

UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA JOSÉ SIMEÓN CAÑAS
UNIVERSIDAD DON BOSCO



**“MODELO DE IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE
MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN EN LA INDUSTRIA
DE CONVERSIÓN, SECTOR PAPELERO”**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PREPARADO PARA LA FACULTAD DE
POSTGRADOS UCA**

Y

CENTRO DE ESTUDIOS DE POSTGRADOS UDB

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

POR

DIEGO ERNESTO CHAVARRÍA FLORES

JOSÉ ADÁN PARADA RIVERA

JUNIO DE 2019

ANTIGUO CUSCATLÁN, EL SALVADOR, C.A.

Rectores

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

Secretarías Generales

Silvia Elinor Azucena de Fernández
Yesenia Xiomara Martínez Oviedo

Decana de Postgrados UCA

Nelly Arely Chévez Reynosa

Decano de Postgrado UDB

Herbert Humberto Bellosso Funes

Directores de la Maestría en Gerencia de Mantenimiento Industrial

Laura Orellana UCA
José Luis Martínez UDB

Director de trabajo de graduación

Pedro Roque Izquierdo

AGRADECIMIENTO

Desde que inicié mi camino académico, la vida me enseñó que sólo con el máximo esfuerzo se pueden garantizar los resultados deseados.

Este aprendizaje fue guiado por mis padres, Adán y Aydeé, a quienes agradezco principalmente por enseñarme los principios que han fundamentado cada paso de mi vida. Valores como la responsabilidad, el respeto y la honestidad me han traído a este momento, en el que como siempre, he tenido que perseverar para alcanzar el objetivo deseado.

A mi hermano menor, Daniel, quien con su perspicacia me ha enseñado que un proceso de aprendizaje puede ser sencillo si se tiene la disposición correcta.

A mi prometida, Fátima, por permanentemente brindarme su apoyo durante todo el proceso de la maestría.

A mi compañero de trabajo de graduación, Diego, de quien he adquirido mucho conocimiento técnico y de quien tengo el honor de decir que he forjado una sólida amistad, misma que fue demostrada durante el desarrollo de la maestría, brindándome el apoyo necesario en los momentos clave.

A la empresa Alas Doradas S.A. quienes nos abrieron las puertas para poder desarrollar esta propuesta para su empresa, facilitándonos información en ocasiones sensible para poder generar una propuesta lo más apegada a su realidad y que les permitirá a la vez, tener los mejores resultados posibles.

Adán Parada

AGRADECIMIENTO

A quien desde la infancia me ha enseñado e inspirado a luchar día a día para ser mejor, mi madre María Hilda quien con sus consejos, amor y forma de vivir ha forjado mi carácter y personalidad, además de enseñarme a trabajar siempre de la mejor manera para construir mis sueños y un futuro mejor.

A mis hermanas Gaby y Katherine, y a mis amados sobrinos David, Guillermo, Emilio y Santiago quienes siempre han estado en mi vida para darle sentido y recordarme el verdadero valor del fruto de todos los esfuerzos hechos en la vida.

A la persona que me ha inspirado a finalizar de la mejor manera este proyecto, mi prometida Karina Ivonne quien con su amor y paciencia es mi compañera en el camino para construir juntos nuestros sueños de la mano de Dios.

A mi compañero Adán Parada, un gran amigo personal y un excelente colega profesional quien sin duda ha sido parte fundamental de este logro. A él y a su familia, muchas gracias por formar parte de mi vida.

A todos mis amigos, que son fuente de inspiración para seguir creciendo como persona y como profesional a diario.

Diego Chavarría Flores

RESUMEN

El monitoreo de condiciones en equipos productivos tiene como meta disminuir los paros de los mismos aumentando la confiabilidad y productividad, utilizando metodológicamente los conocimientos, herramientas y habilidades, para que los resultados sean los planteados y que se cumplan los objetivos establecidos por el departamento de mantenimiento y la empresa.

Alas Doradas S.A. (ADSA) es una empresa salvadoreña, dedicada a la fabricación de papel. Para esta empresa se desarrolla un modelo de implementación de sistema de mantenimiento basado en condición de equipos productivos a la medida. Este modelo tiene como meta que los equipos productivos en ADSA minimicen los paros no planeados, disminuyendo de esta forma las pérdidas financieras y apoyar a la consecución de los objetivos del departamento de mantenimiento.

Este trabajo inicia con la descripción de la situación actual, con las justificantes por las cuales, es necesario este modelo; así como el alcance y las restricciones además de los objetivos que el modelo propone.

Para el diseño del modelo de implementación ideal para ADSA, se hace necesaria la generación de un marco teórico que sirva de base para la propuesta y que, además brinde los las nociones necesarias para comprender el concepto de mantenimiento basado en condición. Dentro de la teoría se contempla el marco referencial de la empresa, que incluye aspectos generales de su organización, del proceso productivo y una base teórica del análisis de vibraciones y termografía.

En la metodología de la investigación se detalla cómo dicho proceso se lleva a cabo, y las herramientas y métodos de las cuales se hace uso para lograr conocer la situación actual de la empresa.

La investigación incluye una breve descripción del sistema de gestión de mantenimiento sistemático actual en ADSA. Un análisis estructural de los puntos críticos del proceso, con lo que, se determinan las mejores rutas para el monitoreo de variables físicas de interés para la estabilidad del proceso productivo.

Se incluyen también los costos de implementación del modelo, así como los requisitos mínimos necesarios para la puesta en marcha del mismo, además se incluye una propuesta del plan de implementación y se cierra dando una serie de recomendaciones para robustecer el sistema de gestión general de mantenimiento dentro de ADSA.

Cabe destacar que la propuesta no pretende generar un modelo genérico aplicable para todos los rubros de la industria, ya que se ha desarrollado como un modelo específico para las necesidades esenciales de la empresa papelera de consumo masivo, ADSA. Una empresa, que debido a su crecimiento acelerado, necesita que sus activos productivos tengan alta confiabilidad para disminuir las carencias no planificadas generadas por esta expansión.

CONTENIDO

RESUMEN	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Problemática	2
1.3 Justificación financiera.....	3
1.4 Supuestos.....	4
1.5 Alcance.....	4
1.6 Restricciones	4
1.7 Objetivos	5
1.7.1 Objetivo General.....	5
1.7.2 Objetivos Específicos.....	5
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Marco de referencia institucional	7
2.1.1 Generalidades de la empresa	7
2.1.2 Reseña histórica.....	8
2.1.3 Organización.....	9
2.1.4 Proceso productivo	9
2.2 Marco referencial teórico del mantenimiento basado en condición	12
2.2.1 Generalidades.....	12
2.2.2 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM).....	13
2.2.3 Análisis de vibraciones	15
2.2.4 Medición de vibraciones	17
2.2.5 Termografía	20
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
3.1 Tipo de estudio.....	22
3.2 Método de investigación	23
3.3 Instrumentos de investigación documental.....	24
3.4 Instrumentos de investigación de campo.....	24
3.5 Técnicas y herramientas	24

3.6. Procedimiento de la investigación	24
4. PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN	26
4.1 Flujo para evaluación de puntos de aplicación de tecnologías de monitoreo.....	26
4.2 Descripción de líneas de producción y definición de criticidad	27
4.3 Identificación de puntos críticos del proceso	28
4.3.1 Rebobinadoras Perini 813	28
4.3.2 Rebobinadora Perini T-700.....	31
4.4 Rutas para monitoreo de vibraciones.....	36
4.5 Rutas para monitoreo de temperatura mediante termografía.....	39
4.6 Frecuencia de monitoreo	44
4.12 Requerimientos de implementación	53
4.13 Plan de implementación	54
4.14 Monitoreo y evaluación	55
4.15 Estandarización de modelo y expansión de sistema a otras areas	56
5. CONCLUSIONES.....	58
6. RECOMENDACIONES.....	60
7. REFERENCIAS	62
ANEXO 1. FALLAS COMUNES ASOCIADAS A VIBRACIONES Y PATRONES REPRESENTATIVOS.....	1
Anexo 1.1 Desbalanceo estático	1
Anexo 1.2 Desbalanceo dinámico	1
Anexo 1.3 Rotor colgante	2
Anexo 1.4 Desalineación angular.....	2
Anexo 1.5 Desalineación paralela.....	3
Anexo 1.6 Desalineación entre chumaceras	4
Anexo 1.7 Holgura mecánica entre eje y superficie interior de rodamiento	4
Anexo 1.8 Separación estructural	5
Anexo 1.9 Rotor excéntrico	5
Anexo 1.10 Flexión.....	6
ANEXO 2. ELEMENTOS DE MÉTODO DE CÁLCULO DE PÉRDIDAS ANUALES.....	7
ANEXO 3. CÁLCULOS PARA DETERMINACIÓN DE VIBRÓMETRO A ADQUIRIR	10
ANEXO 4. PROCEDIMIENTOS PASO A PASO PARA LA TOMA DE LECTURAS DE NIVELES DE VIBRACION Y TOMA DE TERMOGRAFÍAS.	11

ANEXO 5. OFERTAS PARA CAPACITACIONES DE PERSONAL EN ANALISIS DE VIBRACIONES MECANICAS NIVEL 1 Y CERTIFICACIÓN EN TERMOGRAFIA NIVEL 1	14
ANEXO 6. NIVELES DE ALARMAS DE VIBRACIONES PROPUESTOS POR NORMA ISO 10816-3 PARA EQUIPO SIN REGISTROS PREVIOS.	15
ANEXO 7. FALLAS TOTALES EN PLANTA DE CONVERSIÓN ADSA	16

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Fortalezas y oportunidades de sistema de mantenimiento actual.....	1
Tabla 1.2. Montos de producto no convertido de Agosto 2017 a Junio 2018.....	3
Tabla 1.3. Utilidades no percibidas por fallas.....	4
Tabla 4.1. Capacidad y criticidad de máquinas.....	26
Tabla 4.2. Resumen de criterios de selección de puntos de medición.....	34
Tabla 4.3 Módulos no incluidos en sistema de monitoreo.....	35
Tabla 4.4. Tabla de aplicación de ruta de aplicación para análisis de vibraciones en línea 813.....	41
Tabla 4.5. Tabla de aplicación de ruta de aplicación para análisis de vibraciones en línea T-700.....	42
Tabla 4.6. Frecuencias de aplicación de mediciones Perini 813 y T-700.....	44
Tabla 4.7. Perfil de responsable de implementación.....	47
Tabla 4.8. Perfil de responsable de supervisión de ejecución.....	47
Tabla 4.9. Perfil de responsable de manejo de datos.....	48
Tabla 4.10. Perfil de responsable de toma de datos.....	48
Tabla 4.11. Costos de implementación de toma de mediciones.....	52
Tabla 4.12. Plan de implementación del modelo.....	54
Tabla 4.13 Plan de seguimiento y difusión del modelo.....	56
Tabla A-5.1 Costos por entrenamiento por ISA El Salvador.....	A-14
Tabla A-6.1 Alarmas de vibración recomendada para equipo sin registro previo.....	A-15
Tabla A7.1 Detalles de fallas totalizadas en ADSA.....	A-16

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Vista en planta de instalaciones ADSA.....	7
Figura 2.2. Estructura organizacional de Alas Doradas S.A	8
Figura 2.3. Diagrama de flujo del proceso de conversión de papel Tissue en línea T-700.....	9
Figura 2.4. Señales en el dominio del tiempo vs dominio de la frecuencia (espectro)....	15
Figura 2.5. Equivalencia señal en dominio del tiempo vs dominio de la frecuencia.....	16
Figura 2.6. Espectro de luz descompuesto	19
Figura 2.7. Componentes básicos de cámaras termográficas.....	19
Figura 4.1. Diagrama de flujo para evaluar aplicación de tecnologías de monitoreo.....	26
Figura 4.2. Módulo desenrollador Perini 813.....	28
Figura 4.3. Módulo gofrador Perini 813.....	28
Figura 4.4. Módulo perforador / rebobinador Perini 813	28
Figura 4.5. Cortadora Perini 813	29
Figura 4.6. Módulo laminador Perini T-700.....	30
Figura 4.7. Rodillo Anilox Perini T-700.....	30
Figura 4.8. Rodillo laminador Perini T-700.....	31
Figura 4.9. Rodillo gofrador Perini T-700.....	31
Figura 4.10. Motor eléctrico de módulo laminador Perini T-700.....	31
Figura 4.11. Módulo perforador / rebobinador Perini T-700.....	32
Figura 4.12. Módulo de sellado Perini T-700	32
Figura 4.13. Cortadora Perini T-700	33
Figura 4.14. Casmatic CMW-208.....	33
Figura 4.15. Casmatic CMW-202.....	34
Figura 4.16. Ruta de aplicación de mediciones de vibraciones Perini 813.....	36
Figura 4.17. Ruta de aplicación de mediciones de vibraciones Perini T-700.....	37
Figura 4.18. Ruta de aplicación de mediciones de termografía Perini 813.....	38

Figura 4.19. Ruta de aplicación de mediciones de termografía Perini T-700.....	40
Figura 4.20. Formato de orden de trabajo para toma y registro de medición vibración...	49
Figura 4.21. Formato de orden de trabajo para toma y registro de medición Termografía.....	50
Figura 4.22. Diagrama de toma de decisiones por identificación de desviaciones.....	55
Figura A1.1. Ilustración de desbalanceo estático.....	A-1
Figura A1.2. Ilustración de desbalanceo dinámico.....	A-2
Figura A1.3. Ilustración de rotor colgante.....	A-2
Figura A1.4. Ilustración de desalineación angular.....	A-3
Figura A1.5. Ilustración de desalineación paralela.....	A-3
Figura A1.6. Ilustración de desalineación entre chumaceras.....	A-4
Figura A1.7. Ilustración de holgura mecánica eje / superficie interior de rodamiento....	A-5
Figura A1.8. Ilustración de separación estructural.....	A-5
Figura A1.9. Ilustración de rotor excéntrico.....	A-6
Figura A1.10. Ilustración de flexión.....	A-6
Figura A2.1. Tiempos de paro por fallas aptos para análisis.....	A-7
Figura A2.2. Costos por tonelada producida.....	A-8
Figura A4.1 Manera recomendada para tomar termografía.....	A-13
Figura A4.2 Encuadre obtenido y requerido.....	A-14

INDICE DE FÓRMULAS

Fórmula A2.1. Cálculo de pérdidas anuales por fallas de máquinas.....	A-9
Fórmula A3.1. Cálculo de velocidad mínima de equipo de medición.....	A-10
Fórmula A3.2. Cálculo de velocidad máxima de equipo de medición.....	A-10

SIGLAS

ADSA: Alas Doradas, S.A.

CAPG: Central America Paper Group

RCM: Reliability Centered Maintenance

RMS: Root mean square (Raíz cuadrada media)

LVDT: Linear Variable Differential Transformer (transformador diferencial de variación lineal)

PVT: Piezo Velocity Transducer (Transductor de piezovelocidad)

AC: Alternating Current (Corriente Alterna)

DC: Direct Current (Corriente Directa)

LDV: Laser Doppler velocimetry (Velocimetría Laser Doppler)

LCD: Liquid Cristal Display (Pantalla de cristal líquido)

LED: Light-Emitting Diode, (Diodo Emisor de Luz)

CMMS: Computerized Maintenance Management System (Sistema Computarizado de Gestión de Mantenimiento)

g: Unidad de medida utilizada en acelerómetros para cuantificar la fuerza gravitacional de la tierra aplicada sobre un objeto

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Las empresas Salvadoreñas se preocupan por generar un crecimiento sostenido de sus operaciones, ser competitivas en un mercado cada vez más globalizado y saturado de opciones para todos los consumidores según su nivel de exigencia y poder adquisitivo.

Para poder lograr este crecimiento es necesario que la empresa lleve a cabo muchas acciones, entre ellas mantener los activos productivos en condiciones de operación que les permitan asumir los retos de producción que esto implica.

Muchas veces el desconocimiento de los beneficios de implementar nuevas tecnologías y/o técnicas de mantenimiento, hace que muchas industrias nacionales se queden utilizando antiguas metodologías de mantenimiento, que aunque pueden dar un resultado aceptable, pueden ser mejoradas para reducir costos de mantenimiento, reducir tiempos muertos, reducir inventarios de repuestos y otros beneficios significativos para las organizaciones.

Actualmente ADSA posee un sistema de mantenimiento preventivo que ofrece resultados aceptables, sin embargo dichos resultados pueden ser mejorados, por lo que se ha realizado un análisis de las fortalezas del sistema actual y las oportunidades de mejora del mismo mostrados en la tabla 1.1.

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
Personal con adecuada actitud de respuesta ante nuevos retos.	Disponibilidad de tecnologías para monitoreo de condiciones.
Registro de fallas de máquinas debidamente documentado.	Oferta local de capacitación para el personal.
Departamento de mantenimiento cuenta con una estructura robusta con roles bien definidos.	Apoyo de la gerencia para implementación de nuevas tecnologías.
Sistema de mantenimiento preventivo implementado.	Disponibilidad de recursos para implementación tecnologías de monitoreo de condiciones.

Tabla 1.1. Fortalezas y oportunidades de sistema de mantenimiento actual

1.2 Problemática

Por lo general las empresas en el país cuentan con sistemas de gestión de mantenimiento basado en tiempos e historiales y en algunos casos más críticos cuentan con un sistema de gestión de mantenimiento puramente correctivo. Las empresas con estos sistemas de gestión enfrentan más problemas de los necesarios, en lo que a producción se refiere.

La industria del sector de productos de consumo masivo, puede ser especialmente sensible a los problemas que surgen producto de una gestión de mantenimiento que no garantice confiabilidad en los equipos productivos.

- Mayores costos de mantenimiento (por sub-mantenimiento o sobre-mantenimiento).
- Mayores tiempos muertos de equipos productivos.
- Mayores tiempos de entrega de producto para los clientes (en algunos casos puede haber penalizaciones).
- Imposibilidad de alcanzar los indicadores proyectados de desempeño / rentabilidad.
- Mantener un inventario cada día más grande de repuestos.

