			X						X	X				X	26.5	2.2	CRITICO					MONITOREO AUTOMATICO		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA TIRO INDUCIDO NO 1 GV6	ALTO		X							X				X						X	X				X	26	4	CRITICO					MONITOREO CONTINUO		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA TIRO INDUCIDO NO 2 GV6	ALTO		X							X				X						X	X				X	26	4	CRITICO					MONITOREO CONTINUO		
Energía	Generación de vapor	SISTEMA CALDERA NO 6 DE VAPOR	BAJO		X							X				X						X	X				X	31	2.8	CRITICO					MONITOREO AUTOMATICO		
Energía	Generación de vapor																																				

Anexo 11: Estructura de costo aplicando mantenimiento basado en condición con principios de ISO 17359 y mantenimiento 4.0

Generación de Vapor y Energía Eléctrica

			ESTRUCTURA DE COSTES												
GRUPO DE COSTE	TIPO DE COSTE	CONCEPTO	HORAS /AÑO	%	AMORTIZACIÓN /AÑO (\$)	\$/AÑO (materiales, producción, MO total)	KW DE PRODUCCIÓN	\$ / HORA	\$ / DIRECTO	\$ / INDIRECTO	\$ / OCULTO	TOTAL \$ / AÑO	% POR GRUPO DE COSTE	% RESPECTO EL TOTAL	
RECURSOS HUMANOS	Directo	Análisis de vibraciones	162.0					3.0	486			\$486.00	3.4%	0.2%	4.8%
	Directo	Termografía	226.8					3.0	680			\$680.40	4.7%	0.2%	
	Directo	Temperatura infrarroja	31.1					1.0	31			\$31.10	0.2%	0.0%	
	Directo	Análisis de aceite	72.0					3.0	216			\$216.00	1.5%	0.1%	
	Directo	Lámpara estroboscópica	47.8					1.0	48			\$47.80	0.3%	0.0%	
	Directo	Ultrasonido pulso eco	66.8					3.0	200			\$200.25	1.4%	0.1%	
	Directo	Alineado laser de poleas	141.9					2.0	284			\$283.80	2.0%	0.1%	
	Directo	Análisis estático de motores eléctricos	217.0					3.0	651			\$651.00	4.5%	0.2%	
	Directo	Tensión de Correa	38.5					2.0	77			\$77.00	0.5%	0.0%	
	Directo	Medición de parametros eléctricos	247.5					2.0	495			\$495.00	3.4%	0.2%	
	Directo	Boroscopia	40.0					3.0	120			\$120.00	0.8%	0.0%	
	Directo	Ultrasonido Acustico	1,052.5					3.0	3,158			\$3,157.50	21.9%	1.1%	
	Directo	Líquidos penetrantes	333.0					2.0	666			\$666.00	4.6%	0.2%	
	Directo	Partículas Magnéticas	162.0					2.0	324			\$324.00	2.2%	0.1%	
	Directo	Medición de espesores	532.0					1.0	532			\$532.00	3.7%	0.2%	
	Directo	Supervisión	1,144.0					4	4,004			\$4,004.00	27.8%	1.3%	
	Directo	Gestión de las intervenciones	300					1	300			\$300.00	2.1%	0.1%	
Indirecto	Administrativo - Jefatura		15						1,796		\$1,795.78	12.4%	0.6%		
Indirecto	Estructurales		3						359		\$359.16	2.5%	0.1%		
MATERIALES	Directo	Colector de Vibraciones			0				0			\$0.00	0.0%	0.0%	30.0%
	Directo	Cámara Termográfica			3,000				3,000			\$3,000.00	3.4%	1.0%	
	Directo	Termómetro Infrarojo			0				0			\$0.00	0.0%	0.0%	
	Directo	Eq. Analisis de Aceite			6,000				6,000			\$6,000.00	6.7%	2.0%	
	Directo	Lámpara estroboscópica			500				500			\$500.00	0.6%	0.2%	
