

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Plan de mantenimiento preventivo

para equipo de secado en proceso de bebidas

Trabajo de graduación en modalidad de trabajo profesional presentado por

María René Villalobos Bracamonte

para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Mecánica

Guatemala

2018

“Plan de mantenimiento preventivo para equipo de secado en proceso de
bebidas”

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Plan de mantenimiento preventivo

para equipo de secado en proceso de bebidas

Trabajo de graduación en modalidad de trabajo profesional presentado por

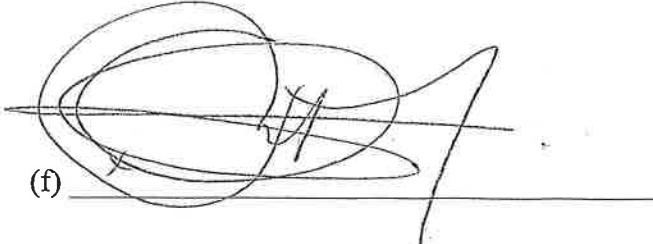
María René Villalobos Bracamonte

para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Mecánica

Guatemala

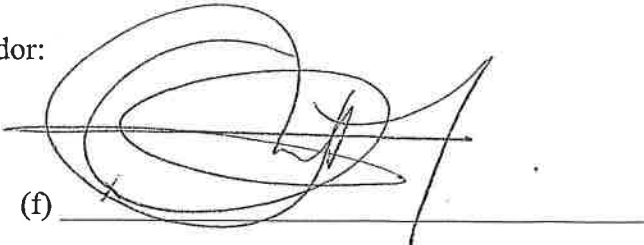
2018

Vo. Bo. :

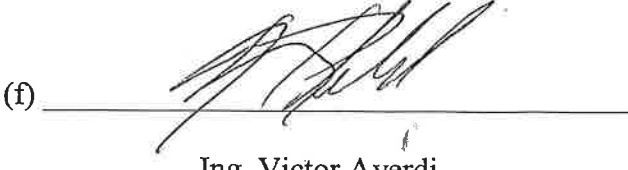
(f) 

Ing. Jorge Antonio Salaverria

Tribunal Examinador:

(f) 

Ing. Jorge Antonio Salaverria

(f) 
Ing. Victor Ayerdi

(f) 
Ing. Andres Viau

Fecha de aprobaci3n: Guatemala, 11 de diciembre de 2018

PREFACIO

El presente trabajo de graduación surgió de la necesidad de una empresa de proporcionar un debido mantenimiento a ciertos de sus equipos. La empresa, la cual se dedica a la elaboración masiva de bebidas, cuenta con muchos equipos a los cuales no se les ha realizado un debido mantenimiento durante años. Muchos de estos equipos son sopladores centrífugos, o secadoras industriales, los cuales tienen un papel importante en el envasado de las bebidas y son los equipos en los cuales se enfoca el presente trabajo de graduación.

Agradezco al ingeniero Ayerdi por guiarme a lo largo de la carrera y por mostrarme apoyo al realizar mi trabajo de graduación. En el ámbito personal, agradezco a mis padres por su apoyo incondicional.

ÍNDICE

PREFACIO	ix
LISTA DE CUADROS	xiii
LISTA DE FIGURAS	xv
RESUMEN.....	xviii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS.....	3
III. JUSTIFICACIÓN.....	5
IV. MARCO TEÓRICO.....	7
A. MANTENIMIENTO	7
1. Breve historia del mantenimiento.	7
2. Análisis de equipos.	7
3. Tipos de mantenimiento.....	9
4. Mantenimiento basado en confiabilidad.	15
B. SECADORAS PAXTON.....	17
V. LA EMPRESA	21
A. PROCESO DE ENVASADO	21
1. Transporte.....	23
2. Paletizado y despaletizado.	23
3. Lavado.	23
4. Llenado.	23
5. Inspección.....	23
6. Pasteurización.	23
7. Secado.....	23
8. Etiquetado.....	24
9. Empaque.	24