Una de las mayores industrias de consumo masivo, enfocada al rubro del sector papelerero, es la empresa "Alas Doradas S.A. de C.V.", la cual será identificada como ADSA. Esta empresa cuenta actualmente con sistema de mantenimiento basado en inspecciones e intervenciones con periodicidad de tiempo, el cual ha sido estimado en base a historiales de fallos de máquinas, recomendaciones de los fabricantes y experiencia del área técnica. Sin embargo aun así presentan fallas recurrentes en algunos elementos y sistemas que ocasionan pérdidas de tiempo y producción. Por la tanto, se ha visto la necesidad de explorar alternativas tecnológicas que permitan afrontar los retos que hoy en día el mercado exige.

1.3 Justificación financiera

ADSA como una de las mayores empresas del país en la fabricación de papel Tissue. Actualmente su capacidad productiva se encuentra al 120%, es decir, que todo el producto que se fabrica sale inmediatamente al mercado, por lo tanto, no es posible levantar inventario de producto; por lo que un paro no previsto en una línea causa pérdidas muy serias para la organización, tales como: el beneficio que se deja de percibir por la venta del producto, multas de parte de los clientes, perdidas de nuevos clientes por no tener la capacidad de producir sus pedidos, etc.

En la actualidad ADSA tiene costos producción que oscilan desde los \$1,224 hasta los \$1,427 por tonelada de papel producida y posee 5 líneas de producción, cuya velocidad va desde los 0.9 hasta las 3 toneladas por hora. En el último año (agosto 2017-junio 2018) se han registrado alrededor de 104 horas de paro no programado en las diferentes líneas; causadas por fallas en rodamientos, como se observa en la tabla 1.2, lo que ha llevado a dejar de producir el equivalente a \$293,000.00 en un año. Actualmente la rentabilidad de los productos oscila entre un 35% y un 40%; esto equivale a pérdidas financieras de \$117,000.00 anuales.

Los datos de tiempos de paro y costos del producto han sido proporcionados por el departamento de producción; los datos de rentabilidad por el departamento de mercadeo, en el anexo 2 se profundiza cómo se han realizado los cálculos mostrados en este apartado, sin embargo sólo se muestra la información que ADSA ha autorizado.

	Perini 1		Perini 2		Perini 3		Perini 4		T-700	
\$/ Ton	\$ 1,224.43		\$ 1,224.43		\$ 1,224.43		\$ 1,224.43		1426.78	
Velocidad	0.9	Ton/h	0.9	Ton/h	0.9	Ton/h	0.9	Ton/h	3	Ton/h
Producto	1000 hojas		1000 hojas		1000 hojas		1000 hojas		Extra Grande	
	horas detenida	Producto no convertido								
ago-17	3.95	\$ 4,352.85	0	\$ -	2.83	\$ 3,118.62	0	\$ -	2.83	\$ 12,113.36
sep-17	2.25	\$ 2,479.47	0.42	\$ 462.83	0	\$ -	1.25	\$ 1,377.48	10.77	\$ 46,099.26
oct-17	0	\$ -	1.25	\$ 1,377.48	0	\$ -	8.75	\$ 9,642.39	8.67	\$ 37,110.55
nov-17	0	\$ -	0	\$ -	0	\$ -	3.92	\$ 4,319.79	6.53	\$ 27,950.62
dic-17	0	\$ -	0	\$ -	2.25	\$ 2,479.47	0	\$ -	0.22	\$ 941.67
ene-18	0	\$ -	0	\$ -	1.67	\$ 1,840.32	2.53	\$ 2,788.03	8.37	\$ 35,826.45
feb-18	0	\$ -	0	\$ -	6	\$ 6,611.92	0	\$ -	8.58	\$ 36,725.32
mar-18	3.25	\$ 3,581.46	5.9	\$ 6,501.72	0	\$ -	0.67	\$ 738.33	0	\$ -
abr-18	0	\$ -	0	\$ -	0.25	\$ 275.50	0	\$ -	4.5	\$ 19,261.53
may-18	0	\$ -	0	\$ -	0	\$ -	0	\$ -	0	\$ -
jun-18	1.17	\$ 1,289.32	0	\$ -	0	\$ -	0	\$ -	5.4	\$ 23,113.84
TOTAL	10.62	\$ 11,703.10	7.57	\$ 8,342.04	13	\$ 14,325.83	17.12	\$ 18,866.02	55.87	\$ 239,142.60

Tabla 1.2. Montos de producto no convertido de Agosto 2017 a Junio 2018

Tiempo maquina perdido (h)	104.18
Costo de producto no procesado	\$ 292,379.59
Utilidad perdida (40%)	\$ 116,951.84

Tabla 1.3. Utilidades no percibidas por fallas.

1.4 Supuestos

En necesario que las partes involucradas dentro del departamento de mantenimiento estén alineadas con los cambios, requerimientos, exigencias y disciplina que este cambio pueda traer, con especial énfasis en la parte de coordinación y ejecución de las tareas para garantizar que se alcancen las metas establecidas y maximizar el beneficio de las propuestas planteadas. Además de contar con el apoyo de la Gerencia del departamento.

1.5 Alcance

El alcance de la investigación planteada en este documento contempla hasta la propuesta de implementación con sus beneficios y costos asociados, no considerando la puesta en marcha del mismo, sino, hasta el desarrollo de un trabajo independiente y complementario el cual debe ser aprobado previamente por la dirección de ADSA.

La propuesta del modelo sólo contempla realizar mantenimiento basados en condición a elementos rotativos debido a que representan los mayores tiempos de paro, también se considera que las fallas debido a circunstancias electrónicas son difíciles de predecir o anticipar, por lo que el mantenimiento a elementos eléctricos o electrónicos se considerará en una etapa posterior de la implementación.

1.6 Restricciones

Para la adecuada consecución de los objetivos de este trabajo es necesario contemplar las siguientes restricciones:

- La propuesta busca estructurar un sistema de gestión de mantenimiento basado en herramientas de monitoreo de condiciones en máquinas convertidoras de papel Tissue.

- Se contempla el uso restringido de información que a criterio de la empresa ADSA pueda ser considerada como sensible.
- El sistema propuesto se ha diseñado específicamente para el área de conversión de papel Tissue de ADSA tomando en cuenta la organización y recursos disponibles, por lo que es exclusivamente aplicable a las operaciones que esta empresa se desarrollan.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo General

- Presentar un proyecto para disminuir los paros no planeados de equipos productivos incrementando el valor del indicador de tiempo medio entre fallas además de generar una base de datos de mediciones de puntos críticos para que el departamento de mantenimiento tenga información para una toma de decisiones para reducir costos, perdidas y minimizar los problemas y/o requerimientos de mantenimiento y operación que se puedan suscitar.

1.7.2 Objetivos Específicos

- Hacer un rastreo histórico de las perdidas asociadas a los paros de máquina debido a fallas que se pudieran prevenir por medio de herramientas de monitoreo de condiciones.
- Identificar los puntos críticos del proceso de líneas de producción.
- Identificar la factibilidad de implementación de estrategias de monitoreo para los puntos identificados como críticos, asegurando que las actividades adicionales no requieran nuevas contrataciones y que dichas actividades sean adecuadamente establecidas para perfiles específicos.

- Proponer un modelo final y la estrategia de implementación del mismo que sea compatible con las actuales actividades de mantenimiento.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Marco de referencia institucional

2.1.1 Generalidades de la empresa

La presente investigación para el desarrollo del modelo de implementación de mantenimiento basado en condición se ha llevado a cabo en Alas Doradas S.A. de C.V. Alas Doradas S.A. de C.V. (ADSA) es una empresa ubicada en el kilómetro 27 ½ Carretera a Santa Ana, en San Juan Opico, departamento de La Libertad. En la figura 2.1 se muestra la vista en planta de ADSA.

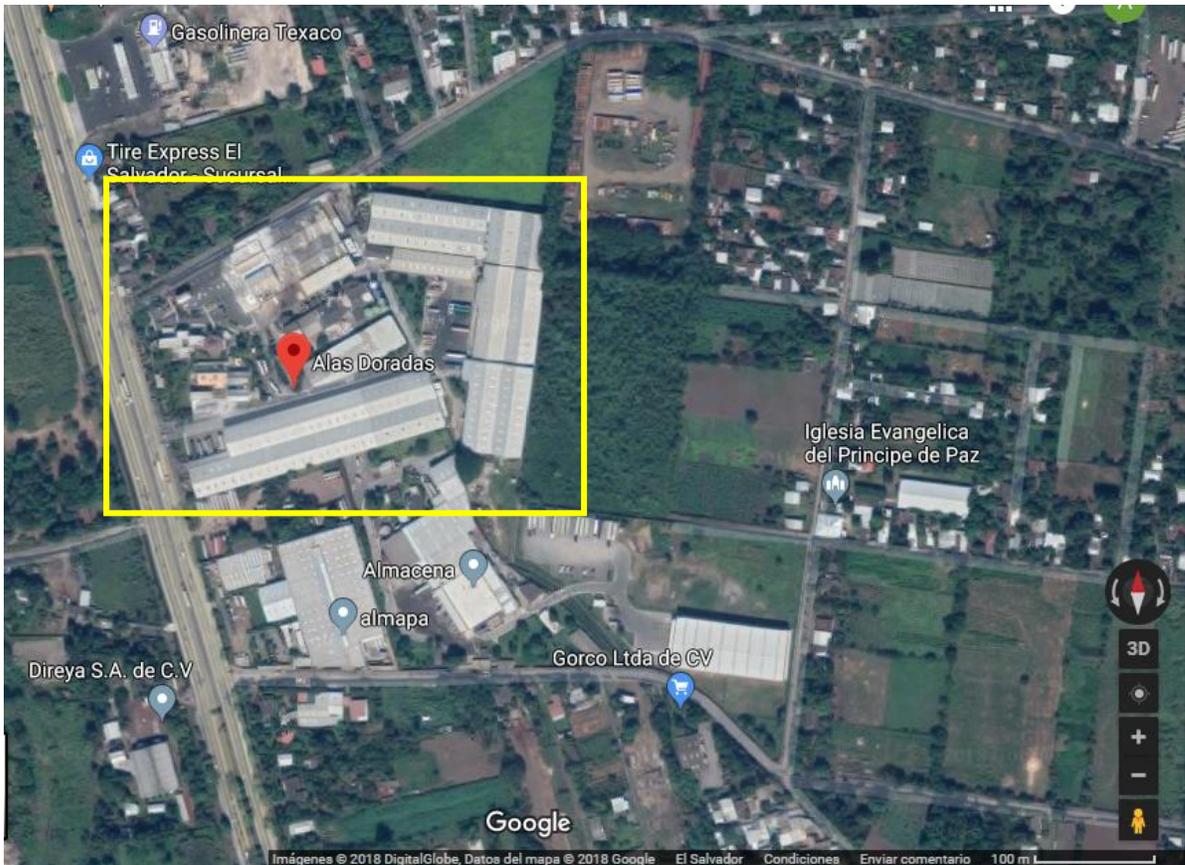


Figura 2.1. Vista en planta de instalaciones ADSA

2.1.2 Reseña histórica

ADSA es la principal subsidiaria de Central América Paper Group (CAPG), una empresa perteneciente al Grupo Coen, un conglomerado empresarial de Origen nicaragüense, con presencia en Centro América, México y El Caribe.

ADSA es la rama industrial de Grupo Coen, el cual también tiene presencia en los sectores: Financiero, agro negocios, bienes raíces y soluciones tecnológicas de identificación.

ADSA es uno de los tres más importantes fabricantes de papel absorbente (Tissue) y papel plano en Centro América. ADSA nace en el año 2003, con el fin de dedicarse a la elaboración del papel y sus derivados utilizando únicamente fibra reciclada, salvando más de 850 mil árboles anualmente.

En ADSA se producen anualmente más de 30 mil toneladas de productos finales derivados del papel Tissue, principalmente: papel higiénico, papel toalla y servilletas.

Las principales marcas que comercializa Alas Doradas S.A. son: Papel higiénico Encanto, Papel toalla Carmesí y la gama institucional de papel higiénico.

Las presentaciones de mayor producción y en las que enfocaremos el presente estudio son: Extra Grande y 1000 hojas.

2.1.3 Organización

La estructura organizativa de la empresa ADSA se muestra en el esquema de la figura 2.2.

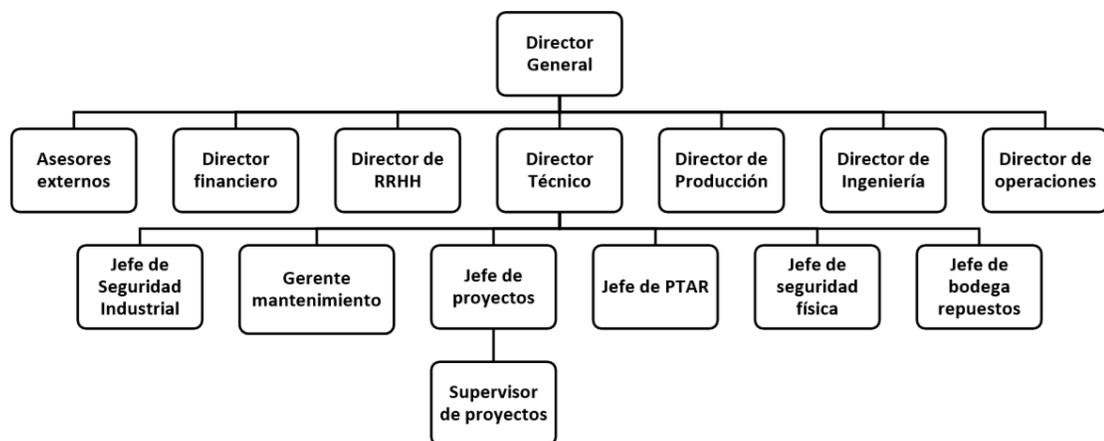
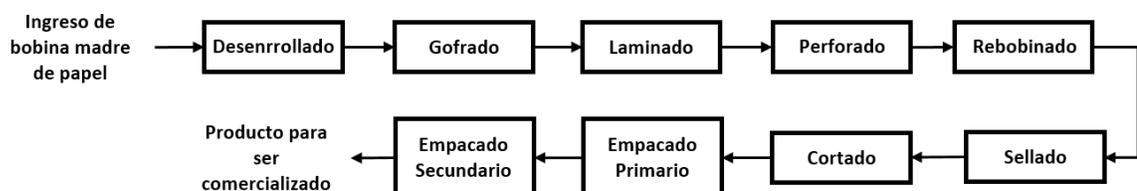


Figura 2.2. Estructura organizacional de Alas Doradas S.A

2.1.4 Proceso productivo

El proceso general mediante el cual se convierte el papel Tissue en el producto final para la salida al mercado desde la bobina madre hasta la conversión final en papel higiénico, toalla de cocina y servilletas en ADSA, se muestra en la figura 2.3.



En ADSA el proceso base para manufactura de los productos es el mismo, la diferencia está en los calibres (espesores) de papel de las bobinas madres y las dimensiones de los productos.

Figura 2.3. Diagrama de flujo del proceso de conversión de papel Tissue en línea T-700

- Desenrollado

Inicia con el montaje de bobina madre, se programa velocidad de desenrollador (m/min) y centrado automático de bobina, dependiendo si es bobina madre de una hoja o doble hoja, para iniciar el proceso se montan una o dos bobinas para iniciar el enhebrado del papel en los diferentes rodillos que tiene el equipo convertidor.

- Gofrado

Es el proceso mediante el cual se graba sobre la hoja de papel un diseño específico para cada producto, estos pueden ser puntos de dos medidas de densidad por área y la figura de mariposa característica de la marca encanto, el proceso se da mediante la presión de un rodillo de acero con el grabado que se quiere transmitir a la hoja de papel, contra un rodillo de goma con dureza específica. Se hace pasar la hoja de papel en medio de ambos para que pueda grabarse el diseño, esta parte del proceso, además de dar un diseño muy agradable a la vista; ayuda a que el papel sea más absorbente y tenga un mayor arrastre de materia al momento de su uso.

- Laminado

Cuando se trabaja con productos doble hoja, la adhesión de ambas hojas se hace por medios químicos, los cuales se realizan aplicando un adhesivo muy ligero sobre la cara interna de una de las hojas, ambas hojas se presionan entre un rodillo de acero liso y un rodillo de goma para terminar de fijar la adherencia química.

- Perforado

En esta etapa la hoja de papel se hace pasar entre un bloque fijo y un rodillo rotativo con una serie de cuchillas con dentado intermitente, estas cuchillas están dispuestas en toda la longitud del rodillo y separadas entre ellas por una distancia calibrada, en este proceso es donde se marca una línea punteada en los rollos de los diferentes productos, la cual se usa para indicar y facilitar el corte de las hojas de papel que se vayan a utilizar.

- Rebobinado

En este proceso se inserta un núcleo de papel kraft (previamente fabricado) el cual es el que lleva la fragancia característica del papel higiénico, (en caso del papel de cocina el núcleo se fabrica sin fragancia) y la hoja de papel comienza a enrollarse sobre el núcleo hasta llegar al conteo de hojas (previamente perforadas) que lleva cada producto dependiendo de su gamma; al subproducto que se obtiene al terminar el conteo de hojas sobre un núcleo de papel kraft se le llama “bastón”, al terminar de rebobinar un bastón inmediatamente inicia el rebobinado del siguiente.

- Sellado

Al momento de terminar el rebobinado del bastón, este queda con la última hoja suelta y de seguir el proceso con esta condición existe un alto riesgo que se desenrolle, por lo que, la última hoja suelta del bastón debe adherirse químicamente al resto de hojas para evitar el riesgo de desenrollado. Este proceso se hace por medio de un sistema de aplicación de adhesivo ligero que coloca una línea muy fina de adhesivo en la última hoja, luego es presionada toda la periferia del bastón por medio de fajas y rodillos para garantizar que se haya llevado a cabo de forma correcta la adherencia.

- Cortado

Cuando se tiene el bastón sellado, este pasa a una cortadora de tipo orbital, la cual por medio de servomotores y sensores hace que el bastón avance de manera intermitente, cada avance es el largo de un rollo individual de papel, ya sea higiénico o de cocina. El largo de cada rollo depende de la gamma del producto que se esté produciendo.