	Directo	Eq.Ultrasonido Pulso-Eco			10,000				10,000			\$10,000.00	11.2%	3.3%	
	Directo	Alineador laser			600				600			\$600.00	0.7%	0.2%	
	Directo	Eq. Análisis estático de motores eléctricos			12,000				12,000			\$12,000.00	13.4%	4.0%	
	Directo	Eq. Tensión de Correa			600				600			\$600.00	0.7%	0.2%	
	Directo	Eq. Medición de parametros eléctricos			400				400			\$400.00	0.4%	0.1%	
	Directo	Cámara Boroscopia			2,000				2,000			\$2,000.00	2.2%	0.7%	
	Directo	Eq. Ultrasonido Acustico			2,000				2,000			\$2,000.00	2.2%	0.7%	
	Directo	Líquidos penetrantes			400				400			\$400.00	0.4%	0.1%	
	Directo	Partículas Magnéticas			400				400			\$400.00	0.4%	0.1%	
	Directo	Medidor de espesores			800				800			\$800.00	0.9%	0.3%	
	Directo	Equipo de Monitoreo Continuo			20,760				20,760			\$20,760.00	23.2%	7.0%	
	Directo	Equipo de Monitoreo Automático			21,850				21,850			\$21,849.60	24.4%	7.3%	
Directo	Equipo para Rutas			600				600			\$600.00	0.7%	0.2%		
Directo	Servicio de Internet 3G			2,400				2,400			\$2,400.00	2.7%	0.8%		
Directo	Licencia Software de M.Condición			3,200				3,200			\$3,200.00	3.6%	1.1%		
Directo	Servicio de Analisis			2,000				2,000			\$2,000.00	2.2%	0.7%		
CONOCIMIENTOS	Oculto	Análisis de vibraciones				0					0	\$0.00	0.0%	0.0%	12.7%
	Oculto	Termografía				1,200					1,200	\$1,200.00	3.2%	0.4%	
	Oculto	Temperatura infrarroja				0					0	\$0.00	0.0%	0.0%	
	Oculto	Análisis de aceite				800					800	\$800.00	2.1%	0.3%	
	Oculto	Lámpara estroboscópica				100					100	\$100.00	0.3%	0.0%	
	Oculto	Ultrasonido Pulso Eco				1,200					1,200	\$1,200.00	3.2%	0.4%	
	Oculto	Alineado laser de ejes				200					200	\$200.00	0.5%	0.1%	
	Oculto	Análisis estático de motores eléctricos				800					800	\$800.00	2.1%	0.3%	
	Oculto	Tensión de Correa				100					100	\$100.00	0.3%	0.0%	
	Oculto	Medición de parametros eléctricos				200					200	\$200.00	0.5%	0.1%	
	Oculto	Boroscopia				1,600					1,600	\$1,600.00	4.2%	0.5%	
	Oculto	Ultrasonido Acustico				1,200					1,200	\$1,200.00	3.2%	0.4%	
	Oculto	Líquidos penetrantes				200					200	\$200.00	0.5%	0.1%	
	Oculto	Partículas Magnéticas				200					200	\$200.00	0.5%	0.1%	
	Oculto	Medición de espesores				100					100	\$100.00	0.3%	0.0%	
Oculto	Experiencia				30,000					30,000	\$30,000.00	79.2%	10.0%		
OPORTUNIDAD	Oculto	Recambios ahorrados		5		\$ 200,000.00					10,000	\$10,000.00	6.4%	3.3%	52.5%
	Oculto	Aumento productividad		1.0		\$ 7,290,000.00					72,900	\$72,900.00	46.5%	24.4%	
	Oculto	MO total ahorrada		5					8,400	4,200	12,600	\$25,200.00	16.1%	8.4%	
	Oculto	Ahorro energético ALI		3600	1			18000	0.075		48,600	\$48,600.00	31.0%	16.3%	

100.0% 100.0%

Anexo 12: Cuenta de resultados aplicando mantenimiento basado en condición con principios de ISO 17359 y mantenimiento 4.0