B.	ÁREAS Y LÍNEAS DE PRODUCCIÓN	24
1.	Área 1.....	24
2.	Área 2.....	25
3.	Área 3.....	25
4.	Área 4.....	25
5.	Área 5.....	25
VI.	DESARROLLO DEL PROYECTO.....	27
A.	LINEAMIENTOS DE SEGURIDAD	27
B.	FAMILIARIZACIÓN CON LAS LÍNEAS DE PRODUCCIÓN.....	27
1.	Levantamiento de información de secadoras.	27
C.	PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	33
1.	Repuestos.....	36
2.	Recomendación de plan de mantenimiento.....	38
3.	Costo de mantenimiento preventivo anual.....	41
D.	ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD.....	47
E.	ANÁLISIS DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA TOMA DE DECISIÓN	51
VII.	CONCLUSIONES	53
VIII.	RECOMENDACIONES	55
IX.	BIBLIOGRAFÍA	57
X.	ANEXOS.....	59

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Procesos de envasado en latas y botellas	21
Cuadro 2. Información acerca de las áreas de producción	24
Cuadro 3. Secadoras en la línea de producción A, área uno	29
Cuadro 4. Secadoras en la línea de producción B, área uno	30
Cuadro 5. Secadoras sin línea de producción exclusiva, área uno	30
Cuadro 6. Secadoras en el área dos	31
Cuadro 7. Secadoras en ambas líneas de producción, área tres	31
Cuadro 8. Secadoras en ambas líneas de producción, área cuatro	31
Cuadro 9. Secadoras en línea de producción de latas, área cinco	32
Cuadro 10. Secadoras por área de producción	32
Cuadro 11. Secadoras por área y línea de producción	33
Cuadro 12. Especificaciones de modelo XT-300 y AT-1200	35
Cuadro 13. Mantenimiento preventivo por área de producción	39
Cuadro 14. Cambio de correas en las áreas de producción	40
Cuadro 15. Cambio y limpieza de filtros en las áreas de producción	40
Cuadro 16. Mantenimiento a cabezas de sopladores en áreas de producción	40
Cuadro 17. Mantenimiento a tensores en áreas de producción	41
Cuadro 18. Información de repuestos de secadoras	41
Cuadro 19. Costo de repuestos en área 1 de producción	42
Cuadro 20. Costo de repuestos en el área 2 de producción	42
Cuadro 21. Costo de repuestos en el área 3 de producción	43
Cuadro 22. Costo de repuestos en el área 4 de producción	43
Cuadro 23. Herramientas necesarias para modelo AT-1200	44
Cuadro 24. Herramientas necesarias para modelo XT-300	44
Cuadro 25. Horas anuales de uso de las herramientas	44
Cuadro 26. Costo de herramientas necesarias para el mantenimiento preventivo	45
Cuadro 27. Costo total de las herramientas utilizadas en mantenimiento preventivo	46
Cuadro 28. Costos de repuestos, herramientas y mano de obra anuales	47
Cuadro 29. Componentes del sistema	47
Cuadro 30. Funciones de una secadora Paxton	47
Cuadro 31. Modos de fallo	48
Cuadro 32. Niveles de modos de fallo para una pérdida total de flujo	48
Cuadro 33. Niveles de modos de fallo para una pérdida parcial de flujo	48
Cuadro 34. Niveles de modo de fallo para un flujo de aire que se detiene	49

Cuadro 35. Niveles de modo de fallo para un filtro obstruido	49
Cuadro 36. Consecuencias de los fallos	49
Cuadro 37. Tareas propuestas para los fallos	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura para distinguir niveles	8
Figura 2. Cámara termográfica.....	11
Figura 3. Imagen termográfica de un motor sobrecalentado	12
Figura 4. Imagen termográfica de fusibles con daños internos	12
Figura 5. Tipos de desalineamiento	13
Figura 6. Alineamiento de poleas	13
Figura 7. Desalineamiento en poleas y correas	14
Figura 8. Detector de ultrasonidos.....	14
Figura 9. Inspección por ultrasonido en tuberías para revisión de fugas de aire comprimido.....	15
Figura 10. Secadora Paxton PX.....	18
Figura 11. Secadora Paxton AT.....	18
Figura 12. Secadora Paxton XT.....	18
Figura 13. Proceso de envasado en latas	22
Figura 14. Proceso de envasado en botellas	22
Figura 15. Modelo XT-300	34
Figura 16. Modelo AT-1200	34
Figura 17. Vista de ambos modelos	36
Figura 18. Correa de secadora.....	36
Figura 19. Filtro de secadora	37
Figura 20. Cabeza de soplador	37
Figura 21. Tensor de secadora.....	38
Figura 22. Resorte de tensor.....	38
Figura 23. Información de secadoras en el área 1 de producción.....	59
Figura 24. Información de secadoras en el área 2 de producción.....	59
Figura 25. Información de secadoras en el área 3 de producción.....	59
Figura 26. Información de secadoras en el área 5 de producción.....	60
Figura 27. Información de secadoras en el área 5 de producción.....	60
Figura 28. Vista en explosión de una secadora Paxton XT-300.....	61
Figura 29. Línea de producción A, área 1	62
Figura 30. Línea de producción B, área 1.....	63
Figura 31. Área 2 de producción	64
Figura 32. Área 3 de producción	65
Figura 33. Área 4 de producción	66
Figura 34. Área 5 de producción	67