- Empacado primario

Una vez se tienen todos los rollos individuales cortados, pasan a una empacadora la cual automáticamente los ordena y dispone físicamente según la presentación que se esté produciendo. Las presentaciones son:

Papel Higiénico: rollo individual, paquetes de cuatro rollos, paquetes de seis rollos, paquetes de doce rollos.

Papel toalla: rollo individual, paquetes de tres rollos.

El empaquetado se hace en polietileno impreso con los colores y marca del producto específico que se esté produciendo en ese momento.

- Empacado secundario

Los paquetes previamente sellados pasan a una enfardadora donde automáticamente ordena los paquetes, sea cual sea su presentación, para formar fardos de 48 rollos, es decir, si trabaja con rollos individuales toma 48 rollos para sellar el fardo; si trabaja con paquetes de cuatro rollos, toma doce paquetes para sellar el fardo; si trabaja con paquetes de seis rollos toma ocho paquetes para sellar el fardo y si trabaja con paquetes de doce rollos toma cuatro paquetes para sellar el fardo. El empaquetado secundario se realiza con polietileno completamente traslucido sin ningún diseño impreso. Una vez sellado el fardo, el producto pasa a almacén de producto terminado para poder ser dispuesto según la demanda lo requiera.

2.2 Marco referencial teórico del mantenimiento basado en condición

2.2.1 Generalidades

Las diferentes técnicas de mantenimiento proporcionan herramientas muy útiles para lograr que los activos industriales sean rentables en el largo plazo. Una de ellas, en la que se enfoca este documento; es el mantenimiento basado en condición de elementos rotativos (Rodamientos), esta técnica está incluida en el modelo de Mantenimiento

Centrado en Confiabilidad (RCM), con dicha metodología se consigue optimizar los recursos de mantenimiento en función de la continuidad de las operaciones de la maquinaria. Para evitar paros inesperados que provoquen pérdidas mayores en la elaboración de producto terminado de papel Tissue, además de evitar caer en sobrecostos por reemplazar elementos que aún tiene vida útil que ofrecer al proceso productivo.

La confiabilidad en las máquinas permite hacer programaciones y predicciones de producción muy certeras y permite dar un adecuado seguimiento a los presupuestos.

2.2.2 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad o RCM por sus siglas en inglés (Reliability Centred Maintenance), es una técnica o método utilizado en los sistemas de gestión de mantenimiento, que está destinada a garantizar que los equipos a los que está direccionado sigan cumpliendo su función de manera permanente según el plan y sin interrupciones inesperadas.

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad nace a principios de la década de 1960, debido a las altas tasas de accidentes causadas por fallas en equipos en la industria de la aviación comercial durante la década de los años 50's. Denotando que la metodología de mantenimiento en ese momento no era la adecuada (mantenimiento sistemático). Pero no fue sino hasta 1978 que la metodología RCM se considera documentada y es publicada, luego que el gobierno de los Estados Unidos solicitara un informe de la nueva metodología de mantenimiento de la aviación comercial. El cual fue provisto por Stanley Nowlan y Howard Heap de United Airlines.

Posteriormente el RCM ha tenido actualizaciones, estandarizaciones y adecuaciones según el rubro al que es enfocado. Sin embargo fue hasta 1999 cuando se decide estandarizar criterios mínimos para que un proceso pueda llevar el nombre de RCM, a través de la norma SAE JA 1011 y en el año 2002 la norma SAE JA 1012- En sus diferentes versiones

conserva los siguientes beneficios por sobre el uso exclusivo del Mantenimiento Programado PM por sus siglas en inglés (Programed Maintenance):

Aumento de la disponibilidad operacional de los activos físicos.

Disminución de la carga de mantenimiento rutinario.

Mejoramiento de la Seguridad Ocupacional y el cumplimiento de las regulaciones del medio ambiente (incluyendo conservación de energía).

Diseños y Operación mejorados.

Aumento en productividad.

Aumento del aprovechamiento de la vida útil de los activos.

Disminuye significativamente el consumo de refacciones de PM.

Las etapas de implementación del RCM, según la norma SAE JA 1011 con revisión del año 2009 son:

- Delimitar el contexto operativo, las funciones y los estándares de desempeño deseados asociados al activo (contexto operacional y funciones).
- Determinar cómo un activo puede fallar en el cumplimiento de sus funciones (fallas funcionales).
- Definir las causas de cada falla funcional (modos de falla).
- Describir qué sucede cuando ocurre cada falla (efectos de falla).
- Clasificar los efectos de las fallas (consecuencias de la falla).
- Determinar qué se debe realizar para predecir o prevenir cada falla (tareas e intervalos de tareas).
- Decidir si otras estrategias de gestión de fallas pueden ser más efectivas (cambios de una sola vez).

Para el caso de Alas Doradas S.A. no se busca implementar RCM para toda la gestión de mantenimiento, sino dirigirlo a los mayores fallos existentes en la actualizada, a través del uso de herramientas de monitoreo enfocadas a puntos críticos del proceso.

2.2.3 Análisis de vibraciones

El análisis de vibraciones es una de las técnicas que mejores resultados provee para prevenir daños catastróficos o paradas costosas de equipos en la industria debido a la exactitud de resultados, una vez desarrollado un adecuado análisis y seguimiento.

Todas las máquinas vibran a causa de las tolerancias de cada uno de los elementos que las constituyen, estas tolerancias proporcionan una vibración característica básica o inicial, la cual se expresa como la suma de sus componentes vectoriales para facilitar su captura, procesamiento y análisis.

La vibración característica de una máquina se monitorea para establecer un punto de comparación base, con ello poder tomar decisiones dependiendo de los resultados de mediciones futuras en la misma máquina y con las mismas condiciones de trabajo. Cualquier cambio en la vibración característica de una máquina funcionando en condiciones normales previamente establecidas, dará una alerta, la cual indicará que algún elemento ha sufrido deterioro y puede provocar una falla funcional.

Diferentes tipos de falla mostrarán diferentes tipos de vibraciones en las máquinas.

INTERPRETACIÓN DE INFORMACIÓN

Usualmente el análisis de una muestra de vibraciones se realiza en el dominio de la frecuencia, con ello se consigue separar sus componentes y poder analizarse con mayor facilidad en comparación a un análisis de las ondas en el dominio del tiempo.

Un análisis en el dominio de la frecuencia implica representar las ondas en una gráfica relacionando frecuencia y amplitud, a esto se le conoce como espectro.

Un analizador de espectros recolecta la información de las ondas que conforman las vibraciones y las muestra en un espectro amplitud vs frecuencia. Haciendo que el análisis se vuelva más fácil de interpretar de manera visual. A continuación la representación de cómo se relaciona gráficamente la información en dominio del tiempo y en dominio de la frecuencia (espectro).

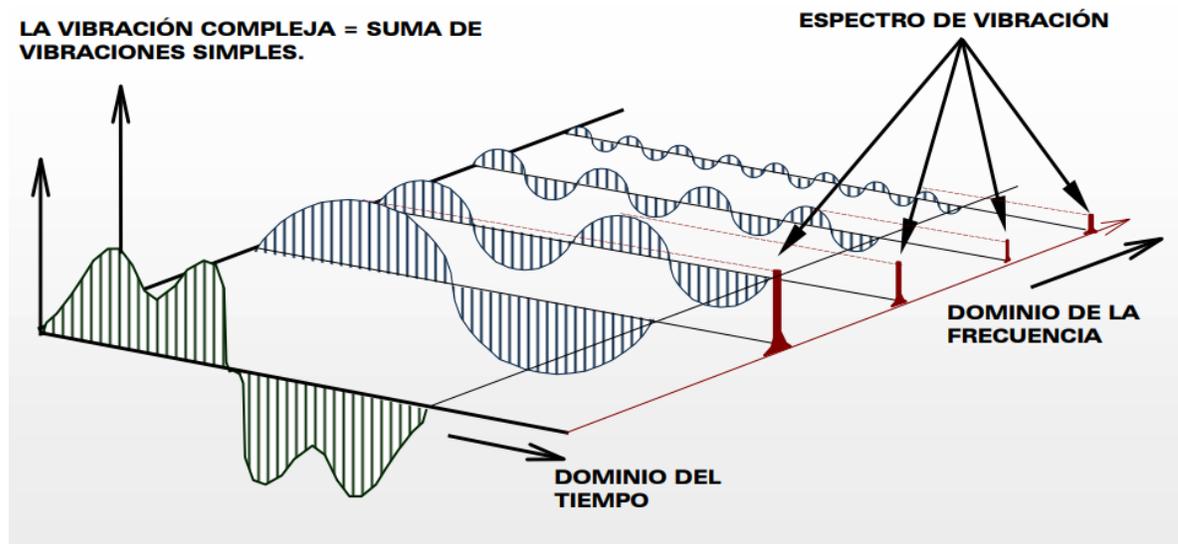


Figura 2.4. Señales en el dominio de tiempo vs dominio de la frecuencia (espectro)

A continuación se presenta la transformación de una señal compleja hacia una gráfica en dominio de la frecuencia:

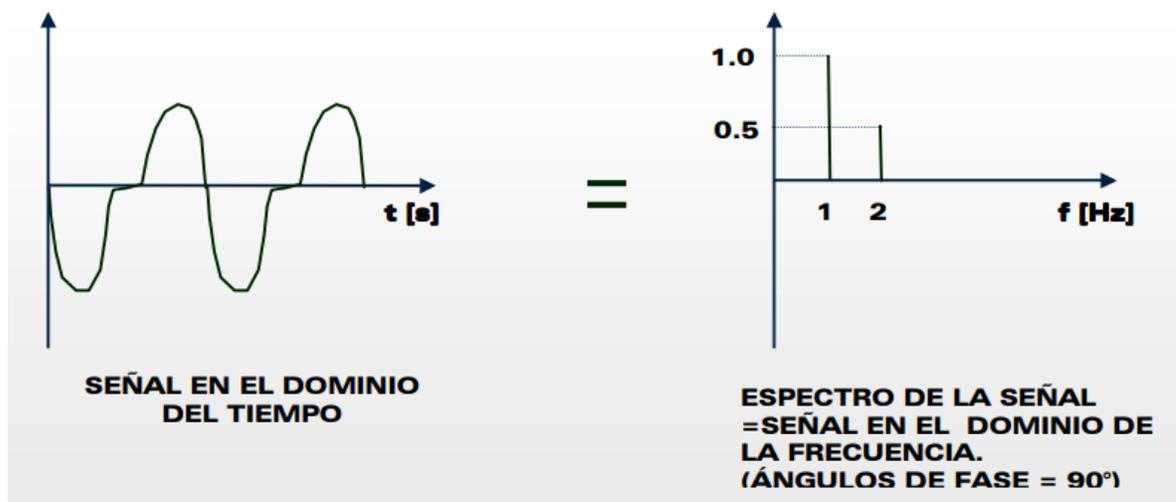


Figura 2.5. Equivalencia señal en dominio de tiempo vs dominio de la frecuencia

VIBRACIONES ARMÓNICAS

Las vibraciones armónicas son múltiplos de la frecuencia base en medición.

Normalmente la frecuencia base es el equivalente a la velocidad de rotación de una máquina, cuando existe algún síntoma de falla detectable en un análisis de vibraciones, también se presentan vibraciones con frecuencias múltiples de la señal base, las cuales son llamadas armónicas.

Una señal con una frecuencia del doble de la señal base se conoce como segunda armónica, una señal con una frecuencia al triple de la señal base se le conoce como tercera armónica, etc.

Como parte del análisis de vibraciones, se suele hacer una comparación del espectro medido y una serie de patrones usuales relacionados a diferentes tipos de falla, los cuales se muestran en el anexo 1.

2.2.4 Medición de vibraciones

El análisis de la vibración puede definirse como el estudio de las oscilaciones mecánicas de un sistema dinámico, en nuestro caso, de elementos rodantes en maquinaria industrial.

Las mediciones de vibración deben ser hechas con la finalidad de producir los datos necesarios, para realizar conclusiones significativas del sistema en estudio. Los resultados serán usados para minimizar o eliminar la vibración anómala, y por tanto eliminar el ruido resultante. En algunas aplicaciones, el ruido no es el parámetro a controlar, sino la calidad del producto obtenido por el sistema, tal como el caso de ADSA.

Un sistema de medición y procesamiento de señales de vibración por computador típico, también conocido como Analizador de vibraciones, está formado por:

Los transductores de vibraciones (Acelerómetros, LVDT) los cuales se encargan de transformar las vibraciones en señales eléctricas.

Un sistema de acondicionamiento de señal, el cual se encarga de recoger las diferentes señales, amplificarlas y llevarlas a los niveles de tensión aceptados por el sistema de adquisición de datos.

La tarjeta de adquisición de datos, la cual se encarga de digitalizar la señal, realizando para ello, un muestreo discreto de la señal analógica proveniente del acondicionamiento de señal, y de introducirla al computador donde se realizan diferentes tipos de procesamiento para obtener toda la información que se requiere para el análisis y monitoreo de las vibraciones de las máquinas.

TRANSDUCTORES DE VIBRACIONES

Los transductores de vibración son utilizados para medir la velocidad lineal, desplazamiento, proximidad y aceleración de sistemas sometidos a vibración. En general, los transductores empleados en el análisis de vibración, convierten la energía mecánica en una señal eléctrica en función de la vibración. Estos pueden ser usados aisladamente, o en conjunto con un sistema de adquisición de datos. Pueden encontrarse en diversas presentaciones: Elementos sensores simples, transductores encapsulados, o como parte de un sistema, incorporando características tales como: Totalización, visualización local o remota y registro de datos. Los transductores de vibración pueden tener de uno a tres

ejes de medición, siendo estos ejes ortogonales. Al momento de seleccionar transductores de vibración es necesario considerar cinco características principales a saber:

- Rango de medición: Puede ser en unidades “g” para la aceleración, en pulgadas/segundo para velocidad lineal (y otras distancias en el tiempo), y metros u otras distancias para desplazamiento y proximidad.
- Rango de frecuencia: Medida en Hertz (Hz).
- Precisión: Representada como un porcentaje del error permisible sobre el rango completo de medición del dispositivo.
- Sensibilidad transversal: El efecto que una fuerza ortogonal puede ejercer sobre la fuerza que se está midiendo.
- Condiciones ambientales: variables tales como la temperatura de operación y la máxima fuerza de vibración y choque, que el transductor será capaz de manejar.

EQUIPOS DE PROCESAMIENTO Y VISUALIZACIÓN

Existen diferentes formas de analizar y visualizar las señales de vibración provenientes de los transductores:

- 1- Análisis del valor eficaz “RMS” de la señal.
- 2- Amplitud pico a pico o simplemente su amplitud pico.
- 3- Valor promedio (rectificada) de la señal.
- 4- Análisis en el dominio de la frecuencia.

Un buen equipo de visualización de vibración, debe tener la capacidad de analizar el espectro de frecuencias de la señal y mostrarla de manera precisa. Los analizadores son la herramienta más importante en los estudios de vibración. Estos equipos normalmente están equipados con pantalla gráfica, tal como un tubo de rayos catódicos, pantallas LCD o LED.

2.2.5 Termografía

ONDAS INFRARROJAS

Los infrarrojos están a medio camino entre el espectro visible y las microondas del espectro electromagnético. La fuente principal de radiación de infrarrojos es el calor o la radiación térmica. Cualquier objeto con una temperatura superior al cero absoluto (-273,15 °C o 0 Kelvin) emite radiación en la región infrarroja.

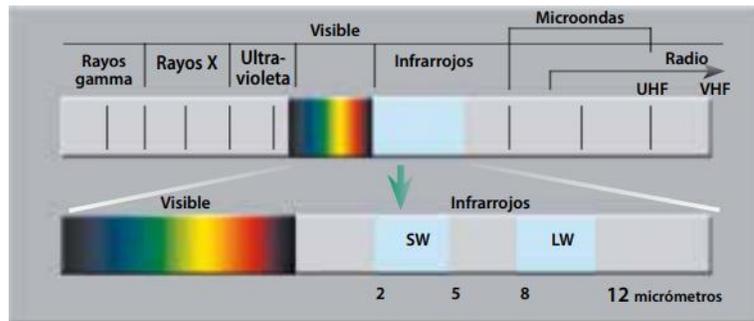


Figura 2.6. Espectro de luz descompuesto

LA CÁMARA TERMOGRÁFICA

La energía de infrarrojos (A) que irradia un objeto se enfoca con el sistema óptico (B) sobre un detector de infrarrojos (C). El detector envía los datos al sensor electrónico (D) para procesar la imagen. Y el sensor traduce los datos en una imagen compatible con el visor y visualizable en un monitor de vídeo estándar o una pantalla LCD.

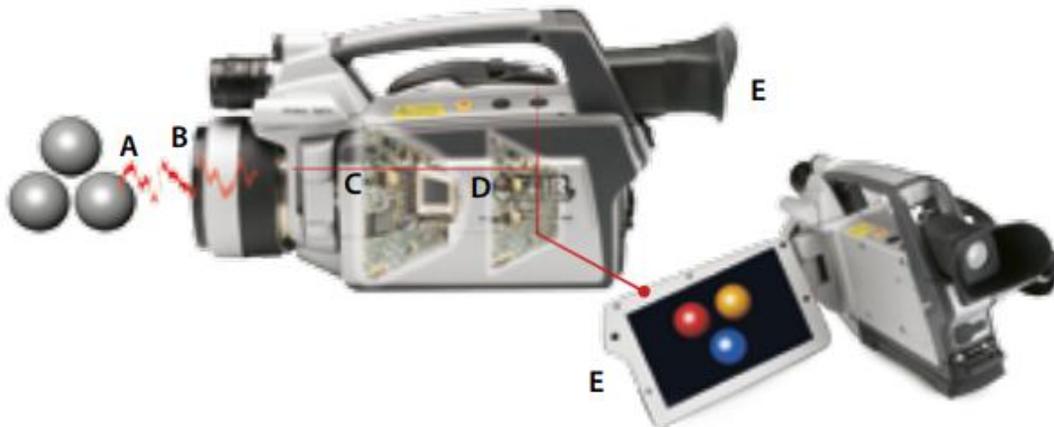


Figura 2.7. Componentes básicos de cámaras termográficas

La termografía de infrarrojos consiste en transformar una imagen de infrarrojos en una imagen radiométrica que permita leer los valores de temperatura. Por tanto, cada píxel de la imagen radiométrica es, de hecho, una medición de temperatura. Para ello, se incorporan complejos algoritmos a la cámara de infrarrojos. Esto hace de la cámara termográfica una herramienta perfecta para el mantenimiento predictivo.