CUENTA DE RESULTADOS SECCIÓN GENERACIÓN DE VAPOR Y ENERGÍA ELECTRICA

		TOTAL	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
CONOCIMIENTO	Oculto	Análisis de vibraciones	\$0.00									\$0.00		
	Oculto	Termografía	\$1,200.00								\$1,200.00			
	Oculto	Temperatura infrarroja	\$0.00							\$0.00				
	Oculto	Análisis de aceite	\$800.00				\$800.00							
	Oculto	Lámpara estroboscópica	\$100.00							\$100.00				
	Oculto	Ultrasonido Pulso Eco	\$1,200.00				\$1,200.00							
	Oculto	Alineado laser de ejes	\$200.00							\$200.00				
	Oculto	Análisis estático de motores eléctricos	\$800.00				\$800.00							
	Oculto	Tensión de Correa	\$100.00								\$100.00			
	Oculto	Medición de parametros eléctricos	\$200.00							\$200.00				
	Oculto	Boroscopia	\$1,600.00			\$1,600.00								
	Oculto	Ultrasonido Acustico	\$1,200.00							\$1,200.00				
	Oculto	Líquidos penetrantes	\$200.00				\$200.00							
	Oculto	Partículas Magnéticas	\$200.00				\$200.00							
	Oculto	Medición de espesores	\$100.00				\$100.00							
	Oculto	Experiencia	\$30,000.00	\$2,500.00	\$2,500.00	\$2,500.00	\$2,500.00	\$2,500.00	\$2,500.00	\$2,500.00	\$2,500.00	\$2,500.00	\$2,500.00	\$2,500.00
OPORTUNIDAD	Oculto	Recambios ahorrados	\$10,000.00					\$1,666.67	\$1,666.67	\$1,666.67	\$1,666.67	\$1,666.67	\$1,666.67	
	Oculto	Aumento productividad	\$72,900.00	\$12,150.00	\$12,150.00	\$12,150.00	\$12,150.00						\$12,150.00	\$12,150.00
	Oculto	MO total ahorrada	\$25,200.00	\$2,100.00	\$2,100.00	\$2,100.00	\$2,100.00	\$2,100.00	\$2,100.00	\$2,100.00	\$2,100.00	\$2,100.00	\$2,100.00	\$2,100.00
	Oculto	Ahorro energético ALI	\$48,600.00	\$8,100.00	\$8,100.00	\$8,100.00	\$8,100.00						\$8,100.00	\$8,100.00
INGRESOS		\$194,600.00	\$24,850.00	\$24,850.00	\$26,450.00	\$28,150.00	\$6,266.67	\$6,266.67	\$6,266.67	\$7,966.67	\$7,566.67	\$6,266.67	\$24,850.00	\$24,850.00
RECURSOS HUMANOS	Directo	Análisis de vibraciones	\$486.00	\$81.00	\$81.00	\$81.00	\$81.00						\$81.00	\$81.00
	Directo	Termografía	\$680.40	\$113.40	\$113.40	\$113.40	\$113.40						\$113.40	\$113.40
	Directo	Temperatura infrarroja	\$31.10	\$5.18	\$5.18	\$5.18	\$5.18						\$5.18	\$5.18
	Directo	Análisis de aceite	\$216.00	\$36.00	\$36.00	\$36.00	\$36.00						\$36.00	\$36.00
	Directo	Lámpara estroboscópica	\$47.80	\$7.97	\$7.97	\$7.97	\$7.97						\$7.97	\$7.97
	Directo	Ultrasonido pulso eco	\$200.25	\$33.38	\$33.38	\$33.38	\$33.38						\$33.38	\$33.38
	Directo	Alineado laser de poleas	\$283.80	\$47.30	\$47.30	\$47.30	\$47.30						\$47.30	\$47.30
	Directo	Análisis estático de motores eléctricos	\$651.00	\$108.50	\$108.50	\$108.50	\$108.50						\$108.50	\$108.50
	Directo	Tensión de Correa	\$77.00	\$12.83	\$12.83	\$12.83	\$12.83						\$12.83	\$12.83
	Directo	Medición de parametros eléctricos	\$495.00	\$82.50	\$82.50	\$82.50	\$82.50						\$82.50	\$82.50
	Directo	Boroscopia	\$120.00	\$20.00	\$20.00	\$20.00	\$20.00						\$20.00	\$20.00
	Directo	Ultrasonido Acustico	\$3,157.50	\$526.25	\$526.25	\$526.25	\$526.25						\$526.25	\$526.25
	Directo	Líquidos penetrantes	\$666.00					\$111.00	\$111.00	\$111.00	\$111.00	\$111.00	\$111.00	
	Directo	Partículas Magnéticas	\$324.00					\$54.00	\$54.00	\$54.00	\$54.00	\$54.00	\$54.00	
	Directo	Medición de espesores	\$532.00					\$88.67	\$88.67	\$88.67	\$88.67	\$88.67	\$88.67	
	Directo	Supervisión	\$4,004.00	\$333.67	\$333.67	\$333.67	\$333.67	\$333.67	\$333.67	\$333.67	\$333.67	\$333.67	\$333.67	\$333.67