Figura 35. Plan de mantenimiento preventivo para secadoras XT-300	68
Figura 36. Plan de mantenimiento preventivo para secadoras AT-1200	68
Figura 37. Análisis de confiabilidad: fallos funcionales, modos de fallo y efectos de fallo	68
Figura 38. Análisis de confiabilidad: niveles de los fallos funcionales	69
Figura 39. Análisis de confiabilidad: evaluación de consecuencias de los fallos y tareas propuestas para prevenirlos	69
Figura 40. Análisis de confiabilidad. Clasificación de las tareas	70
Figura 41. Cotización para tareas mantenimiento predictivo	71

RESUMEN

El presente trabajo se enfocó en hacer una comparación entre mantenimiento preventivo y mantenimiento basado en confiabilidad, para determinar la mejor opción para una empresa que se dedica al envasado de bebidas. Tanto el plan de mantenimiento preventivo como el análisis de confiabilidad, se enfocaron en el equipo de secado de la empresa.

Previo a llevar a cabo cualquier tipo de mantenimiento, fue necesario familiarizarse con las áreas de producción. La empresa cuenta con cinco áreas, de las cuales el área 1, área 3 y área 4 cuentan con 2 líneas de producción. Luego de familiarizarse con las áreas, se obtuvo información acerca del equipo de secado; ubicación, cantidad, marca, modelo y número de serie.

Se contaron un total de 34 secadoras, de las cuales 20 eran marca *Paxton*. A la empresa de bebidas solamente le interesaba programar un mantenimiento para las secadoras *Paxton*, ya que las encontraban superiores a las otras marcas que tenían, como *General Electric*.

De las secadoras *Paxton*, la empresa contaba con dos modelos: XT-300 y AT-1200. Se cotizaron repuestos (filtros, correas, tensores y resortes) en la página oficial de *Paxton*. El proveedor daba información acerca del precio de los repuestos y recomendaba la frecuencia de los cambios de los mismos.

Con esta información, se hizo el plan de mantenimiento preventivo en el cual se recomendó: cambiar correas, filtros y resortes anualmente, limpiar y lubricar ejes y cojinetes anualmente y limpiar filtros después de 6 meses de uso. El plan de mantenimiento preventivo se hizo con ayuda del software MP.

Tomando en cuenta los gastos de repuestos, herramientas y mano de obra, el costo total de mantenimiento preventivo anual es de Q39996.56.

Luego se hizo un análisis de confiabilidad, en el cual se evaluaron los posibles fallos de las secadoras y, en base a estos, se propuso una lista de tareas de pruebas no-destructivas para prevenirlos.

Haciendo una comparación de mantenimiento preventivo y mantenimiento basado en confiabilidad, se concluyó que lo mejor para la empresa es continuar implementando un plan de mantenimiento preventivo.

I. INTRODUCCIÓN

En las áreas de producción, cada día se vuelve más importante el concepto de reducir costos e incrementar la eficiencia lo más que se pueda. Una parte vital para lograrlo es dar un mantenimiento apropiado a todas las máquinas en el área de producción. Mejorar la calidad de los productos, optimizar el tiempo de producción, incrementar la eficiencia de las máquinas y disminuir paros imprevistos en líneas de producción son algunos beneficios que proporciona un adecuado mantenimiento.

Una empresa que se dedica a la producción masiva de bebidas, actualmente está implementando nuevas prácticas de mantenimiento para las secadoras de latas y botellas. La empresa practica, en su mayoría, mantenimiento preventivo. Sin embargo, se quiere saber si a la empresa le convendría más un mantenimiento basado en confiabilidad.

Para esto, se planificaron cuatro fases:

1. Familiarizarse con las líneas de producción. Esta fase incluye recorrer las líneas para ubicar la posición de las secadoras y obtener información importante de ellas. También es importante separar las secadoras importantes para la empresa, marca *Paxton*, de las secadoras de otras marcas.
2. Cotizar repuestos en la página de *Paxton*.
3. Implementar el plan de mantenimiento preventivo. En esta fase se recomendará un plan de mantenimiento y se establecerá una aproximación de presupuesto anual.
4. Realizar un análisis de confiabilidad. En esta fase también se propondrá una lista de tareas a realizar.