En muchos sectores, los sistemas mecánicos son la espina dorsal de todas las operaciones.

Las cintas transportadoras son un buen ejemplo. Si un rodillo está gastado, aparecerá claramente en la termografía, indicando que debe cambiarse. Cuando los componentes mecánicos se desgastan y pierden eficiencia suelen disipar más calor. Como resultado, los equipos o sistemas defectuosos aumentan rápidamente su temperatura antes de averiarse.

Al comparar periódicamente lecturas de una cámara termográfica con el perfil de temperatura de una máquina en condiciones de funcionamiento normales, es posible detectar una gran cantidad de fallos distintos.

También se pueden inspeccionar motores mediante una cámara termográfica. Los fallos en el motor, como los signos de desgaste en el contacto de las escobillas y los cortocircuitos en los armazones, suelen producir un calor excesivo antes del fallo pero son imposibles de detectar mediante un análisis de vibraciones puesto que con frecuencia generan poca o ninguna vibración. La termografía ofrece una visión completa y permite comparar las temperaturas de distintos motores.

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se presentan los componentes de la metodología utilizada para recabar la información necesaria para el desarrollo de la propuesta de mantenimiento basado en condición: fuentes de información, instrumentos a utilizar, tratamiento de la información y datos recabados y el procedimiento para el mismo desarrollo de la propuesta.

3.1 Tipo de estudio

Se llevará a cabo un trabajo bajo la clasificación de una investigación no experimental de tipo aplicada, como lo menciona Daniel S. Behar sobre la Investigación aplicada: “También recibe el nombre de práctica, activa, dinámica. Se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos que se adquieren. La investigación aplicada se encuentra estrechamente vinculada con la investigación básica, pues depende de los resultados y avances de esta última; esto queda aclarado si nos percatamos de que toda investigación aplicada requiere de un marco teórico”, tal es el caso de la investigación propuesta, que busca, a través del uso de técnicas de monitoreo previamente desarrolladas, aplicarlas para resolver la necesidad de reducción de pérdidas por tiempos de paro por fallas que tiene ADSA.

Daniel S. Behar se refiere a una investigación no experimental: “El investigador observa los fenómenos tal y como ocurren naturalmente, sin intervenir en su desarrollo”.

También el Dr. Roberto Sampieri, Dr. Carlos Collado y Dra. María Baptista aportan a la definición de una investigación no experimental como: “La investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, se trata de estudios donde no hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables. Lo que hacemos en la investigación no experimental es observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para posteriormente analizarlos”.

3.2 Método de investigación

Para el presente trabajo de implementación se utilizará una combinación entre método inductivo y deductivo, esto debido a que se parte de dos premisas específicas.

Y. Jurado dice: “La inducción asciende de lo particular a lo general. Es decir, se emplea este método cuando se observan hechos particulares y se obtienen proposiciones generales. Esto significa que es un proceso mediante el cual a partir del estudio de casos particulares se obtienen conclusiones o leyes universales que explican o relacionan los fenómenos estudiados”.

Tomando como referencia esta definición se formula la premisa del método inductivo: Los paros de producción y las correspondientes pérdidas financieras son debido a daños en rodamientos y deformación de ejes de maquinaria rotativa.

Es decir se busca comprobar que las pérdidas financieras de ADSA vienen dadas como consecuencia de los paros de producción y consecuentes ganancias no percibidas, además de los costos asociados al tiempo de no producción.

Por otra parte, Y. Jurado menciona: “La deducción desciende de lo general a lo particular, este método parte de datos generales aceptados como verdaderos, para inferir, por medio de razonamiento lógico, varias suposiciones. Este enfoque se basa en certezas previamente establecidas como principio general, para luego emplear ese marco teórico a casos individuales y comprobar su validez. Se puede afirmar que aplicar el resultado de la inducción a casos nuevos es deducción”.

Con esta última definición se genera la premisa del método deductivo: Aplicando un adecuado análisis de vibración y termografía, los cuales son métodos ya conocidos y estudiados, dirigidos a los actuales puntos críticos de las líneas de producción de ADSA, se reducirán las pérdidas por fallos en un 50% del valor actual.

3.3 Instrumentos de investigación documental

Investigación bibliográfica

La investigación bibliográfica es una herramienta que principalmente nos lleva a recopilar información y datos en forma documental, en textos científicos, libros, reportes, internet o cualquier otro tipo de información previamente documentada.

Documentos y registros de ADSA

Entre la documentación brindada por la empresa se encuentran registros financieros, historial de fallas, documentos organizacionales, etc.

3.4 Instrumentos de investigación de campo

Observación directa

Se realizarán visitas de campo en las que se identificarán las ubicaciones y posiciones en las que se ubicarán los instrumentos de medición para tener los resultados esperados.

3.5 Técnicas y herramientas

Análisis de la información

La información recopilada se utilizará para crear un plan de mantenimiento con los requerimientos y frecuencias adecuados para cumplir el objetivo de reducción de fallas durante el proceso productivo.

3.6. Procedimiento de la investigación

El procedimiento que se utilizará para lograr los objetivos de este trabajo es el siguiente:

a. Búsqueda de información y análisis de referencias bibliografías teóricas y prácticas sobre sistemas de mantenimiento basado en condiciones en diferentes tipos de industria.

b. Uso de la información de ADSA como referencia para fundamentar los planes de mantenimiento que se crearán utilizando la teoría de mantenimiento basado en condición.

c. Identificación de los recursos (económicos, humanos, etc.) requeridos para el desarrollo del sistema de gestión de mantenimiento para la planta de conversión de ADSA.

4. PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN

En este capítulo se presenta la propuesta de un sistema de mantenimiento basado en condición y pasos a seguir para su implementación a corto plazo.

La propuesta inicia definiendo los criterios de selección de los equipos que serán monitoreados, así como la descripción de las criticidades de cada uno y los puntos críticos, mostrando las rutas más eficientes propuestas para su monitoreo y las frecuencias con las cuales deberán ser monitoreadas, también se incluyen los procedimientos para el establecimiento de líneas base para cada uno de las tecnologías a aplicar y los formatos de registro de cada una de ellas, describiendo además los criterios para la selección de equipo con el cual se realizaran los monitoreos y los criterios para la selección del personal encargado de toda la implementación, presentando también los requerimientos necesarios tanto administrativos como financieros, finalizando con un plan con tiempos definidos para la ejecución paso a paso del modelo, así como la metodología de evaluación y estandarización de la implementación.

4.1 Flujo para evaluación de puntos de aplicación de tecnologías de monitoreo

Para todas la líneas productivas en planta de conversión de la empresa ADSA, se han evaluado en base al flujograma mostrado en la figura 4.1 para determinar si dichos puntos son candidatos elegibles para la aplicación de tecnologías de monitoreo de condiciones en base a tres criterios:

- Seguridad del personal.
- Calidad del producto.
- Productividad del equipo.

El flujograma de la figura 4.1 es una simplificación del que propone la norma ISO 17359 2002, el cual se ha modificado para facilitar su aplicación en los equipos del proceso productivo de ADSA.

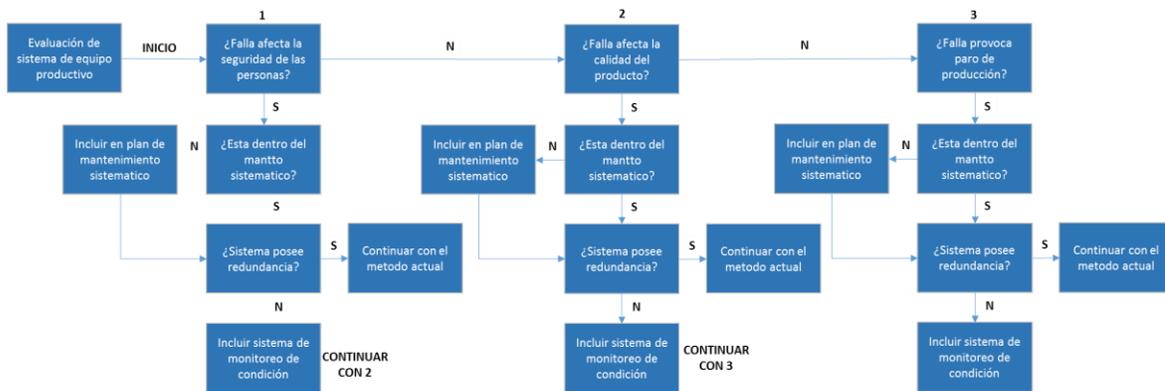


Figura 4.1. Diagrama de flujo para evaluar aplicación de tecnologías de monitoreo

4.2 Descripción de líneas de producción y definición de criticidad

En la planta de conversión de papel Tissue en ADSA se cuenta con cinco líneas de producción las cuales tienen un ritmo de trabajo continuo las 24/7, por lo que para la producción todas tienen la misma criticidad, únicamente se programa un paro mensual de 10 horas por lo que es vital tener claro cuáles son las prioridades de mantenimiento para poder programar adecuadamente las actividades que se van a realizar.

En la tabla 4.1 se resume cuáles son las líneas de producción además de presentar datos relevantes a tomar en cuenta para la definición de su criticidad.

Línea	Modelo	velocidad (ton/h)	Criticidad
Perini 1	813	0.9	A
Perini 2	813	0.9	A
Perini 3	813	0.9	A
Perini 4	813	0.9	A
T-700	Time-700	3	A

Tabla 4.1 Capacidad y criticidad de líneas

Las líneas de producción se componen de múltiples equipos, los cuales en su conjunto llevan a cabo el proceso productivo, iniciando por las rebobinadoras, las cuales se subdividen como se muestra en la tabla 4.1, después de las rebobinadoras las líneas continúan cada una a su cortadora las cuales las cinco líneas tienen cortadoras modelo

Perini 176-E y por medio de un sistema de bandas transportadoras de producto llegan a una empacadora primaria Casmatic CMW-208 (cada línea tiene una propia, idénticas entre sí) y finalmente por medio de otro sistema de bandas de transporte solamente la línea T-700 llega a una enfardadora (empacado secundario) Casmatic CMW-202, las líneas Perini 1, 2, 3 y 4 en enfardado o empaque secundario se hace manualmente por la velocidad que estas líneas poseen.

Además, por medio del sistema de bandas de transporte es posible interconectar las líneas desde la salida de las cortadoras, por si en dado caso una empacadora Casmatic CMW208 llegara a tener un paro prolongado, poder alimentar una empacadora con dos líneas de rebobinado.

4.3 Identificación de puntos críticos del proceso

A continuación se muestran los sistemas de las líneas de producción que se han evaluado en base el diagrama de flujo de la figura 4.1, y que han resultado como sistemas elegibles para la aplicación de tecnologías predictivas. Al final de la sección se presenta el cuadro 4.2 donde se resumen los criterios para selección de puntos de medición.

4.3.1 Rebobinadoras Perini 813

La figura 2.3. Muestra el diagrama de flujo del proceso de conversión de papel Tissue para la línea T-700, el proceso de las líneas Perini 813 se diferencian únicamente en que estas no poseen módulo de laminado, es decir, no pueden trabajar con papel de hoja doble sino que únicamente hoja sencilla.

Módulo desenrollador

Este módulo consta de dos punzones desenrolladores, los cuales se accionan por medio de un cilindro neumático.

Cada desenrollador posee dos rodamientos los cuales serán los puntos a inspeccionar mediante la medición de vibración. Para fines de estandarización se llamara punto "A" al punto . donde se apoya la carga y punto "B" al punto de apoyo. Para este módulo se inspeccionarán cuatro puntos.

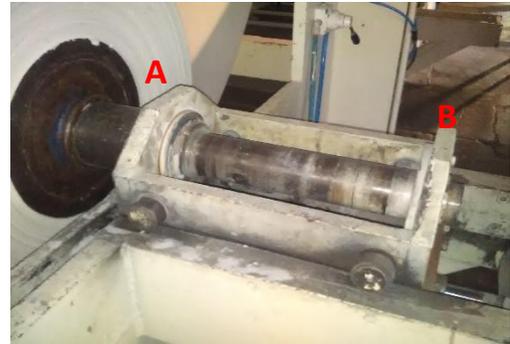


Figura 4.2.. Módulo desenrollador Perini 813

Módulo gofrador

Este módulo consta con dos rodillo uno de acero y uno de hule cada uno apoyado sobre dos rodamientos, los cuales serán los puntos a inspeccionar mediante vibración. Para este módulo se inspeccionarán cuatro puntos.



Figura 4.3. Módulo gofrador Perini 813

Módulo perforador / rebobinador

Este módulo consta de dos rodillos, el perforador el cual realiza el micro corte en el papel para facilitar el corte de las hojas ya en los rollos terminador y el rodillo prensa el cual es el encargado de rebobinar el papel sobre un centro de cartón prefabricado y darle fijeza al rebobinado, cada uno se apoya sobre dos rodamientos los cuales serán los puntos de inspección por medio de vibración.



Figura 4.4. Módulo perforador/rebobinador

Además estas máquinas convertidoras únicamente poseen un motor eléctrico para proveer de potencia al proceso, y toda la transmisión hacia los demás módulos se realiza por medio de un sistema de bandas de transmisión, para este modelo específico el motor se encuentra en el módulo rebobinador, el cual se tomara medición de vibración en dos puntos. Para este módulo se inspeccionarán seis puntos.

Cortadora

En la cortadora los puntos para monitoreo de vibración son dos motorreductores los cuales se encargan de los movimientos de la cuchilla de corte (movimiento orbital y movimiento giratorio).

Además de inspeccionar mediante termografía dos motorreductores que por su baja potencia (1hp) no son candidatos a medición de vibración y se encargan de movilizar los bastones de papel a través de la zona de corte.



Figura 4.5. Cortadora Perini 813

Empacado Primario

Esta sección de la línea no se incluirá ya que la máquina completa no aplica por tener redundancia al poder cambiar flujo de producto hacia otra empacadora del mismo modelo por medio del sistema de bandas transportadoras.

Empacado Secundario

Esta sección de la línea no se incluirá ya que no aplica por no tener este componente. Las líneas 813, realiza esta parte del proceso productivo de forma manual.

4.3.2 Rebobinadora Perini T-700

Módulo desenrollador

Este módulo de la línea no se incluirá ya que la máquina requiere dos desenrolladores para el proceso pero la máquina cuenta con tres por tanto no aplica por tener redundancia al poder cambiar fácilmente de desenrollador y poder intervenir sin problemas.

Módulo gofrador

Este módulo de la línea no se incluirá ya que la máquina requiere dos juegos de gofradores para el proceso pero la máquina cuenta con tres juegos por tanto no aplica por tener redundancia al poder cambiar fácilmente de gofrador y poder intervenir sin problemas.

Módulo laminador

Este módulo cuenta con múltiples puntos a ser monitoreados mediante vibración ya que es un módulo con múltiples rodillos que realizan diferentes funciones para el proceso de producción de papel:



Figura 4.6. Módulo laminador Perini T-700

-Un rodillo Anilox el cual recoge adhesivo para el laminado y lo transfiere hacia otro rodillo para luego ser transmitido a la hoja de papel, este rodillo tiene dos puntos de apoyo en rodamientos los cuales serán monitoreados mediante medición de



Figura 4.7. Rodillo Anilox Perini T-700

vibración, además de contar con un reductor planetario y un servomotor los cuales serán monitoreados por termografía debido a la baja potencia que poseen (2 hp).

-Un rodillo laminador el cual trasfiere directamente el adhesivo a una cara de una hoja de papel para poder adherirse a otra hoja de papel y obtener una hoja doble, este rodillo está montado sobre dos rodamientos los cuales serán los puntos que se monitorearan mediante la medición de vibraciones.



Figura 4.8. Rodillo laminador Perini T-700

-Un rodillo gofrador de marca el cual graba en el papel el diseño característico de la marca que produce ADSA en este caso un diseño de mariposa, consta de igual forma con un rodillo de acero y un rodillo de hule los cuales se presionan entre sí separados por la película de papel de hoja doble. Ambos rodillos van soportados sobre rodamientos los cuales serán monitoreados mediante medición de vibraciones.



Figura 4.9. Rodillo gofrador Perini T-700

-Un solo motor eléctrico produce la potencia para trabajar este módulo ya que la transmisión hacia los diferentes rodillos se hace por medio de un reductor y de sistemas de reducción de fajas y poleas dentadas, en este motor se monitoreará en dos puntos mediante medición de vibraciones.

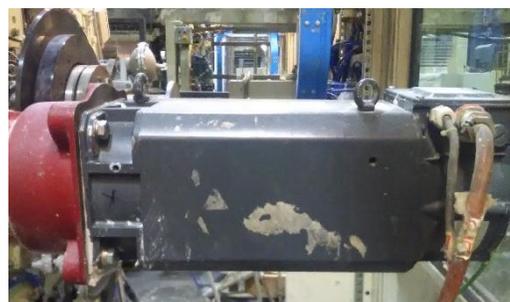


Figura 4.10. Motor eléctrico de módulo laminador

Módulo perforador / rebobinador

Este módulo consta de dos rodillos, el perforador el cual realiza el micro corte en el papel para facilitar el corte de las hojas ya en los rollos terminador y el rodillo prensa el cual es el encargado de rebobinar el papel sobre un centro de cartón prefabricado y darle fijeza al rebobinado, cada uno se apoya sobre dos rodamientos los cuales serán los puntos de inspección por medio de vibración.



Figura 4.11 Módulo perforador / rebobinador

Además este módulo de la línea convertidora únicamente poseen un motor eléctrico y toda la transmisión hacia los dos rodillos se realiza mediante reducciones de poleas y fajas sin reductor mecánico, para este caso se tomara medición de vibración en dos puntos.

Módulo de sellado

Este módulo se encarga de sellar la última hoja suelta del bastón después del rebobinado mediante la aplicación de una línea fina de adhesivo en una lámina, en este módulo los puntos a ser monitoreados es un motorreductor eléctrico el cual se monitoreara en dos puntos mediante vibraciones y un reductor que será monitoreado mediante termografía.