MATERIALES	Directo	Colector de Vibraciones	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
	Directo	Cámara Termográfica	\$3,000.00	\$250.00	\$250.00	\$250.00	\$250.00	\$250.00	\$250.00	\$250.00	\$250.00	\$250.00	\$250.00	\$250.00
	Directo	Termómetro Ifrarojo	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
	Directo	Eq. Analisis de Aceite	\$6,000.00	\$500.00	\$500.00	\$500.00	\$500.00	\$500.00	\$500.00	\$500.00	\$500.00	\$500.00	\$500.00	\$500.00
	Directo	Lámpara estroboscópica	\$500.00	\$41.67	\$41.67	\$41.67	\$41.67	\$41.67	\$41.67	\$41.67	\$41.67	\$41.67	\$41.67	\$41.67
	Directo	Eq.Ultrasonido Pulso-Eco	\$10,000.00	\$833.33	\$833.33	\$833.33	\$833.33	\$833.33	\$833.33	\$833.33	\$833.33	\$833.33	\$833.33	\$833.33
	Directo	Alineador laser	\$600.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00
	Directo	Eq. Análisis estático de motores eléctric	\$12,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00	\$1,000.00
	Directo	Eq. Tensión de Correa	\$600.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00
	Directo	Eq. Medición de parametros eléctricos	\$400.00	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33
	Directo	Cámara Boroscopia	\$2,000.00	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67
	Directo	Eq. Ultrasonido Acustico	\$2,000.00	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67
	Directo	Líquidos penetrantes	\$400.00	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33
	Directo	Partículas Magnéticas	\$400.00	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33	\$33.33
	Directo	Medidor de espesores	\$800.00	\$66.67	\$66.67	\$66.67	\$66.67	\$66.67	\$66.67	\$66.67	\$66.67	\$66.67	\$66.67	\$66.67
	Directo	Equipo de Monitoreo Continuo	\$20,760.00	\$1,730.00	\$1,730.00	\$1,730.00	\$1,730.00	\$1,730.00	\$1,730.00	\$1,730.00	\$1,730.00	\$1,730.00	\$1,730.00	\$1,730.00
	Directo	Equipo de Monitoreo Automático	\$21,849.60	\$1,820.80	\$1,820.80	\$1,820.80	\$1,820.80	\$1,820.80	\$1,820.80	\$1,820.80	\$1,820.80	\$1,820.80	\$1,820.80	\$1,820.80
	Directo	Equipo para Rutas	\$600.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00	\$50.00
	Directo	Servicio de Internet 3G	\$2,400.00	\$200.00	\$200.00	\$200.00	\$200.00	\$200.00	\$200.00	\$200.00	\$200.00	\$200.00	\$200.00	\$200.00
	Directo	Licencia Software de M.Condición	\$3,200.00	\$266.67	\$266.67	\$266.67	\$266.67	\$266.67	\$266.67	\$266.67	\$266.67	\$266.67	\$266.67	\$266.67
Directo	Servicio de Analisis	\$2,000.00	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	\$166.67	
COSTES DIRECTOS		\$101,481.45	\$8,867.11	\$8,867.11	\$8,867.11	\$8,867.11	\$8,046.47	\$8,046.47	\$8,046.47	\$8,046.47	\$8,046.47	\$8,046.47	\$8,867.11	\$8,867.11
RECURSOS HUMANOS	Indirecto	Gestión de las intervenciones	\$300.00	\$25.00	\$25.00	\$25.00	\$25.00	\$25.00	\$25.00	\$25.00	\$25.00	\$25.00	\$25.00	\$25.00
	Indirecto	Administrativo - Jefatura	\$1,795.78	\$149.65	\$149.65	\$149.65	\$149.65	\$149.65	\$149.65	\$149.65	\$149.65	\$149.65	\$149.65	\$149.65
	Indirecto	Estructurales	\$359.16	\$29.93	\$29.93	\$29.93	\$29.93	\$29.93	\$29.93	\$29.93	\$29.93	\$29.93	\$29.93	\$29.93
COSTES INDIRECTOS		\$2,454.93	\$204.58	\$204.58	\$204.58	\$204.58	\$204.58	\$204.58	\$204.58	\$204.58	\$204.58	\$204.58	\$204.58	\$204.58
RESULTADO		\$90,663.62	\$15,778.31	\$15,778.31	\$17,378.31	\$19,078.31	-\$1,984.38	-\$1,984.38	-\$1,984.38	-\$284.38	-\$684.38	-\$1,984.38	\$15,778.31	\$15,778.31