Al terminar las cuatro fases, se hará una comparación de mantenimiento preventivo y mantenimiento basado en confiabilidad para determinar qué tipo de mantenimiento le conviene más implementar a la empresa respecto al equipo de secado.

II. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

El objetivo general del trabajo de graduación es implementar un plan de mantenimiento preventivo para el equipo de secado de la empresa de bebidas.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer un presupuesto anual para el mantenimiento preventivo del equipo de secado.
- Reportar el equipo de secado que no está en uso.
- Hacer un análisis de confiabilidad para determinar las tareas de mantenimiento predictivo necesarias para el equipo de secado.
- Cotizar el costo anual de las tareas de mantenimiento predictivo.
- Comparar el mantenimiento preventivo con el mantenimiento basado en confiabilidad, para decidir qué tipo de mantenimiento le conviene más a la empresa.

III. JUSTIFICACIÓN

Cuando se trata del mantenimiento, siempre existe la pregunta: “Cuál es el mejor tipo de mantenimiento?”. Mientras que cada tipo de mantenimiento aporta diferentes cosas a una empresa, y cada uno tiene ventajas y desventajas, el tipo de mantenimiento que se practique en una empresa depende de las actividades, necesidades y objetivos de la empresa.

El mantenimiento preventivo es una parte vital de cualquier empresa que haga actividades de producción. Programar un mantenimiento preventivo es importante para conservar el equipo en buen estado, aumentar disponibilidad, conservar garantía, entre otras. Sin embargo, una gran desventaja del mantenimiento preventivo es su alto costo de implementación. Es por esto que muchas veces las empresas practican distintos tipos de mantenimiento.

Actualmente, la empresa de bebidas cuenta con una cantidad desconocida de secadoras a las cuales nunca se les ha hecho ningún tipo de mantenimiento. La empresa cuenta con planes de mantenimiento preventivo, pero es de importancia saber si, respecto al equipo de secado, conviene más implementar un mantenimiento basado en confiabilidad.

IV. MARCO TEÓRICO

A. MANTENIMIENTO

Mantenimiento se define como el conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible y con el máximo rendimiento (Garrido, Mantenimiento Correctivo en Centrales de Ciclo Combinado, 2012).

En muchas ocasiones, las empresas utilizan una gestión de mantenimiento asistido por ordenador (GMAO). Esto permite gestionar el mantenimiento con medios informáticos por medio de tres aspectos: técnico, económico y a nivel de organización. (Auto Mantenimiento, 2013).

1. Breve historia del mantenimiento. A lo largo del proceso industrial, la función del mantenimiento ha pasado por diferentes etapas. En el inicio de la revolución industrial, personas capacitadas conocidas como operarios se encargaban de las reparaciones de los equipos. Sin embargo, con el tiempo las tareas se hicieron más complejas y la dedicación a las mismas aumentó. A raíz de esto, se crearon los primeros departamentos de mantenimiento (Garrido, Mantenimiento Correctivo en Centrales de Ciclo Combinado, 2012).

A partir de la Primera Guerra Mundial y, sobre todo, la Segunda Guerra Mundial, los departamentos de mantenimiento buscan no solo solucionar las fallas en los equipos, sino, sobre todo, prevenirlas. Esto lleva a contratar más personal cuya función es estudiar qué tareas de mantenimiento deben realizarse para evitar las fallas. Este personal, conocido como indirecto, ya que no se involucra directamente en la realización de las tareas, aumenta, y con él los costos de mantenimiento (Garrido, Mantenimiento Correctivo en Centrales de Ciclo Combinado, 2012).

A raíz de esto surge el mantenimiento preventivo y el mantenimiento predictivo (Garrido, Mantenimiento Correctivo en Centrales de Ciclo Combinado, 2012).