Figura 4.12 Modulo de sellado Perini T-700

Cortadora

En la cortadora los puntos para monitoreo de vibración son dos motorreductores los cuales se encargan de los movimientos de la cuchilla de corte (movimiento orbital y movimiento giratorio).

Además de inspeccionar mediante termografía dos motorreductores que por su baja potencia (1hp) no son candidatos a medición de vibración y se encargan de movilizar los bastones de papel a través de la zona de corte.



Figura 4.13 Cortadora Perini T-700

Empacado Primario

El empacado primario se realiza en una película de polietileno en una máquina marca Casmatic modelo CMW-208, el cual es una máquina prototipo diseñada para ADSA el empacado de papel Tissue, los puntos de esta máquina los cuales serán monitoreados son una serie de reductores conectados a servomotores los cuales se inspeccionarán únicamente mediante termografía por la baja potencia que representan (0.25 a 0.75 hp).



Figura 4.14 Casmatic CMW-208

Empacado Secundario

El empacado secundario se realiza con una película de polietileno en una máquina marca Casmatic modelo CMW-202, los puntos de esta máquina los cuales serán monitoreados son una serie de reductores los cuales se ha definido inspeccionar únicamente mediante termografía debido a su potencia (0.25 a 0.75 hp).



Figura 4.15 Casmatic CMW-202

En la tabla 4.2 se presenta de manera visual la ruta de definición de puntos de medición presentado en la figura 4.1 para facilitar su comprensión.

Línea	Modulo	Afecta seguridad	Afecta calidad	Afecta producción	Posee redundancia	Aplica para medicion
813	Desenrollador	no	no	si	no	SI
	Gofrador	no	no	si	no	SI
	Perforador	no	no	si	no	SI
	Rebobinador	no	no	si	no	SI
	Cortadora	no	no	si	no	SI
	Empacado primario	no	no	si	si	NO
	Empacado secundario	no	no	si	si	NO
T-700	Desenrollador	no	no	si	si	NO
	Gofrador	no	no	si	si	NO
	Laminador	no	no	si	no	SI
	Perforador	no	no	si	no	SI
	Rebobinador	no	no	si	no	SI
	Sellado	no	no	si	no	SI
	Cortadora	no	no	si	no	SI
	Empacado primario	no	no	si	no	SI
	Empacado secundario	no	no	si	no	SI

Tabla 4.2 Resumen de criterios de selección de puntos de medición

MÓDULOS NO INCLUIDOS EN SISTEMA DE MONITOREO DE CONDICIÓN		
Línea	Sistema	Razón
Líneas 813	Empacado Primario	Posee redundancia
	Empacado secundario	Posee redundancia
Línea T-700	Módulo desenrollador de papel	Posee redundancia
	Módulo gofrador de papel	Posee redundancia

Tabla 4.3 Módulos no incluidos en sistema de monitoreo

4.4 Rutas para monitoreo de vibraciones

Para la medición de vibraciones se generaran dos rutas diferentes debido a la estandarización de líneas que se tienen una misma ruta aplica para cuatro líneas:

- Esta ruta que se pueda correr en las cuatro líneas Perini 813 por la estandarización de equipo en dichas líneas.

Linea perini 813				
Modulo desenrollador	Punzon lado transmisión	Medicion punto A	Medicion Axial y Radial	
		Medicion Punto B	Medicion Axial y Radial	
	Punzon lado operación	Medicion punto A	Medicion Axial y Radial	
		Medicion Punto B	Medicion Axial y Radial	
	Modulo gofrador			
	Rodillo de acero		Medicion punto A	Medicion Axial y Radial
Medicion Punto B			Medicion Axial y Radial	
Rodillo de hule		Medicion punto A	Medicion Axial y Radial	
		Medicion Punto B	Medicion Axial y Radial	
Modulo rebobinador				
Rodillo perforador		Medicion punto A	Medicion Axial y Radial	
		Medicion Punto B	Medicion Axial y Radial	
	Rodillo prensa	Medicion punto A	Medicion Axial y Radial	
		Medicion Punto B	Medicion Axial y Radial	
	Motor electrico	Medicion punto A	Medicion Axial y Radial	
		Medicion Punto B	Medicion Axial y Radial	
Cortadora				
Motor orbital		Medicion punto A	Medicion Axial y Radial	
		Medicion Punto B	Medicion Axial y Radial	
	Motor giratorio	Medicion punto A	Medicion Axial y Radial	
		Medicion Punto B	Medicion Axial y Radial	

Figura 4.16 Ruta de aplicación de mediciones Perini 813

- Ruta para medición de vibración en línea T-700

Linea T-700			
Modulo laminador			
Rodillo anilox		Medicion punto A	Medicion Axial y Radial
		Medicion Punto B	Medicion Axial y Radial
Rodillo laminador		Medicion punto A	Medicion Axial y Radial
		Medicion Punto B	Medicion Axial y Radial
Rodillo gofrador de acero		Medicion punto A	Medicion Axial y Radial
		Medicion Punto B	Medicion Axial y Radial
Rodillo gofrador de hule		Medicion punto A	Medicion Axial y Radial
		Medicion Punto B	Medicion Axial y Radial
Motor electrico		Medicion punto A	Medicion Axial y Radial
		Medicion Punto B	Medicion Axial y Radial
Modulo rebobinador			
Rodillo perforador		Medicion punto A	Medicion Axial y Radial
		Medicion Punto B	Medicion Axial y Radial
Rodillo prensa		Medicion punto A	Medicion Axial y Radial
		Medicion Punto B	Medicion Axial y Radial
Motor electrico		Medicion punto A	Medicion Axial y Radial
		Medicion Punto B	Medicion Axial y Radial
Modulo de sellado			
Motor electrico		Medicion punto A	Medicion Axial y Radial
		Medicion Punto B	Medicion Axial y Radial
Cortadora			
Motor orbital		Medicion punto A	Medicion Axial y Radial
		Medicion Punto B	Medicion Axial y Radial
Motor giratorio		Medicion punto A	Medicion Axial y Radial
		Medicion Punto B	Medicion Axial y Radial

Figura 4.17 Ruta de aplicación de mediciones de vibraciones Perini T-700

4.5 Rutas para monitoreo de temperatura mediante termografía.

Para la medición de termografías en reductores se establecerá como estándar tomar cada termografía a una distancia de 50 cm del reductor en el ángulo más horizontal posible frente a cada reductor, el valor de 50 cm se define por el tamaño de los reductores es el adecuado para enfocar únicamente el elemento de interés.

Para la toma de termografías se generaran dos rutas diferentes para los dos modelos de líneas que se tienen:

- Ruta de inspección termográfica compatible con las cuatro líneas Perini 813, por la estandarización de equipos en dichas líneas. Tiempo de ejecución 6 minutos.

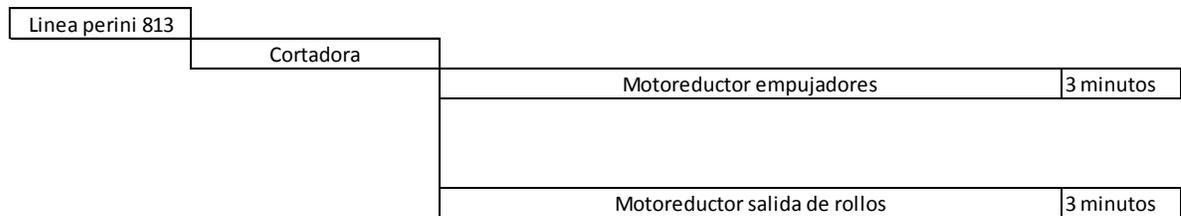


Figura 4.18 Ruta de aplicación de mediciones de termografía Perini 813

- Ruta de inspección termográfica para línea T-700, tiempo de ejecución 32 minutos.

T-700	Modulo laminador		
		Servomotor de anilox	3 minutos
		Reductor de anilox	3 minutos
	Modulo de sellado		
		Reductor	3 minutos
	Cortadora		
		Motoreductor empujadores	3 minutos
		Motoreductor salida de rollos	3 minutos
	Empacadora		
		Reductor de tren final	3 minutos
		Reductor bandas de salida de lanzadores	3 minutos
		Reductor bandas de entrada a lanzadores	3 minutos
		Reductor de remolque de salida (peines)	3 minutos
		Reductor de bandas de sellado de paquetes izquierdo	3 minutos
		Reductor de bandas de sellado de paquetes derecho	3 minutos
		Reductor de banda de salida de paquete inferior	3 minutos
		Reductor de traslapador	3 minutos
		Reductor de plegadores laterales moviles	3 minutos
		Reductor cuchilla de corte de polietileno	3 minutos
		Reductor del desenrollador de bobina de polietileno	3 minutos
		Reductor de accionamiento contraplegador	3 minutos
	Reductor accionamiento vertical barra de sella fondo	3 minutos	
	Reductor de elevador de rollos	3 minutos	

T-700		
	Enfardadora	
	Reductor de lanzador de paquetes	3 minutos
	Reductor de banda de entrada al desviador	3 minutos
	Reductor del desviador de paquetes	3 minutos
	Reductor de banda de alimentacion al enderezador	3 minutos
	Reductor de accionamiento al enderezador	3 minutos
	Reductor de accionamiento al extractor	3 minutos
	Reductor del empujador de paquetes	3 minutos
	Reductor de accionamiento al elevador	3 minutos
	Reductor de accionamiento a banda de elevador	3 minutos
	Reductor alimentacion de elevador y rodillo goma lanzador	3 minutos
	Reductor accionamiento rodillos desenrolladores de polietileno	3 minutos
	Reductor de ajuste de tunel	3 minutos
	Reductor accionamiento al corte y suelda	3 minutos

Figura 4.19 Ruta de aplicación de mediciones de termografía Perini T-700

A continuación en la tabla 4.4 se presenta un resumen especificando cada uno de los puntos de medición de cada una de las rutas de aplicación de análisis de vibración para los modelos de líneas 813 y T-700, en la tabla se detallan la línea, módulo, elemento a medir, puntos que se medirán y el tiempo para realizar la medición en cada elemento.

- Tiempo para ruta de medición en líneas 813, 26 minutos.
- Tiempo para ruta de medición en línea T-700, 40 minutos.

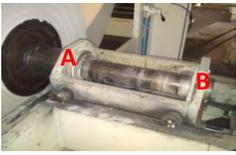
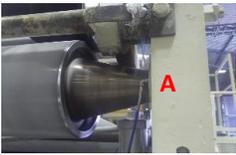
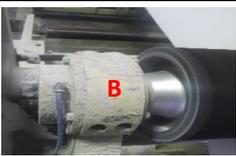
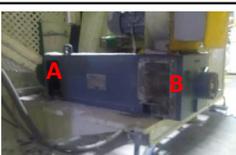
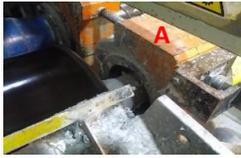
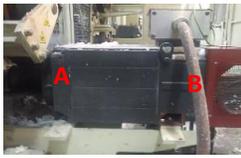
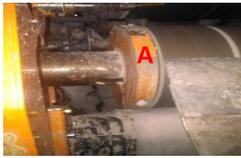
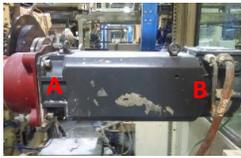
Linea	Modulo	Elemento	Ilustracion	Punto A		Punto B		Tiempo (min)
813	Desenrollador	Punzón lado transmisión		Axial	Radial	Axial	Radial	2
		Punzón lado operación		Axial	Radial	Axial	Radial	2
	Gofrador	Rodillo de acero		Axial	Radial	Axial	Radial	4
		Rodillo de hule		Axial	Radial	Axial	Radial	4
	Rebobinador	Rodillo perforador		Axial	Radial	Axial	Radial	4
		Rodillo prensa		Axial	Radial	Axial	Radial	4
		Motor electrico		Axial	Radial	Axial	Radial	2
	Cortadora	Motor orbital		Axial	Radial	Axial	Radial	2
		Motor giratorio		Axial	Radial	Axial	Radial	2

Tabla 4.4. Tabla de aplicación de ruta de aplicación para análisis de vibraciones en línea 813

Linea	Modulo	Elemento	Ilustracion	Punto A		Punto B		Tiempo (min)
T-700	Laminador	Rodillo anilox		Axial	Radial	Axial	Radial	4
		Rodillo laminador		Axial	Radial	Axial	Radial	4
		Rodillo gofrador acero		Axial	Radial	Axial	Radial	6
		Rodillo gofrador hule		Axial	Radial	Axial	Radial	6
		Motor electrico		Axial	Radial	Axial	Radial	2
	Rebobinador	Rodillo perforador		Axial	Radial	Axial	Radial	6
		Rodillo prensa		Axial	Radial	Axial	Radial	4
		Motor electrico		Axial	Radial	Axial	Radial	2
	Sellado	Motor electrico		Axial	Radial	Axial	Radial	2

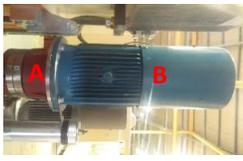
Cortadora	Motor orbital		Axial	Radial	Axial	Radial	2
	Motor giratorio		Axial	Radial	Axial	Radial	2

Tabla 4.5. Tabla de aplicación de ruta de aplicación para análisis de vibraciones en línea T-700

4.6 Frecuencia de monitoreo

Contando con las rutas para la medición tanto de vibraciones como de termografía, es necesario contar con una frecuencia de toma de mediciones para las líneas 813 y para T-700, basado en la velocidad de producción de dichas líneas, cabe mencionar que una vez se implementen las rutas las frecuencias de monitoreo pueden cambiar dependiendo de los resultados que se obtengan. Dichas frecuencias y rutas se deberán cargar en el CMMS con el que ADSA ya cuenta para poder llevar de forma gráfica el comportamiento de cada punto a lo largo del tiempo para poder determinar valores límites permitidos y así poder tomar decisiones acertadas y oportunas.

El criterio para la definición de la frecuencia de monitoreo es el tiempo debido a que las líneas operan de forma continua 24/7, se ha definido que el tiempo es la unidad de medidas más adecuada.

En una etapa temprana de la implementación se plantea un monitoreo diario de condiciones tanto de vibraciones como de termografía y a medida las mediciones se vayan estabilizando y formando tendencias y el personal se vaya adaptando a las nuevas rutinas la frecuencia de medición se podrá ir alargando hasta que el responsable de la implementación defina un valor óptimo.

Línea	Metodo	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5
Perini 813	Vibración	Medición diaria	Medición diaria	Medición diaria	Medición diaria	Medición semanal
	Termografía	Medición diaria	Medición diaria	Medición diaria	Medición diaria	Medición semanal
T-700	Vibración	Medición diaria	Medición diaria	Medición diaria	Medición diaria	Medición semanal
	Termografía	Medición diaria	Medición diaria	Medición diaria	Medición diaria	Medición semanal

Tabla 4.6 Frecuencias de aplicación de mediciones Perini 813 y T-700

4.7 Establecimiento de líneas base

Para el arranque del monitoreo de condiciones, es necesario establecer cuáles serán los valores estándar y que otros serán los valores de alerta y de alarma. Debido a que únicamente con teoría es bastante complejo definir estos valores se propone una metodología para poder determinarlos experimentalmente para cada uno de los puntos que serán evaluados.

Ya que cada línea de producción cuenta con un día disponible al mes para realizar tareas de mantenimiento preventivo, las adecuaciones para línea base se realizarían en esta ventana de mantenimiento para no generar paros adicionales de línea para intervenciones de establecimiento de línea base.

4.7.1 Procedimiento para establecimiento de línea base para medición de vibración

-En primer lugar es necesario tener definidos los puntos que se van a monitorear, ya se cuenta con las rutas.

-Con los puntos definidos se reacondiciona cada elemento a un estándar sin falla, esto puede ser instalando un elemento nuevo o uno reparado que este en perfectas condiciones de operación, un ejemplo puede ser reemplazando los rodamientos.

-Una vez con los elementos nuevos o reparados instalados, se define el punto específico en el cual se tomaran las mediciones (axiales y radiales) y se marca de forma permanente para que las mediciones siempre se hagan en los mismos puntos exactos de cada elemento para poder tener repetitividad en las mediciones.

-Trabajar la máquina a la velocidad y a la carga estándar de trabajo para tener las condiciones reales en las cuales el equipo trabaja y proceder a tomar las mediciones.

-Los valores obtenidos en la medición se definen como los valores de línea base y partir de estos se va a comparar con las mediciones futuras.

-En un primer momento los valores de alerta se definirán en un 10% arriba de valor de línea base.

-Posteriormente de acuerdo a los resultados obtenidos este valor de alerta puede variar, ya que podría resultar que el valor es muy alto y que los equipos fallan antes de alcanzar ese valor o en caso contrario que el equipo aun con esa condición podría operar sin problema y solo se elevarían los costos por el sobre mantenimiento.

4.7.2 Procedimiento para establecimiento de línea base para toma de Termografía

-En primer lugar es necesario tener definidos los puntos que se van a monitorear, ya se cuenta con las rutas.

-Con los puntos definidos se reacondiciona cada elemento a un estándar sin falla, esto puede ser instalando un elemento nuevo o uno reparado que este en perfectas condiciones de operación, ya que la termografía se realizara sobre reductores un ejemplo para reacondicionamiento de uno puede ser reemplazando por nuevos rodamientos, sellos y lubricantes.

-Una vez con los elementos nuevos o reparados instalados, se define el punto específico en el cual se tomaran las mediciones (a una distancia de 50 cm) para que las mediciones siempre se hagan en los mismos puntos exactos de cada elemento para poder tener

repetitividad en las mediciones (otra forma de estandarizar el punto de medición es por medio de una marca en el piso donde debe localizarle la persona al momento de realizar la toma termográfica).

-Trabajar la máquina a la velocidad y a la carga estándar de trabajo para tener las condiciones reales en las cuales el equipo trabaja y proceder a tomar las mediciones.

-La firma térmica obtenida en la medición se definen como el valor de línea base y partir de este se va a comparar con las mediciones futuras.