SKF Machine Health - Entry Level- IMx8

Sensores de vibración, cables, drivers
Oferta N° 20QMH10088A

Santa Ana, 20 de Marzo 2020

Señores
COMPAÑÍA AZUCARERA SALVADOREÑA
Ingenio Central Izalco
Atn. Ing. Fernando Velarde



Estimado Cliente

En la presente encontrarán nuestra oferta para actualización de sistema de monitoreo en línea con tecnología IMX para turbogenerador 4.

Condiciones de venta

Despacho y entrega de acuerdo con su orden de compra con base en lo siguiente:

- Los precios indicados son unitarios en Dólares Americanos (USD).
- Precios no incluyen IVA.
- La entrega se entiende Salvo Previa Venta.
- Validez de la oferta: 30 días a partir de la fecha de emisión.
- Una vez emitida la orden de compra, los bienes no podrán ser cancelados ni retornados.
- La orden de fabricación y despacho de los bienes será enviada solo con la recepción de la orden de compra en cuestión.

Ademas, como siempre de nuestra parte y del personal de SKF contarán con todo el apoyo y soporte post venta para que este proyecto se desarrolle en completo éxito.

Cordialmente le saluda,
JOSE ORLANDO VENTURA
Centro Industrial Hermaco, S.A. de C.V.

Tel: +503-24874500, **Mob:** +503-7844-4023
E-mail: oventura@hermaco.net

Propuesta Económica

La propuesta tiene como objetivo plantear el reemplazo de la tecnología Dmx actualmente instalada en la turbina faltante de generación del ingenio Cassa. Basados en los nuevos desarrollos de SKF, proponemos la implementación del sistema de vigilancia y protección en línea IMx-8, para 1 turbina. Se tiene en cuenta que ya el cliente adquirió por adelantado 2 unidades IMx-8, las cuales son necesarias.

N°	Referencia	Cantidad	Precio Unitario	Subtotal USD	Descripción
1	CMSS 78-AU2-00-12-10	9	\$ 624.50	\$ 5,620.50	Eddy probe - 8 mm, armored, 3/8-24UNF, threaded, 1.2 in case length,
Disponibilidad 10 semanas despues de Orden de Compra					
2	2 CMSS 985-L-80	9	\$ 418.31	\$ 3,764.79	Extension cable
Disponibilidad 10 semanas despues de Orden de Compra					
3	CMSS 785-12	9	\$ 723.46	\$ 6,511.14	Driver-5 mm and 8 mm,9 meter cable length, DIN Rail mount
Disponibilidad 10 semanas despues de Orden de Compra					
4	Servicio de Ingeniería	1	\$ 7,936.95	\$ 7,936.95	Soporte en instalación, configuración, puesta en marcha y capacitación de sistema de monitoreo on-line
Se coordinará con la recepción de la orden de compra. Incluye adicional a la instalación y puesta en marcha, 8 horas de entrenamiento en Software, Hardware y conectividad.					
5	Servicio de instrumentación	1			Servicio instrumentista 5 días. Este servicio lo proveerá Central Izalco, No es responsabilidad de SKF
				Total	\$ 23,833.38

**PRECIOS NO INCLUYEN IVA

Términos y condiciones del servicio de ingeniería

El alcance del servicio de ingeniería se define en las siguientes actividades:

Calibración del sistema, configuración de los sistemas en línea, puesta en marcha, verificación de calidad y pruebas. El cliente deberá proveer la llegada en cable de los sensores de vibración y el puerto red ethernet, con acceso a internet de red local o pública.

No se incluye instalación de la sensòrica, instalación eléctrica. Es responsabilidad del cliente la instalación de los elementos de monitoreo en línea.