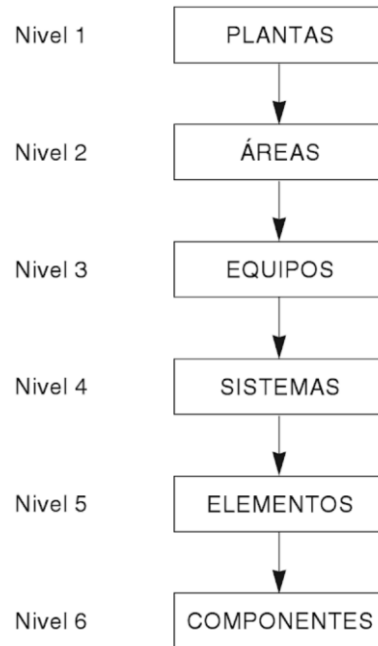
2. Análisis de equipos. Actualmente, no es justificable someter toda una planta a un tipo de mantenimiento. Cada equipo ocupa una posición distinta en el proceso industrial, y tiene características propias que lo hacen distinto del resto. Es necesario tener en cuenta que una serie de factores, como el costo de una parada de producción, van a determinar las tareas de mantenimiento más convenientes para cada equipo (Garrido, Mantenimiento Correctivo en Centrales de Ciclo Combinado, 2012).

Es por esto que el trabajo a realizar antes de elaborar un plan de mantenimiento es importante. Se deben estudiar los equipos que constituyen la planta con cierto nivel de detalle (Garrido, Mantenimiento Correctivo en Centrales de Ciclo Combinado, 2012).

a. Lista de equipos. El primer problema que se plantea al realizar un análisis de equipos es elaborar una lista ordenada de los equipos que hay en ella. Para realizar una lista útil que provea información

y no solo datos, se expresa la lista con una estructura específica en la cual se distingan niveles (figura 1) (Garrido, Mantenimiento Correctivo en Centrales de Ciclo Combinado, 2012).

Figura 1. Estructura para distinguir niveles



Fuente: Garrido, Mantenimiento Correctivo en Centrales de Ciclo Combinado, 2012

b. Codificación de equipos. Una vez elaborada la lista de equipos, es importante identificar cada uno con un código único. Esto facilita su localización, referencia en documentos como órdenes de trabajo y planos y permite tener control de costos, registro de fallos e intervenciones (Garrido, Mantenimiento Correctivo en Centrales de Ciclo Combinado, 2012).

Existen dos posibilidades al codificar:

- Sistemas de codificación no significativos: sistemas que asignan un número o un código correlativo a cada equipo sin aportar ninguna información adicional.
- Sistemas de codificación significativos o inteligentes: el código asignado aporta información.

La ventaja de emplear un sistema de codificación no significativo es la simplicidad y brevedad del código. Sin embargo, sin un sistema para ubicar fácilmente los equipos, la desventaja es la dificultad en ubicarlos y la necesidad de tener una lista en mano para hacerlo (Garrido, Mantenimiento Correctivo en Centrales de Ciclo Combinado, 2012).

En el caso de un equipo, la información útil que debería contener el código es la siguiente:

- Planta a la que pertenece.

- Área a la que pertenece.
- Tipo de equipo.
- Los elementos que forman parte de un equipo deben contener información adicional:
- Tipo de elemento.
- Equipo al que pertenece.
- Dentro de ese equipo, sistema en el que está incluido.

3. **Tipos de mantenimiento.** Cuando se realiza la lista de equipos y se tiene una debida codificación, la siguiente tarea es decidir cómo se van a mantener los equipos (Garrido, *Mantenimiento Correctivo en Centrales de Ciclo Combinado*, 2012).

Tradicionalmente, se distinguen tres tipos de mantenimiento:

- Mantenimiento correctivo.
- Mantenimiento predictivo.
- Mantenimiento preventivo.

Ninguno de los tipos anteriores se utiliza de forma exclusiva. Lo que se busca es tener una combinación apropiada dependiendo del equipo (León, 1998).

a. **Mantenimiento correctivo.** Solo se interviene en los equipos cuando el fallo ya se dio. Este tipo de mantenimiento es el único que se practica en una gran cantidad de industrias, y en muchas ocasiones esto está justificado. Por ejemplo, en casos donde el costo de los componentes afectados es bajo y donde los equipos son de naturaleza auxiliar (León, 1998).