-En un primer momento los valores de alerta se definirán en un 10% arriba de valor de línea base.

-Posteriormente de acuerdo a los resultados obtenidos este valor de alerta puede variar, ya que podría resultar que el valor es muy alto y que los equipos fallan antes de alcanzar ese valor o en caso contrario que el equipo aun con esa condición podría operar sin problema y solo se elevarían los costos por el sobre mantenimiento.

4.8 Selección de personal

Para garantizar el éxito de la implementación del modelo es necesario definir los perfiles de las personas que estarán a cargo de dicha implementación-

- Responsable de implementación: Esta persona tendrá a su cargo la coordinación total de la implementación del modelo, debe tener la potestad de movilizar al personal como más conveniente sea para el éxito de la implementación, además de ser el vínculo directo con producción, gerencia de mantenimiento y la parte operativa. Para el caso de ADSA es el Jefe de mantenimiento mecánico y el perfil que debe cumplir es el siguiente:

Grado académico	Ing. Mecánico, Electricista, Carreras afines o Superior
Nivel de experiencia	Un año mínimo en coordinación de mantenimiento
Habilidades	-Liderazgo -Comunicación efectiva -Inteligencia emocional -Coordinación de equipos de trabajo -Creación y transferencia de conocimiento -Autodidacta -Disponibilidad de aprendizaje continuo

Tabla 4.7 Perfil de responsable de implementación

- Responsable de la supervisión de ejecución: Esta persona debe velar por que las tareas se ejecuten en los tiempos y en la forma que se ha definido además de garantizar que las lecturas sean verídicas e intervenir ante cualquier desviación del modelo, también debe ser capaz de analizar los datos recolectados para determinar el estado de los componentes y validar si se requiere o no intervención. Para el caso de ADSA es el supervisor de mantenimiento mecánico y el perfil que debe cumplir es el siguiente:

Grado académico	Técnico especializado
Nivel de experiencia	Tres años supervisando personal de mantenimiento
Habilidades	-Liderazgo -Comunicación efectiva -Capacidad de análisis -Altamente receptivo a retroalimentación -Atención a los detalles -Disponibilidad de aprendizaje continuo

Tabla 4.8. Perfil de responsable de supervisión de ejecución

- Responsable del manejo de datos: Esta persona debe de generar las ordenes de trabajo con las rutas de mediciones e ingresar los datos recolectados en el CMMS con el que cuenta ADSA (MP9) para poder ser analizados posteriormente por el supervisor de la ejecución, debe garantizar que los datos sean ingresados tan pronto como sean tomados para poder tener agilidad en la respuesta a

desviaciones de los valores estándar. Para el caso de ADSA es el planificador de mantenimiento y el perfil que debe cumplir es el siguiente:

Grado académico	Ing. Mecánico, Electricista o Carreras afines
Nivel de experiencia	Un año realizando actividades de planificación de mantenimiento
Habilidades	-Disciplinado -Altamente ordenado -Capacidad de análisis -Disponibilidad de aprendizaje continuo

Tabla 4.9. Perfil de responsable de manejo de datos

- Responsable de la toma de datos: Esta figura es el responsable de ejecutar las mediciones según las órdenes de trabajo generadas por el planificador lo indique, es necesario que esta persona tenga conocimiento sobre las técnicas a utilizar para garantizar que los datos sean confiables. Para el caso de ADSA son los técnicos de mantenimiento y el perfil que debe cumplir es el siguiente:

Grado académico	Técnico
Nivel de experiencia	Un año de experiencia en ejecución de actividades de mantenimiento
Habilidades	-Disciplinado -Comunicación efectiva -Enfocado en las tareas -Altamente colaborativo -Disponibilidad de aprendizaje continuo

Tabla 4.10. Perfil de responsable de toma de datos

4.9 Formatos de control de mediciones

El formato para el registro de mediciones debe contener información clara, para poder tener trazabilidad de las mediciones, a continuación en la figura 4.20. Se presenta una muestra del formato que se generara para toma y registro de mediciones de vibraciones.

	Alas Doradas S.A. de C.V. Gerencia de Mantenimiento	MP-FO-022 (revisión ISO-002)
Orden de Trabajo	Folio:	031749 
		del 20-sep-2018 al 21-sep-2018
Responsable: BALDEMAR CHEVEZ	Duración aproximada: 0 h 08 m	
Generó: Diego Chavarria	Fecha de recepción de la OT:	
Ejecutó:	Fecha de devolución de la OT:	
Recibió:	Causa de Fallo:	
Autorizó Condiciones de Seguridad:	Tipo de Falla:	
PERINI 1		
Localización: \ PLANTA ADSA\ PLANTA 3 Centro de costo:		
<u>Actividades rutinarias</u>		
\ A MODULO DESENRROLLADOR\ PUNZON LADO OPERACION\ PUNTO A: Medicion Axial		
Frecuencia: 1 Día(s)	Prioridad: Media	
Duración aproximada: 0 h 01 m	Clasificación 1: mecánica 2	
Requiere paro: No	Clasificación 2: personal adsa	
<input type="checkbox"/> 20 <input checked="" type="checkbox"/> 21		
Fecha: _____	Hora: _____	Medición: _____ mm/s
Comentarios: _____		
\ A MODULO DESENRROLLADOR\ PUNZON LADO OPERACION\ PUNTO A: Medicion Radial		
Frecuencia: 1 Día(s)	Prioridad: Media	
Duración aproximada: 0 h 01 m	Clasificación 1: mecánica 2	
Requiere paro: No	Clasificación 2: personal adsa	
<input type="checkbox"/> 20 <input checked="" type="checkbox"/> 21		
Fecha: _____	Hora: _____	Medición: _____ mm/s
Comentarios: _____		

Figura 4.20. Formato de orden de trabajo para toma y registro de medición vibración

4.10 Selección de equipo de monitoreo

Analizador de vibraciones

Para el análisis de vibraciones se requiere un equipo que permita cargar las rutas de monitoreo para poder realizar mediciones rápidas por medio de una interfaz muy intuitiva y con batería de larga duración que permite tener tendencias de cada uno de los puntos. Que además sea capaz de detectar desequilibrios, desalineamiento, rodamientos defectuosos, deslizamiento interior.

Debe permitir visualizar los espectros de vibración en el dominio de la frecuencia y poder abarcar rangos de velocidad de rotación desde 500 rpm hasta las 3600 rpm (ver anexo 3).

Además el equipo debe permitir la descargar de las bases de datos de las mediciones de forma gráfica para facilitar su lectura e interpretación.

Por lo tanto entre la oferta del mercado el equipo que mejores resultados ofrece cubriendo las características requeridas es el PRUFTECHNIK MOD. VIBXPERT II.

Cámara termográfica

La cámara termográfica debe estar capacitada para poder captar temperaturas en un rango desde los 0 °C hasta los 200 °C, además de poder utilizarse en ambientes húmedos y con temperatura ambiente superior a los 40°C, lo suficientemente aislado para resistir polvo ambiental y del proceso, tener opciones de zoom hasta en 4X y tener conectividad para poder descargas las imágenes térmicas y generar reportes.

Por lo tanto entre la oferta del mercado el equipo que mejores resultados ofrece cubriendo las características requeridas la cámara FLIR MOD. E-60.

4.11 Costos de implementación

Para la implementación es necesario invertir en formación del personal y en equipo de monitoreo, a continuación en la tabla 4.11 se presentan costos aproximados.

Ítem	Rubro	Costo
1	Capacitación técnica análisis de vibraciones (Jefe y supervisor serán quienes reciban la capacitación inicial)	\$ 2,175.00
	Pago de horas extras para cobertura de tiempo de entrenamiento	\$ 1,400.00
2	Capacitación técnica en termografía nivel 1 (Jefe y supervisor serán quienes reciban la capacitación inicial)	\$ 2,100.00
	Pago de horas extras para cobertura de tiempo de entrenamiento	\$ 1,325.00
3	Analizador de vibraciones portátil, Pruftechnik Mod. Vibxpert II	\$ 12,500.00
4	Cámara termográfica Flir Mod. E-60	\$ 9,000.00
5	Reacondicionamiento de equipos para toma de líneas base (5% presupuesto mensual de mantenimiento)	\$ 6,000.00
COSTO TOTAL DE PREPARACION DE EQUIPO DE TRABAJO PARA IMPLEMENTACION DEL MODELO		\$ 34,500.00

Tabla 4.11 Costos de implementación toma de mediciones

*Los costos y contenido de capacitación técnica de amplían en el anexo 5

Estimando que el primer año de implementación sea aprendizaje en el uso de las herramientas y las técnicas de monitoreo, y que a partir del segundo año se logren evitar el 40% de las pérdidas debido a paro por falla de máquina el tiempo de recuperación de la inversión puede llegar a ser de año y medio.

4.12 Requerimientos de implementación

Para la implementación del modelo desarrollado para ADSA es necesario que se cumplan requisitos que estén orientados a obtener los resultados esperados de la implementación y sobre todo a que se logre una rápida implementación del mismo. Dichos requisitos mínimos son:

- Que la gerencia de mantenimiento de ADSA permita la implementación del modelo.
- Que la gerencia de mantenimiento de ADSA apruebe la compra del equipo de monitoreo.
- Que el modelo forme parte del sistema actual de gestión de mantenimiento planificado.
- Que el personal de mantenimiento conozca en su totalidad las herramientas a aplicar.
- Que ADSA forme a un especialista en el uso de las herramientas a utilizar y en el análisis de datos con el fin de replicar conocimiento y expandir el modelo a otras áreas.

4.13 Plan de implementación

Para poder hacer la implementación de este plan de forma exitosa se deben seguir ciertos pasos en un orden específico y tener un estricto seguimiento por parte de las personas responsables de la implementación y seguimiento del modelo. El tiempo planteado para la implementación del sistema mostrado en la tabla 4.12 se ha diseñado considerando la carga actual del personal que estará involucrado ya que no se realizarán modificaciones o adiciones a la estructura actual de mantenimiento.

N°	ACCIÓN	RESPONSABLE	SEMANAS												
			S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	
1	Presentacion del modelo a la gerencia de mantenimiento	Jefe de mantto mecanico													
2	Formacion del personal de mantenimiento en el uso de tecnicas de monitoreo y uso de equipo	Jefe de mantto mecanico													
3	Intervencion de equipos para establecimiento de lineas base	Jefe de mantto mecanico													
4	Creacion de rutinas en base a las rutas de inspeccion en el CMMS MP9	Planificador de mantenimiento													
5	Generacion de ordenes de trabajo para toma de datos	Planificador de mantenimiento													
6	Inicio de toma de datos	Supervisor de mantenimiento													
7	Carga de datos iniciales	Planificador de mantenimiento													
8	Analisis de datos iniciales	Supervisor de mantenimiento													
9	Adecuaciones necesarias	Jefe de mantto mecanico													

Tabla 4.12 Plan de implementación del modelo

4.14 Monitoreo y evaluación

Como ya se contemplado, el plan de implementación debe ser monitoreado durante todo su desarrollo con el objetivo de registrar lecciones aprendidas, buenas prácticas y oportunidades de mejora que se presenten.

En estas sesiones de monitoreo, el responsable de la implementación debe evaluar principalmente las desviaciones que se pudieran presentar para el incumplimiento de una implementación exitosa. Además de reconocer y aplicar acciones correctivas necesarias para que dichas desviaciones no entorpezcan el desarrollo del modelo.

También este proceso de lecciones exitosas o aprendizajes deben formar parte de la retroalimentación del modelo para garantizar que sea un sistema dinámico, siempre con continua actualización.

Se debe garantizar un formato de registro para el control de la información que se obtenga, en este caso se consideran las ordenes de trabajo y los datos cargados al CMMS.

Además se propone el siguiente esquema de toma de decisión para abordar desviaciones que pudieran presentarse. Fig. 4.22.

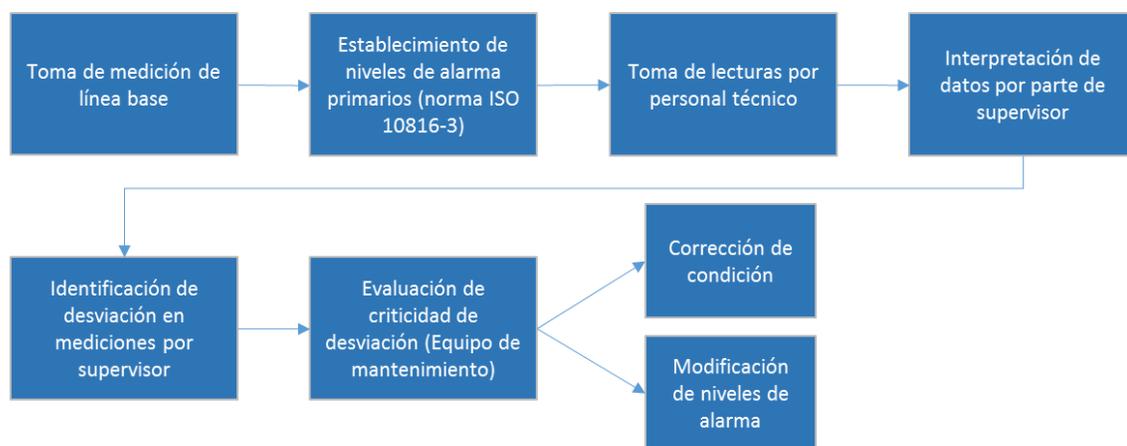


Figura 4.22. Diagrama de toma de decisiones por identificación de desviaciones

4.15 Estandarización de modelo y expansión de sistema a otras areas

Después de registrar los logros y puntos positivos del modelo, así como oportunidades de mejora, es necesario llevar a cabo las adecuaciones y ajustes necesarios de tal forma que el modelo siempre cuente con las consideraciones necesarias que garanticen la consecución en el tiempo del mismo, dicha responsabilidad recae sobre el jefe de mantenimiento mecánico. A continuación en la tabla 4.13 se presenta un plan de seguimiento para la difusión del modelo hacia equipos de criticidades menores para lograr una estandarización exitosa.

N°	ACCIÓN	RESPONSABLE	MES												
			M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	
1	Formacion de nuevo personal tecnico	Jefe de mantto mecanico													
2	Actualización del personal ya adiestrado (accion permanente)	Jefe de mantto mecanico													
3	Revisión de primeros estandares	Jefe de mantto mecanico													
4	Evaluación de nuevos equipos para integrarlos al sistema	Jefe de mantto mecanico													
5	Integración de nuevos equipos al sistema	Jefe de mantto mecanico													
6	Evaluación y seguimiento del sistema (acción permanente)	Jefe de mantto mecanico													
7	Expansión a otras áreas de la planta (accion permanente, cada vez que la planta actualice equipo o se hagan adiciones se deben de revisar si es necesario agregar al sistema)	Jefe de mantto mecanico													

Tabla 4.13 Plan de seguimiento y difusión del modelo (ESTANDARIZACIÓN)

5. CONCLUSIONES

- Al realizar el rastreo histórico de pérdidas asociadas a paros de máquinas por fallas, se encontró que la gran cantidad de cajas de transmisión y rodamientos de rodillos, son puntos críticos del proceso de las líneas de producción y son objetivos idóneos para la aplicación de herramientas de monitoreo de condiciones, debido a la frecuencia de fallos que presentan.
- El modelo de implementación de sistema de mantenimiento basado en condición, es de factible implementación en la empresa ADSA. La investigación de la situación actual permite proponer un modelo completamente compatible con las actividades de la empresa, diseñado para ajustarse a sus necesidades y de implementación conveniente para la empresa.
- La aplicación exitosa del modelo requiere el compromiso y cooperación por parte de los involucrados en su implementación, a cada integrante le corresponde una tarea importante dentro del desarrollo del modelo y así se garantiza que este cumpla con las proyecciones propuestas.
- La integración del modelo al sistema de gestión de mantenimiento planificado contribuye a robustecer el trabajo del departamento de mantenimiento, permitiendo agregar valor a la cadena completa del negocio.

6. RECOMENDACIONES

- Posterior a la implementación del modelo, se sugiere llevar a cabo una revalidación de todos los puntos que este involucra
- Se sugiere la generación de una política de mantenimiento que forme parte integral del sistema de mantenimiento planificado y que esta misma brinde los lineamientos para la integración y consecución de todos los procesos necesarios para alcanzar los objetivos globales de la empresa.
- Fortalecimiento en la medición del desempeño de las líneas productivas así como el fortalecimiento en el control de costos de mantenimiento de cada una de las mismas.
- La estructura del departamento de mantenimiento no debería sufrir alteraciones o modificaciones ya que cuenta actualmente con las figuras que cumplen los perfiles adecuados para llevar a cabo la implementación.

7. REFERENCIAS

- Glen White (2010). Introducción al Análisis de Vibraciones. Massachusetts, Estados Unidos. Azima, Inc.
- Pedro Nelson Saavedra. La medición y análisis de las vibraciones como técnica de inspección de equipos y componentes, aplicaciones, normativas y certificación. Universidad de Concepción. Concepción, Chile.
- Jesús A. Royo, Gloria Rabanaque, Fernando Torres. Análisis de vibraciones e interpretación de datos. Zaragoza, España. Universidad de Zaragoza
- Lic. Martín Eugenio Rodríguez Zepeda, Licda. Eufemia Aydeé Rivera de Parada, Ing. Fabio Bautista Pérez (2013) Lineamientos Básicos Para Elaborar Anteproyectos e Informes de Investigación o de Innovación. San Salvador, El Salvador. Universidad Evangélica de El Salvador.
- David Alejandro González González. Jaime Luis Pizarro Martínez (2005). Mantenimiento predictivo de motores diesel marinos mediante correlación de imágenes termográficas y análisis de vibraciones. Cartagena de Indias, Colombia. Universidad Tecnológica de Bolívar.
- A-MAQ S.A (2005) Tutorial de vibraciones para mantenimiento mecánico. Medellín, Colombia.
- JURADO, Yolanda.R. (2005). Técnicas de investigación documental. México. Thomson.
- Daniel S. Behar Rivero (2008). Metodología de la investigación. Shalom.