Propiedad intelectual y confidencialidad

El contenido de esta oferta mercantil incluyendo todos sus anexos y documentos adicionales se encuentran protegidos por las leyes de propiedad industrial e intelectual vigentes en la República de Colombia, Ecuador, Centroamérica y El Caribe, así mismo tienen el carácter de confidencialidad. Por lo anterior, el envío de la misma a través de esta oferta no otorga al destinatario ningún tipo de permiso, licencia de carácter permanente o temporal para el aprovechamiento oneroso o gratuito, su copia o uso. Así mismo, los procedimientos para la prestación de servicios que hacen parte de la oferta y el “know-how” no tienen derecho de uso o licencia para que sean objeto de aprovechamiento por el destinatario.

De igual manera el Destinatario no podrá hacer uso de esta información o procedimiento en procesos de contratación, cotización u ofertas con terceros diferentes a SKF. Esta cobertura se aplica al destinatario, sus filiales y subsidiarias, empleados, subcontratistas y asesores. En el caso que se incumpla con esta obligación el destinatario responderá por los perjuicios que sufra SKF los cuales tendrán el carácter de moral o material según la afectación sufrida. Lo aquí dispuesto se aplica con independencia que el Destinatario acepta la oferta mercantil, por lo tanto, este acuerdo es autónomo e independiente a ese resultado.



Centro Industrial Hermaco S.A. de C.V.

Carretera Panamericana, Kilometro 67 1/2
Barrio San Antonio
Santa Ana Santa Ana CP 0210
El Salvador

COTIZACIÓN

Presupuesto n.º	: COT000417	Vendedor	: Orlando Ventura
Fecha de la cotización	: 25 ago 2020	Sucursal	: H1-Santa Ana
Fecha de vencimiento	: 08 sep 2020	Telefono Vendedor	: 7844-4023
		Tiempo de entrega	: 45 días hábiles
		Estimado/a	: ING. FERNANDO VELARDE

Asunto :

Cotización Sistema Monitoreo IMX-1

Enviar a:

EMPRESA: COMPAÑIA AZUCARERA SALVADOREÑA, S.A. DE C.V.

DIRECCIÓN: Carretera a Sonsonate, Km 62.1/2

Canton Huiscoyolate

TEL: 2484-1100 Fax:

#	Código & Descripción	Cant idad	Precio	Impuesto: %	Total
1	CMWA 6600 SKU : CMWA 6600 SKF ENLIGHT COLLECT GATEWAY	1.00 pcs	2,058.22	13.00	2,058.22
2	CMWA 6100 SKU : CMWA 6100 SKF SENSOR INALAMBRICO IMX-1	10.00 pcs	323.18	13.00	3,231.80
3	CMSS 910M SKU : CMSS 910M BASE ADHESIVA SKF	10.00 pcs	19.71	13.00	197.10
4	@PTITUDE OBSERVER SKU : @PTITUDE OBSERVER LICENCIA ANUAL SOFTWARE @PTITUDE OBSERVER	1.00 pcs	3,375.00	13.00	3,375.00

Esperamos seguir haciendo negocios con usted.

Subtotal	8,862.12
IVA (13%)	1,152.08
Total	\$10,014.20

Términos y condiciones

CONDICIONES DE CREDITO DE 6 MESES A PARTIR DE ENTREGA DE COMPONENTES.

PRIMEROS DOS MESES A PRUEBA DEL SISTEMA, EN CASO DE NO ACEPTARLOS, SE PROCEDERA A HACER LA DEVOLUCION DE LOS COMPONENTES SIN COSTO PARA EL CLIENTE.



Centro Industrial Hermaco S.A. de C.V.

Carretera Panamericana, Kilometro 67 1/2
Barrio San Antonio
Santa Ana Santa Ana CP 0210
El Salvador

COTIZACIÓN

Presupuesto n.º	: Cotización Microlog CMXA 80	Vendedor	: Orlando Ventura
Fecha de la cotización	: 25 ene 2021	Sucursal	: H1-Santa Ana
Fecha de vencimiento	: 22 feb 2021	Telefono Vendedor	: 7844-4023
		Tiempo de entrega	: 45 días hábiles
		Forma de pago	: Crédito 30 días
		Estimado/a	: ING. FERNANDO VELARDE

Asunto :

Cotización Equipo Microlog CMXA 80 Version Full

Enviar a:

EMPRESA: COMPAÑIA AZUCARERA SALVADOREÑA, S.A. DE C.V.