Al implementar mantenimiento correctivo, es importante asignar prioridades a las distintas órdenes de trabajo que se generan. Los niveles de prioridad varían dependiendo de la empresa, pero en casi todas las plantas que poseen un sistema de asignación de prioridades se establecen al menos tres categorías (Garrido, *Mantenimiento Correctivo en Centrales de Ciclo Combinado*, 2012):

- **Averías urgentes:** aquellas que deben resolverse inmediatamente, pues causan un grave perjuicio a las empresas.
- **Averías importantes:** aunque causan un trastorno al normal funcionamiento de la planta, pueden esperar a que todas las averías urgentes estén resueltas.
- **Averías cuya solución puede programarse:** puede que sea conveniente esperar a una parada del equipo, o simplemente que la avería es tan pequeña que se pueden atender otras órdenes de trabajo.

b. **Mantenimiento predictivo.** También conocido como mantenimiento según estado, surge como respuesta a la necesidad de reducir los costos de los métodos tradicionales de mantenimiento. Este tipo de mantenimiento no solo permite reemplazar los elementos cuando realmente no se encuentran en buenas

condiciones operativas, suprimiendo paradas por inspección innecesarias, sino también evitar averías imprevistas mediante la detección de cualquier anomalía funcional y el seguimiento de su posible evolución (León, 1998).

Para aplicar este mantenimiento, es necesario identificar variables físicas cuya variación sea indicativa de problemas que puedan estar afectando al equipo (Garrido, 2003). La mayoría de los componentes de las máquinas avisan de su fallo antes de que este ocurra. Por lo tanto, se puede asegurar el correcto funcionamiento de una máquina si se detecta prematuramente el fallo de algún componente (Garrido, 2012).

Las ventajas más importantes que representa el mantenimiento predictivo son las siguientes (León, 1998):

- Detectar e identificar defectos que pudieran aparecer, sin necesidad de parar y desmontar la máquina.
- Programar la parada, haciéndola coincidir con un tiempo muerto o una parada rutinaria del proceso de producción.
- Programar el suministro de repuestos y la mano de obra.
- Reducir el tiempo de reparación, ya que previamente se identificó el origen de la avería y los elementos afectados por la misma.

Al poner en práctica el mantenimiento predictivo, se suelen usar cuatro técnicas no-destructivas (Mobley, 2002):

- Tribología
- Termografía
- Análisis de vibraciones
- Ultrasonido

La mayoría de programas de mantenimiento predictivo utilizan la técnica de análisis de vibraciones, esto debido a que el equipo de una planta es, generalmente, mecánico. Sin embargo, un análisis de vibraciones no da suficiente información respecto a equipos eléctricos, áreas es donde hay pérdidas de calor, condiciones de aceite lubricante u otros parámetros (Mobley, 2002).

1) Tribología. Se refiere a las operaciones dinámicas de componentes que requieren lubricación, como rodamientos (Kalpakjian & Schmid, 2002).

Una de las técnicas de tribología es análisis de aceite, el cual determina la condición de aceites lubricantes en equipo eléctrico y mecánico. La otra técnica empleada es análisis de desgaste de partículas; esta consiste en tomar una muestra del aceite lubricante y estudiar las partículas. La diferencia está en que un análisis de aceite determina la condición del mismo, mientras que un análisis de partículas da información de la condición de una máquina (Mobley, 2002).

2) Termografía. La termografía se basa en el hecho que todo objeto con temperatura más alta de cero absoluto emite radiación (Fitch, 1992).

Las cámaras termográficas (Figura 2) miden la radiación infrarroja de ondas y calculan la temperatura de cualquier objeto medido. Esta medición es convertida en una imagen (Centro de Formación de Infrarrojos, 2011).

Figura 2. Cámara termográfica



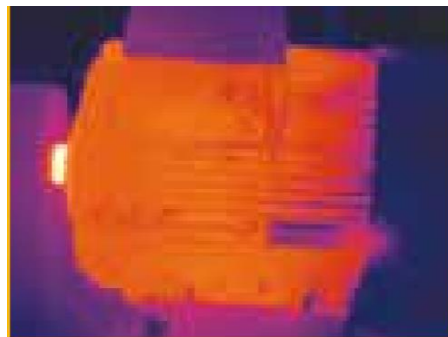
Fuente: Centro de Formación de Infrarrojos, 2011

Algunas aplicaciones de la termografía incluyen:

- Evitar incendios al inspeccionar cables de alimentación de alta tensión.
- Evitar averías graves al inspeccionar motores que pueden estar sobrecalentados.

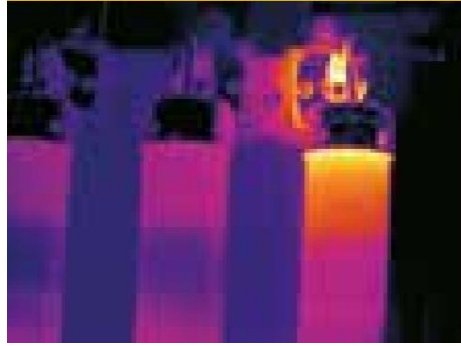
En las figuras 3 y 4 se pueden observar imágenes termográficas de un motor sobrecalentado y fusibles con daños internos, respectivamente.