- Roberto Sampieri, Carlos Collado, Pilar Baptista (2010) Metodología de la investigación. McGraw Hill.
- Norma ISO 10816-3, 1998

Fuentes Electrónicas:

- www.alasdoradas.com (Consulta 10/04/2018)
- <https://grupocoen.com> (Consulta 10/4/2018)
- <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-camino-hacia-el-rcm/> (Consulta 20/04/2018)
- <http://www.renovetec.com/irim/2-uncategorised/123-el-objetivo-de-rcm-y-las-fases-del-proceso> (Consulta: 20/04/2018)
- <http://www.pdmtechusa.com/criterios-evaluacion-rcm/> (Consulta 20/04/2018)

ANEXO 1. FALLAS COMUNES ASOCIADAS A VIBRACIONES Y PATRONES REPRESENTATIVOS.

Anexo 1.1 Desbalanceo estático

Se produce cuando se rompe el balance del rotor (toda la masa que gira), por pérdida o adhesión de material en cualquier parte del mismo, generalmente por un desgaste superficial radial no uniforme en rotores en los cuales su diámetro suele ser mucho más significativo que su largo.

En el espectro se presenta una vibración dominante de frecuencia igual a las revoluciones por segundo del motor, generalmente se traduce en vibraciones en dirección radial.

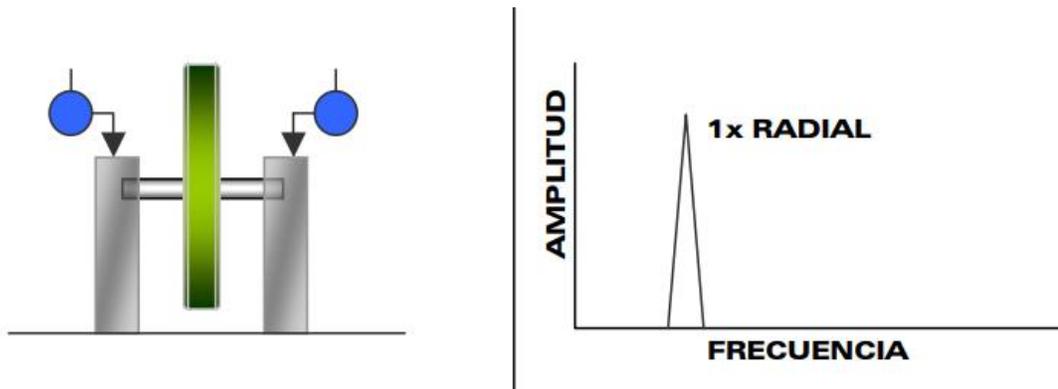


Figura A1.1. Ilustración de desbalanceo estático

Anexo 1.2 Desbalanceo dinámico

Suele ocurrir con mayor frecuencia en rotores medianos y largos. Se debe principalmente a desgastes radiales y axiales simultáneos.

Por lo que se traduce en vibraciones dominante de frecuencia igual a la velocidad por segundo del rotor.

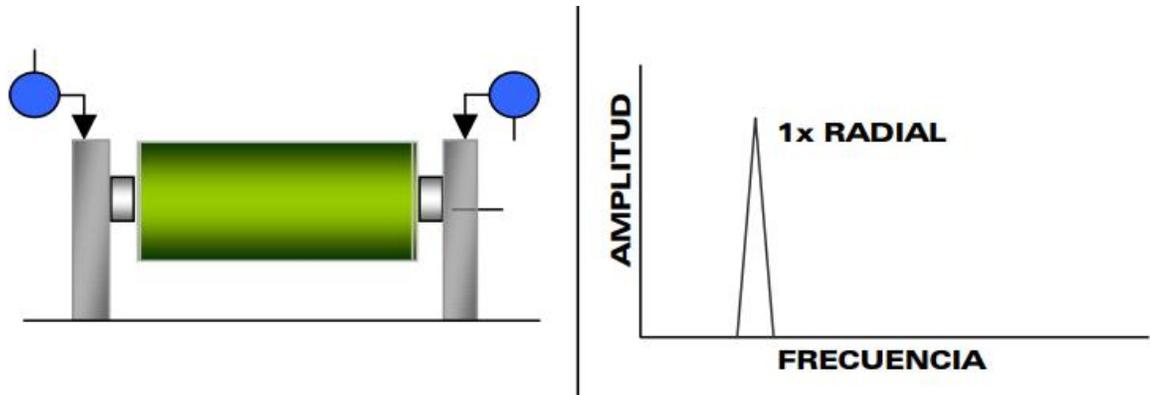


Figura A1.2. Ilustración de desbalanceo dinámico.

Anexo 1.3 Rotor colgante

Esta falla ocurre en masas que se encuentran evidentemente a un lado del eje de rotación, se produce por desgaste en la superficie del rotor o por un eje doblado.

El espectro correspondiente presenta una vibración dominante de frecuencia igual a las revoluciones por segundo del rotor, en dirección radial y axial.

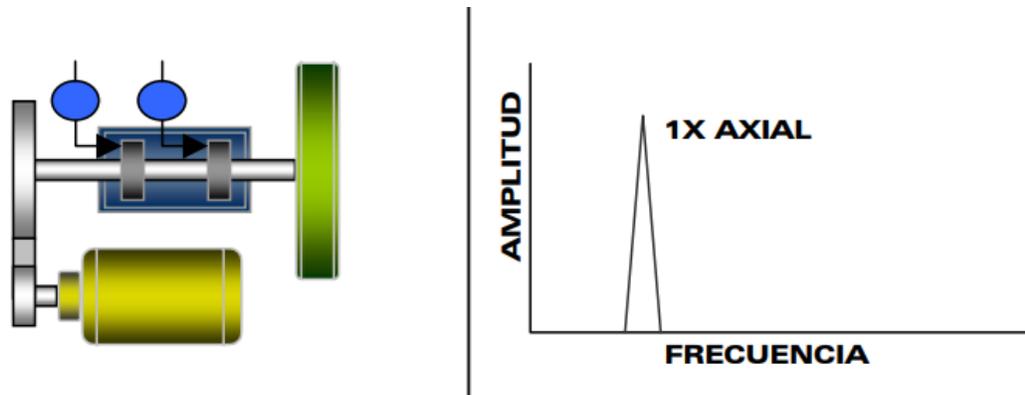


Figura A1.3. Ilustración de rotor colgante

Anexo 1.4 Desalineación angular

Ocurre cuando el eje del motor y el eje de la carga se unen con acople mecánico y los ejes no son paralelos, o se tiene problemas con el acople mecánico.

El espectro se caracteriza por vibraciones axiales de gran magnitud en la frecuencia base y su segunda armónica, con un desfase de 180° a través del acople. También se presentan señales con frecuencia equivalente a la tercera armónica.

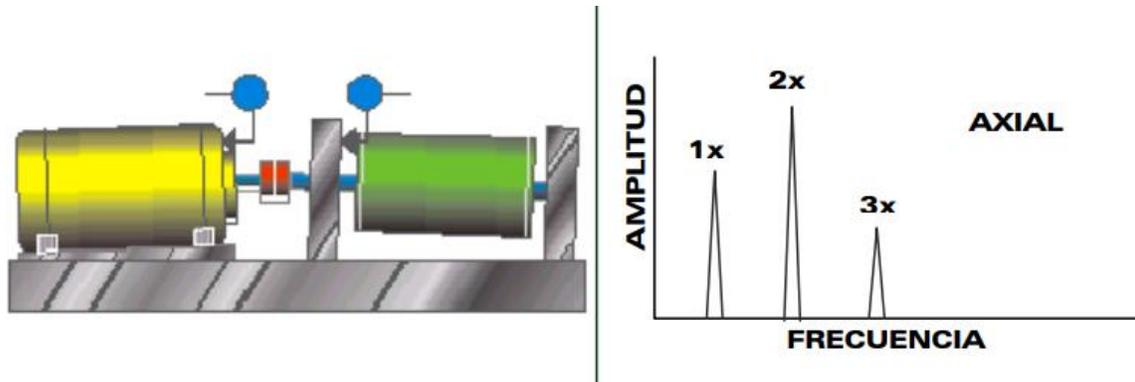


Figura A1.4. Ilustración de desalineación angular.

Anexo 1.5 Desalineación paralela

Esto ocurre cuando los ejes del motor y del rotor acoplado están paralelos pero no son colineales.

En el espectro correspondiente a esta falla, se detectan vibraciones radiales predominantemente con frecuencia de la segunda armónica de la frecuencia base, y de señales con la frecuencia base con un desfase de 180° a través del acople, con altas velocidades puede generar picos que corresponden a la cuarta y octava armónica.

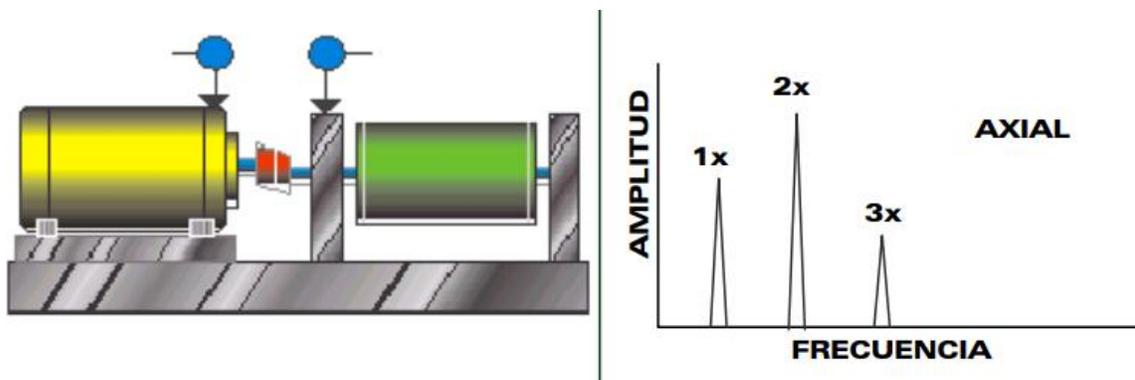


Figura A1.5. Ilustración de desalineación paralela.

Anexo 1.6 Desalineación entre chumaceras

Sucede cuando las cajas de rodamientos no se encuentran correctamente alineadas con respecto a una línea horizontal imaginaria entre la entrada de potencia y la carga, esto puede generar vibraciones en dirección axial y radial.

En el espectro se presentan vibraciones pico a frecuencia base, en especial en sentido axial.

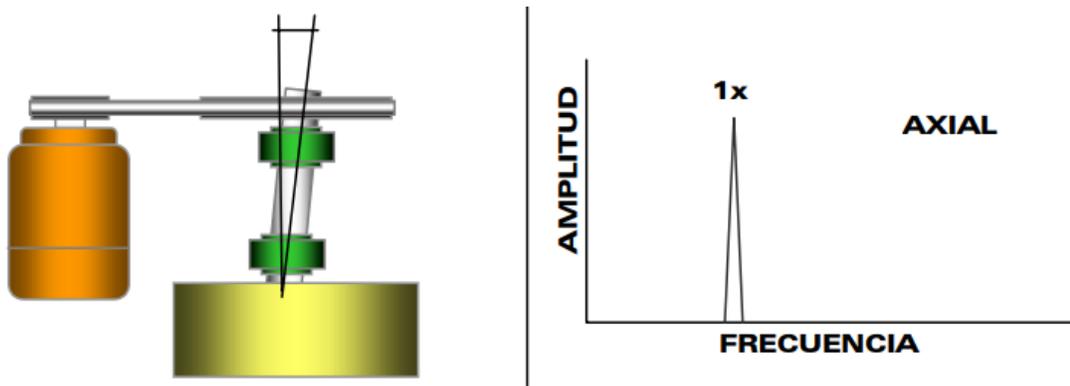


Figura A1.6. Ilustración de desalineación entre chumaceras.

Anexo 1.7 Holgura mecánica entre eje y superficie interior de rodamiento

Sucede cuando un rodamiento ha sufrido desgaste por trabajo continuo, también cuando de fábrica el equipo presenta una tolerancia inadecuada.

Este espectro se representa con múltiplos armónicos y subarmónicos fraccionarios, en orden de $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, 1.5, 2.5, etc.

Para este tipo de falla, el desfase entre señales suele ser inestable, el nivel máximo suele detectarse cuando se realizan lecturas radiales desfasadas 30° entre sí.

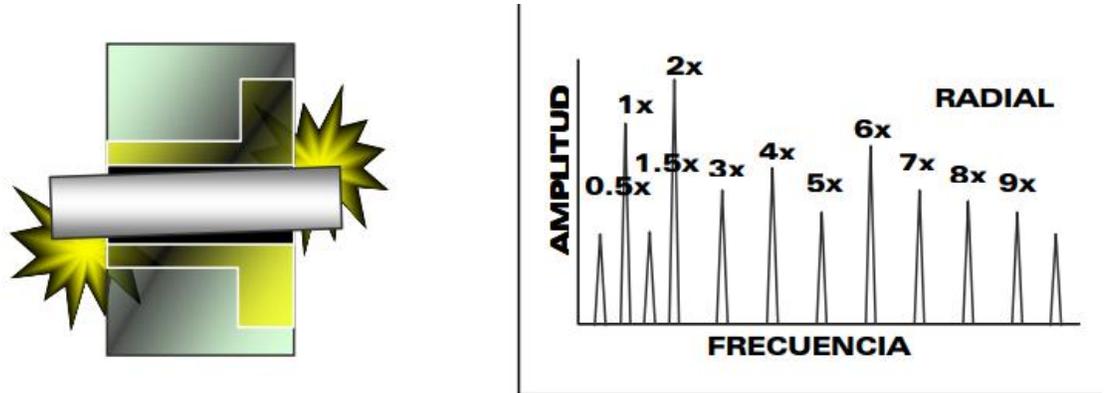


Figura A1.7. Ilustración de holgura mecánica eje / superficie interior de rodamiento

Anexo 1.8 Separación estructural

Ocurre cuando existe ablandamiento o movimiento en la base de la máquina, por holgura en los pernos de la base o por desgaste en las piezas de sujeción.

El espectro presenta vibración en la frecuencia base, con desfase de 180° entre los elementos que proveen el anclaje.

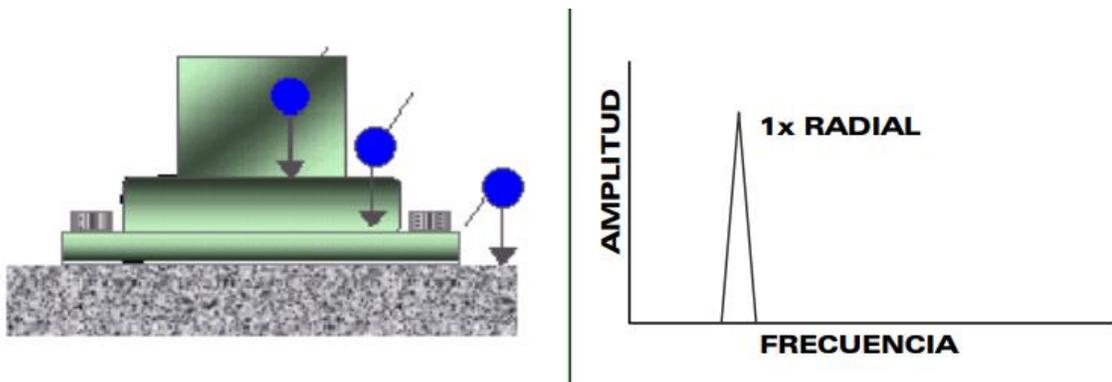


Figura A1.8. Ilustración de separación estructural

Anexo 1.9 Rotor excéntrico

Sucede cuando el centro de rotación no coincide con el centro geométrico de un eje, es fácil de confundir con un desbalance.

La mayor vibración del espectro ocurre a la frecuencia base del elemento con excentricidad, en la dirección de la línea que cruza por el centro de los rotores.

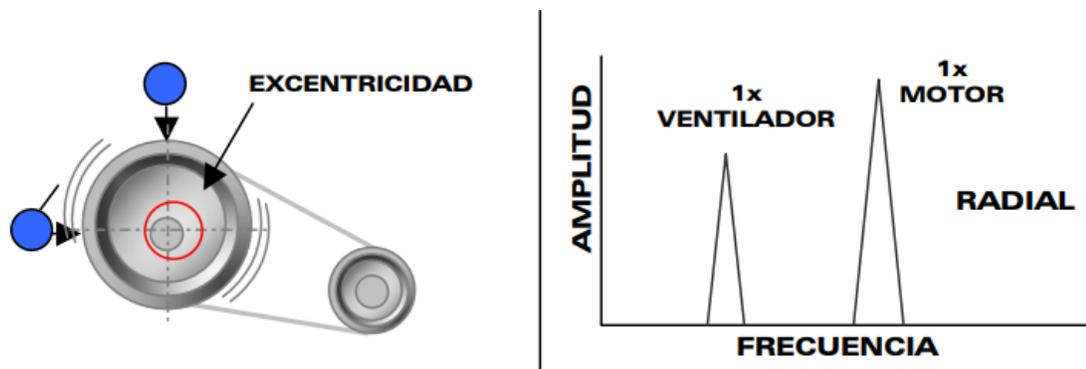


Figura A1.9. Ilustración de rotor excéntrico.

Anexo 1.10 Flexión

Es producida por esfuerzos excesivos en el eje, comúnmente en ejes largos.

Genera alta vibración axial con desfase de 180° entre ambos soportes del rotor. La mayor vibración es a la frecuencia base si la flexión es cercana al centro del eje, y en su segunda armónica si es cerca del rodamiento.