DIRECCIÓN: Carretera a Sonsonate, Km 62.1/2

Canton Huiscoyolate

TEL: 2484-1100 Fax:

#	Código & Descripción	Cant idad	Precio	Impuesto: %	Total
1	CMXA 80 F-K-SL SKU : CMXA 80 F-K-SL EQUIPO MICROLOG CMXA 80 VERSION FULL	1.00 box	33,065.33	13.00	33,065.33
2	CMSW 7300-SC-CL SKU : CMSW 7300-SC-CL SOFTWARE @PTITUDE ANALYST MONOUSUARIO	1.00 pcs	14,137.15	13.00	14,137.15
3	CMAC 5030-K SKU : CMAC 5030-K KIT DE BALANCEO DINAMICO	1.00 pcs	1,821.30	13.00	1,821.30
4	CMAC 4370-K SKU : CMAC 4370-K KIT SENSOR TRIAXIAL	1.00 pcs	7,405.94	13.00	7,405.94

Esperamos seguir haciendo negocios con usted.

Subtotal	56,429.72
IVA (13%)	7,335.86
Total	\$63,765.58



Centro Industrial Hermaco S.A. de C.V.

Carretera Panamericana, Kilometro 67 1/2
Barrio San Antonio
Santa Ana Santa Ana CP 0210
El Salvador

COTIZACIÓN

Presupuesto n.º	: Cotización Quick Collect + App ProCollect	Vendedor	: Orlando Ventura
Fecha de la cotización	: 25 ene 2021	Sucursal	: H1-Santa Ana
Fecha de vencimiento	: 22 feb 2021	Telefono Vendedor	: 7844-4023
		Tiempo de entrega	: 45 días hábiles
		Forma de pago	: Crédito 30 días
		Estimado/a	: ING. FERNANDO VELARDE

Asunto :

Cotización Quick Collect + App ProCollect

Enviar a:

EMPRESA: COMPAÑIA AZUCARERA SALVADOREÑA, S.A. DE C.V.

DIRECCIÓN: Carretera a Sonsonate, Km 62.1/2

Canton Huiscoyolate

TEL: 2484-1100 Fax:

#	Código & Descripción	Cant idad	Precio	Impuesto: %	Total
1	CMDT 391 K-SL SKU : CMDT 391-K-SL SENSOR INALAMBRICO SKF QUICK COLLECT	1.00 pcs	2,567.00	13.00	2,567.00
2	APP PROCOLLECT SKU : APP PROCOLLECT LICENCIA ANUAL PROCOLLECT	1.00 pcs	1,825.00	13.00	1,825.00

Esperamos seguir haciendo negocios con usted.

Subtotal	4,392.00
IVA (13%)	570.96
Total	\$4,962.96



Centro Industrial Hermaco S.A. de C.V.

Carretera Panamericana, Kilometro 67 1/2
Barrio San Antonio
Santa Ana Santa Ana CP 0210
El Salvador

COTIZACIÓN

Presupuesto n.º	: Cotización Servicio Analisis de Vibraciones	Vendedor	: Orlando Ventura
Fecha de la cotización	: 25 ene 2021	Sucursal	: H1-Santa Ana
Fecha de vencimiento	: 22 feb 2021	Telefono Vendedor	: 7844-4023
		Tiempo de entrega	: Inmediata
		Forma de pago	: Crédito 30 días
		Estimado/a	: ING. FERNANDO VELARDE

Asunto :

Cotización Servicio de Análisis ProCollect

Enviar a:

EMPRESA: COMPAÑIA AZUCARERA SALVADOREÑA, S.A. DE C.V.

DIRECCIÓN: Carretera a Sonsonate, Km 62.1/2

Canton Huiscoyolate

TEL: 2484-1100 Fax:

#	Código & Descripción	Cant idad	Precio	Impuesto: %	Total
1	ANALISIS DE VIBRACIONES SKU : ANALISIS DE VIBRACIONES SERVICIO DE ANALISIS MENSUAL PARA 200 ACTIVOS SERVICIO ASOCIADO CON APP PROCOLLECT OFERTA CORRESPONDE A COSTO MENSUAL PARA CONTRATO DE 2 AÑOS DE DURACIÓN.	1.00 pcs	722.00	13.00	722.00

Esperamos seguir haciendo negocios con usted.

Subtotal	722.00
IVA (13%)	93.86
Total	\$815.86