Figura 3. Imagen termográfica de un motor sobrecalentado



Fuente: Centro de Formación de Infrarrojos, 2011

Figura 4. Imagen termográfica de fusibles con daños internos

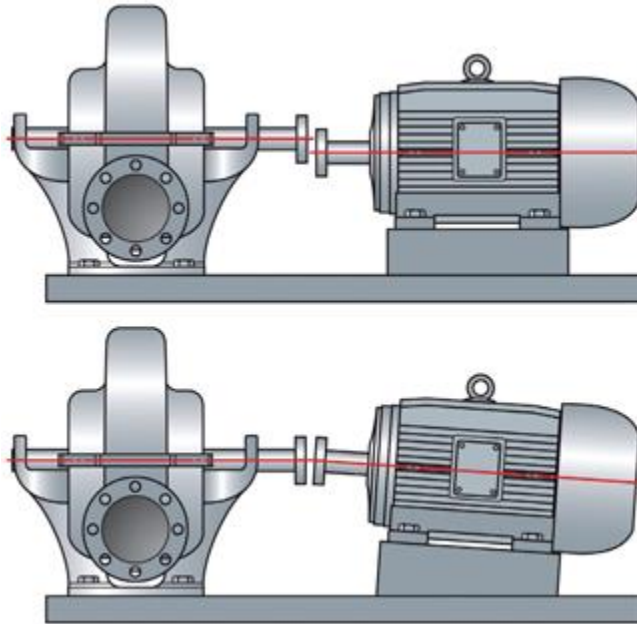


Fuente: Centro de Formación de Infrarrojos, 2011

3) **Análisis de vibraciones.** Un análisis de vibraciones es usado para determinar las condiciones, mecánicas y operacionales, de un equipo. Al monitorear vibraciones regularmente, se pueden detectar cojinetes defectuosos o engranajes desgastados, por ejemplo. También se puede detectar desalineamiento o desbalance, con el objetivo de evitar deterioro en ejes y cojinetes (Girdhar, 2004).

La Figura 5 muestra los tipos de desalineamiento: angular y paralelo.

Figura 5. Tipos de desalineamiento



Fuente: Ely, 2011

Los ejes no son los únicos componentes que pueden mostrar un desalineamiento. El alineamiento de poleas y correas también es una tarea de mucha importancia, ya que puede prevenir paros de producción inesperados (Ely, 2011).

Ya que el alineamiento de la correa depende del alineamiento de las poleas en las cuales la correa opera, el alineamiento de ambos componentes generalmente es una sola tarea de mantenimiento. El alineamiento de la correa debe hacerse de manera que se obtenga el menor desgaste posible en ella y que el equipo en el que se encuentra tenga las pérdidas de energía más bajas posibles (Ely, 2011).

Figura 6. Alineamiento de poleas



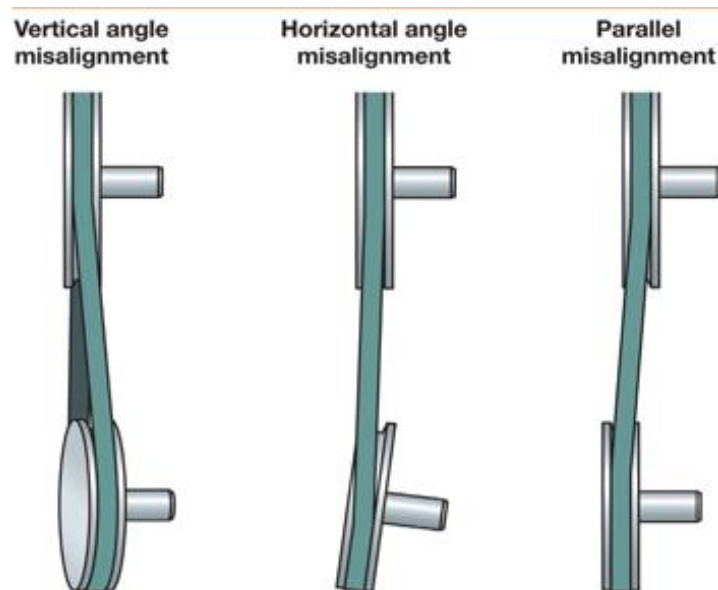
Fuente: Ely, 2011

Algunas de las consecuencias de un desalineamiento de poleas y correa son (Ely, 2011):

- Eficiencia reducida de la máquina
- Desgaste en poleas y correa
- Aumento de fricción
- Excesivo consumo de energía
- Aumento de ruido y vibraciones
- Fallo prematuro de correa

Un uso continuo de los componentes en desalineamiento incrementa el desgaste en poleas, ejes y cojinetes. Al igual que los ejes, las poleas pueden tener un desalineamiento angular y paralelo (Figura 7).