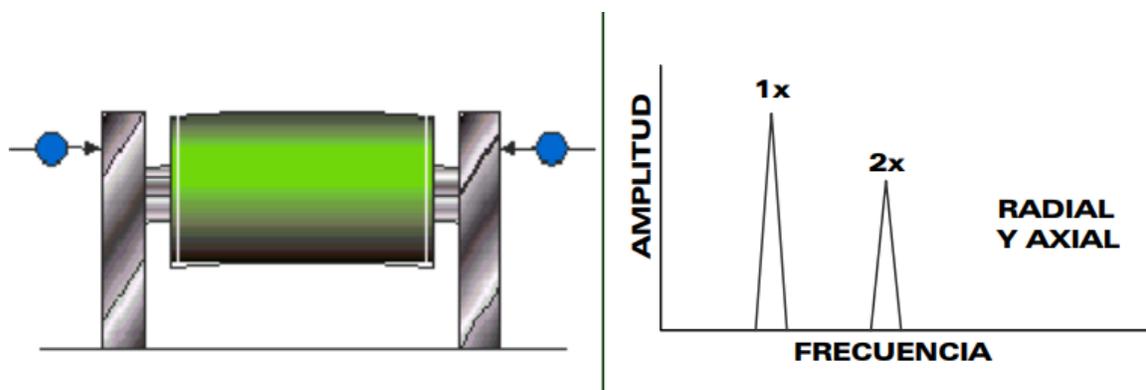


Figura A1.10. Ilustración de flexión

ANEXO 2. ELEMENTOS DE MÉTODO DE CÁLCULO DE PÉRDIDAS ANUALES

Para el calcula de pérdidas por tiempos de paro por falla de máquina se han considerado la siguiente información.

Tiempos de paro de líneas productivas, proporcionados por el departamento de producción que contabiliza dichos paros para evaluar donde se están teniendo las mayores pérdidas, además estos datos se utilizan para el cálculo del MTBF y el MTTR por el departamento de mantenimiento. En la figura A2.1. Se ilustra el formato en el cual los datos son registrados. Se han tomado en cuenta solo los paros que pudieron haber sido evitados contando con un sistema de monitoreo para la detección temprana de fallas (remarcados en amarillo), dicho análisis fue en realizado en conjunto por la jefatura y el personal operativo de mantenimiento.

DELAYS PLANTA CONVERSION (01 al 31 de Diciembre)			
PERINI #1	Tiempo		Fecha
Delays Mecanicas/Electricas	Minutos	Horas	
Sin tiempos reportados	0	0.00	
PERINI #2	Tiempo		Fecha
Delays Mecanicas/Electricas	Minutos	Horas	
Cambio de fajas en rebobinadora	360	6.00	martes 12 de diciembre de 2017
PERINI #3	Tiempo		Fecha
Delays Mecanicas/Electricas	Minutos	Horas	
Cambio de balero en rodillo de presion	120	2.00	miércoles 6 de diciembre de 2017
Revision del motor agitador de cores en rebobinadora	15	0.25	sábado 9 de diciembre de 2017
Revision en brazo del empujador de cores	13	0.22	sábado 9 de diciembre de 2017
PERINI #4	Tiempo		Fecha
Delays Mecanicas/Electricas	Minutos	Horas	
Sin tiempos reportados	0	0.00	
PERINI T700	Tiempo		Fecha
Delays Mecanicas/Electricas	Minutos	Horas	
Cambio de faja transportadora de nucleos	96	1.60	viernes 1 de diciembre de 2017
Alarma electrica #2373 en EMB2 proteccion averia servodrive rodillo de transferencia	23	0.38	viernes 1 de diciembre de 2017
	3	0.05	domingo 3 de diciembre de 2017
	8	0.13	miércoles 27 de diciembre de 2017
Alarma electrica #2139 - UNW2 averia mando principal	5	0.08	viernes 1 de diciembre de 2017
Reparacion mecanica en EMB1 por quebrarse perno del casquete de goma	13	0.22	lunes 4 de diciembre de 2017
Alarma electrica UNW3 cuadro rojo.	46	0.77	lunes 11 de diciembre de 2017
Alarma electrica- Alarma eje en EMB2	150	2.50	jueves 14 de diciembre de 2017
Reparacion de grua puente por desalinearse.	145	2.42	sábado 16 de diciembre de 2017
Alarma electrica- proteccion averia servodrive rod. De transferencia	28	0.47	sábado 16 de diciembre de 2017
		8.62	

Tabla A2.1. Tiempos de paro por fallas aptos para análisis

Para el costo del producto, el departamento de producción proporciono las plantillas que se corren en SAP en el cual detallan el costo por tonelada métrica de cada uno de los SKU que se producen en ADSA, por motivos de confidencialidad solo de muestra un extracto de las plantillas de costos utilizadas en uno de los productos de mayor volumen.

ALAS DORADAS

Info Portal Operaciones SAP (Online)

Reporte de plantillas de producción Costo Total

Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Total
6110237-L PAPEL HIGIENICO ENCANTO MILL 1000HS 12/4 C/A					
106					
FQ2119101	ADHESIVO PARA COLA	KG	0.740	\$0.310	\$0.23
FQ2118177	FRAGANCIA PETITE HOMME	KG	0.550	\$13.720	\$7.55
					\$7.78
110					
FQ3111131	TUBOS DE CARTON 200grs DE 1.3/4 x 101.1/2" PT03	UNID	238.000	\$0.088	\$20.97
MP1042086	ETIQUETA BOPP # 3850 75mm X 120mm	UNID	114.000	\$0.013	\$1.48
MP1042201	RIBBON DE CERA# 5550E 76mm X 450mm	ROLL	0.030	\$10.000	\$0.30
					\$22.75
114					
4904000	TISSUE 18.00grs MEDIA BLANCURA MP04	KG	1,060.000	\$0.977	\$1,035.51
					\$1,035.51
119					
FL161140-M	BOLSA TRANSPARENTE 679 x 1041 x F-114mm G-1.50mm	UNID	114.000	\$0.126	\$14.35
					\$14.35
138					
MO300000021	MAQUINA HIGIEN PERINI 01	HM	0.600	\$41.020	\$24.61
MO300000022	MAQUINA HIGIEN PERINI 02	HM	0.600	\$41.020	\$24.61
					\$49.22
142					
GIF300000021	MAQUINA HIGIEN PERINI 01	HM	0.600	\$41.060	\$24.64
GIF300000022	MAQUINA HIGIEN PERINI 02	HM	0.600	\$41.060	\$24.64
					\$49.27
150					
EL0000004	ENERGIA ELECTRICA PTA 3	KWH	55.080	\$0.130	\$7.18
					\$7.18
165					
FL140125-RF	EMPAQUE H.ENCANTO MIL 1000HS 4R BCO 1.25mm REBOB	KG	11.060	\$3.469	\$38.36
					\$38.36
		Gpo.	Produccion Unidades	Costo	Total
			x TM	Unitario	Materiales
6110237-L PAPEL HIGIENICO ENCANTO MILL 1000HS 12/4 C/A		128	110.80	\$11.051	\$1,224.43

Figura A2.2. Costos por tonelada producida

Para los datos de rentabilidad se han utilizado los valores proporcionados por el departamento de mercadeo, el cual oscila entre un 35% a 40% dependiendo del producto y ciertas condiciones de la planta que varían continuamente.

Las pérdidas anuales se han calculado consolidando todos los tiempos de paro por línea en un acotamiento de un año natural multiplicado por el costo por tonelada del producto que esta línea corre por la velocidad productiva de toneladas por hora, con esto obtenemos los costos de producto no procesado, este valor al afectarlo por el 40% de rentabilidad del producto nos arroja utilidades no percibidas debido a fallas, el resumen se muestra en las tabla 1.1.

$$Perdidas\ anuales = \sum \frac{tiempo\ de\ paro}{por\ linea} \times \frac{costo\ del}{producto} \times \frac{velocidad\ de}{maquina} \times rentabilidad$$

Fórmula A2.1. Cálculo de pérdidas anuales por fallas de máquinas

ANEXO 3. CÁLCULOS PARA DETERMINACIÓN DE VIBRÓMETRO A ADQUIRIR

Para el cálculo de los rangos de revolución de los rodillos de las líneas de producción se tomó en cuenta como valor mínimo la velocidad de rotación del rodillo más lento de la máquina de menor velocidad en este caso para la Perini 813 cuya velocidad es de 0.9 ton/hora lo que traducido a velocidad lineal de la hoja de papel es de 450 m/min y el rodillo de mayor diámetro de esta máquina es de 270 mm. Por lo que podemos decir que la velocidad tangencial de dicho rodillo es de 450 m/min y calculamos las rpm a las que trabaja de la siguiente manera:

$$rpm = \frac{\textit{velocidad tangencial}}{\textit{perimetro de rodillo}} = \frac{450 \textit{ m/min}}{\pi(0.27 \textit{ m})} = 530 \textit{ rpm}$$

Fórmula A3.1. Cálculo de velocidad mínima de equipo de medición

De la misma manera para calcular las rpm del rodillo con mayor velocidad de la máquina más rápida para este caso la Perini T-700 cuya velocidad es de 3 ton/h lo que traducido a velocidad líneas de la hoja de papel es de 900 m/min y el rodillo de menor diámetro de esta máquina es de 80 mm. Por lo que podemos calcular las rpm de este rodillo de igual forma que el caso anterior:

$$rpm = \frac{\textit{velocidad tangencial}}{\textit{perimetro de rodillo}} = \frac{900 \textit{ m/min}}{\pi(0.08 \textit{ m})} = 3,580 \textit{ rpm}$$

Fórmula A3.2. Cálculo de velocidad máxima de equipo de medición

Con estos datos podemos decir que se necesita un equipo de monitoreo de vibraciones que pueda cubrir un rango de velocidad entre 500 a 3,600 rpm.

ANEXO 4. PROCEDIMIENTOS PASO A PASO PARA LA TOMA DE LECTURAS DE NIVELES DE VIBRACION Y TOMA DE TERMOGRAFÍAS.

PROCEDIMIENTO TOMA DE VIBRACIONES

Responsable: Técnico de mantenimiento.

Equipo y materiales a utilizar: Analizador de vibraciones, espátula, cepillo de alambre.

Pasos para toma de termogramas

1. Revisar orden de trabajo para toma de niveles de vibración y verificar ruta a seguir.
2. Verificar estado del equipo de análisis de vibraciones (Integridad física, nivel de carga de batería, prueba de encendido) si el equipo presenta algún daño no se debe utilizar y reportar al supervisor de mantenimiento, si todo está en buen estado proseguir al paso 3.
3. Dirigirse al lugar de toma de niveles de vibración.
4. Encender analizador de vibraciones.
5. Cargar la ruta preestablecida en el equipo de acuerdo a la ruta de la orden de trabajo.
6. Visualizar e identificar los puntos de medición establecidos para colocar el acelerómetro.
7. Colocar el acelerómetro en el punto de medición, lectura axial (si es necesario limpie superficie con espátula y/o cepillo de alambre).
8. Colocar el acelerómetro en el punto de medición, lectura radial (si es necesario limpie superficie con espátula y/o cepillo de alambre).
9. Salvar datos de punto de medición y proseguir con la ruta.
10. Repetir pasos del 6 en adelante para cada punto pre-establecido en la ruta de toma de niveles de vibración.

PROCEDIMIENTO TOMA DE TERMOGRAFÍA

Responsable: Técnico de mantenimiento.

Equipo y materiales a utilizar: Cámara termográfica, termómetro de precisión (temperatura y humedad relativa), Cinta adhesiva de poliuretano negra.

Pasos para toma de termogramas

1. Revisar orden de trabajo para toma de termografía y verificar ruta a seguir.
2. Verificar estado de cámara termográfica y de termómetro de precisión (Integridad física, nivel de carga de batería, prueba de encendido) si el equipo presenta algún daño no se debe utilizar y reportar al supervisor de mantenimiento, si todo está en buen estado proseguir al paso 3.
3. Dirigirse al lugar de toma de termografía.
4. Encender la cámara termográfica.
5. En los parámetros colocar los datos de temperatura ambiente y humedad relativa que nos muestre el termómetro de precisión.
6. En el parámetro de emisividad utilizar el valor predefinido para goma negra.
7. Colocar un trozo de cinta de poliuretano negra adhesiva (cinta aislante) en el cuerpo del reductor que se va a verificar.
8. Realizar una medición de temperatura a una distancia de 50 centímetros del cuerpo del reductor en posición completamente horizontal con el cuerpo del reductor, tomando como centro para referencia de temperatura el trozo de cinta de poliuretano. (la distancia de 50cm fue obtenida experimentalmente para lograr el encuadre deseado en la imagen térmica, como se muestra en la imagen A4.1 y A4.2).
9. Tomar nota de la temperatura en la orden de trabajo y proseguir al siguiente punto.
10. Repetir para los siguientes puntos desde el paso 7.

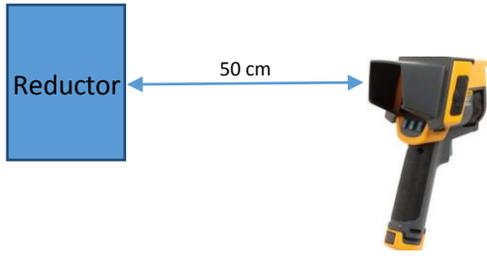


Figura A4.1 Manera recomendada para tomar termografía

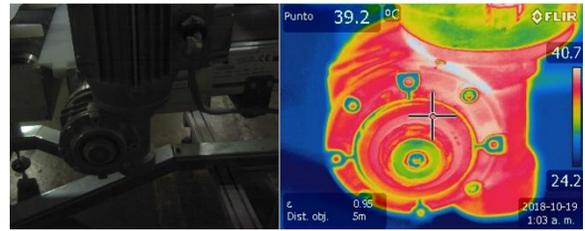


Figura A4.2 Encuadre obtenido y requerido

ANEXO 5. OFERTAS PARA CAPACITACIONES DE PERSONAL EN ANALISIS DE VIBRACIONES MECANICAS NIVEL 1 Y CERTIFICACIÓN EN TERMOGRAFIA NIVEL 1

Los costos de los entrenamientos en el uso de ambas técnicas de monitoreo de condiciones (vibración y termografía) se han estimado con ISA (International Society of Automation) El Salvador. La tabla que se muestra es un fragmento seleccionado de las formaciones que se ofrecen.

FORMACIONES	DURACIÓN	INVERSIÓN
Certificación en termografía infrarroja nivel I / Nivel II del Infrared Training Center	36 Horas	Curso + Certificación \$2,175.00 + IVA *Cuenta con el apoyo de INSAFORP entre el 50% y 60%
Certificación en Análisis de vibraciones nivel I del Vibration Institute	32 horas	Curso + Certificación \$2,100.00 *Cuenta con el apoyo de INSAFORP entre el 50% y 60%

Tabla A5.1 Costos de entrenamientos por ISA El Salvador

ANEXO 6. NIVELES DE ALARMAS DE VIBRACIONES PROPUESTOS POR NORMA ISO 10816-3 PARA EQUIPO SIN REGISTROS PREVIOS.

								v r.m.s. mm/s	v r.m.s. inch/s	Velocidad Vibración <small>10 - 1000 Hz n > 600 1/min (2 - 1000 Hz n > 120 1/min)</small>
								11	0.433	
								7.1	0.280	
								4.5	0.177	
								3.5	0.138	
								2.8	0.110	
								2.3	0.091	
								1.4	0.055	
								0.71	0.028	
rigida	flexible	rigida	flexible	rigida	flexible	rigida	flexible	Fundación		
Bombas > 15 kW radial, axial, diagonal				Máquinas medianas 15 kW < P ≤ 300 kW		Máquinas Grandes 300 kW < P < 50 MW		Tipo de Máquina		
Acople directo		Eje intermedio / Poleas.		Motores 160 mm ≤ H < 315 mm		Motores 315 mm ≤ H				
Grupo 4		Grupo 3		Grupo 2		Grupo 1		Grupo		

	A	Puesta en operación recientemente.
	B	Operación para largo plazo.
	C	Operación para corto plazo
	D	Vibración causando daños

Tabla A6.1 Alarmas de vibración recomendada para equipo sin registro previo

ANEXO 7. FALLAS TOTALES EN PLANTA DE CONVERSIÓN ADSA

A pesar de que en el documento solo se atacan las fallas de origen mecánico que pueden ser prevenidas mediante la implementación de modelo, en la planta de conversión de ADSA se tiene fallas de otros orígenes las cuales se presentan en la tabla A7.1

DELAYS PLANTA CONVERSION			
PERINI #1	Tiempo		Fecha
Delays Mecanicas/Electricas	Minutos	Horas	
Revision y ajustes en polea de fajas de transmision	75	1.25	sábado 16 de junio de 2018
Cambio de balero dañado del rodillo de arrastre	30	0.50	lunes 18 de junio de 2018
Revision electrica en soplos superiores de rebobinadora	45	0.75	jueves 21 de junio de 2018
Reparacion mecanica, balero dañado del rodillo de presion	40	0.67	sábado 23 de junio de 2018
PERINI #2	Tiempo		Fecha
Delays Mecanicas/Electricas	Minutos	Horas	
Cambio de manguera principal de soplos en rebobinadora	25	0.42	jueves 21 de junio de 2018
PERINI #3	Tiempo		Fecha
Delays Mecanicas/Electricas	Minutos	Horas	
Sin tiempos reportados	0	0.00	
PERINI #4	Tiempo		Fecha
Delays Mecanicas/Electricas	Minutos	Horas	
Cambio de faja de transmision en rebobinadora	80	1.33	jueves 21 de junio de 2018
PERINI T700	Tiempo		Fecha
Delays Mecanicas/Electricas	Minutos	Horas	
Alarma electrica - eje y averia mando principal	40	0.67	viernes 1 de junio de 2018
	37	0.62	domingo 10 de junio de 2018
Cambio de rodillo de goma 1, en EMB2 .	154	2.57	sábado 2 de junio de 2018
Alarma electrica - #2474 rew proteccion robox en watch log	9	0.15	domingo 10 de junio de 2018
Alarma electrica #2478 Rew - proteccion plano deslizamiento de nucleo vacio	66	1.10	domingo 17 de junio de 2018
Alarma electrica #2560	5	0.08	viernes 1 de junio de 2018
Cambio de faja dentada LT en rodillo #3 EMB1	18	0.30	sábado 2 de junio de 2018
Reparacion mecanica en piñon extractor	110	1.83	sábado 16 de junio de 2018
Revision electrica en turbina del motor principal en REW	60	1.00	jueves 21 de junio de 2018
Alarma electrica - cuadro rojo puerta abierta	9	0.15	jueves 21 de junio de 2018
Alarma electrica - Reset desde robox obligatorio	30	0.50	viernes 22 de junio de 2018

Tabla A7.1 Detalles de fallas totalizadas en ADSA