Figura 7. Desalineamiento en poleas y correas



Fuente: Ely, 2011

4) Ultrasonido. La detección por ultrasonido aprovecha las propiedades de las ondas sonoras para detectar problemas en equipos de una forma rápida y segura. Las fuerzas de rozamiento, las descargas eléctricas y las pérdidas de presión o vacío, generan ondas de alta frecuencia, corta longitud y rápida pérdida de energía; esto permite localizar con exactitud los problemas en los equipos antes de que se produzcan fallas (Olarte, 2011).

Para detectar fallas con ultrasonido, se utilizan instrumentos diseñados que capturan ondas ultrasónicas para luego convertirlas en señales con frecuencias dentro del rango de audición humana (Olarte, 2011). La Figura 8 muestra un detector de ultrasonidos.

Figura 8. Detector de ultrasonidos



Fuente: Iris Systems Ltd, 2018

Algunas de las aplicaciones de los detectores de ultrasonido son:

1. Fugas de aire comprimido. Pueden escucharse, pero en muchas ocasiones es difícil saber la ubicación exacta de la fuga debido a factores como ruido. Un detector de ultrasonido escucha la turbulencia del fluido sin importar el ruido. La Figura 9 muestra una detección por ultrasonido para revisar fugas de aire comprimido (Rienstra, s.f.).

Figura 9. Inspección por ultrasonido en tuberías para revisión de fugas de aire comprimido



Fuente: Rienstra, s.f.

2. Lubricación en rodamientos. Un monitoreo con un detector de ultrasonido en rodamientos le puede indicar al técnico si el rodamiento necesita lubricarse. El detector también indica el momento en el que debe dejar de lubricar el rodamiento (Lublearn, 2017).

c. Mantenimiento preventivo. El mantenimiento preventivo pretende disminuir o evitar la reparación mediante una rutina de inspecciones periódicas y la renovación de los elementos deteriorados (León, 1998).

En las inspecciones, se hace un desmontaje total o parcial de la máquina con el fin de revisar el estado de sus elementos, reemplazando aquellos que se considere necesario. Otros elementos son sustituidos sistemáticamente en cada inspección, tomando como referencia el número de operaciones realizadas o un período de tiempo de funcionamiento (León, 1998).

El éxito de este tipo de mantenimiento depende de la correcta elección del período de inspección. Un período muy largo conlleva al peligro de la aparición de fallos entre dos inspecciones consecutivas, mientras que un período muy corto puede encarecer considerablemente el proceso productivo (León, 1998).

El inconveniente más grande que presenta es el costo de las inspecciones. El desmontaje y la revisión de una máquina que está funcionando correctamente o la sustitución de elementos que no se encuentran en mal estado, es innecesario y costoso (León, 1998).

4. Mantenimiento basado en confiabilidad. El mantenimiento basado en confiabilidad, o RCM (reliability centered maintenance), puede definirse como la combinación de técnicas de mantenimiento preventivo y predictivo para aumentar la rentabilidad de un equipo (Chalifoux & Baird, 1999).

Los principios del mantenimiento basado en confiabilidad son (Chalifoux & Baird, 1999):

1. El enfoque es en los sistemas. Busca preservar los sistemas o las funciones de los mismos, no solo mantener los componentes individuales de cada sistema.
 2. Se centra en la confiabilidad. No se enfoca solamente en la tasa de fallos de equipos, se enfoca en conocer la probabilidad de que un fallo ocurra en cada componente.
 3. Reconoce las limitaciones del diseño. Reconoce que el mantenimiento no puede ser efectivo en un mal diseño de sistemas, lo cual hace necesario dar retroalimentación acerca del diseño.
 4. Da prioridad a la seguridad sobre la economía. La seguridad siempre se pone antes de cualquier tarea de mantenimiento, por lo que el costo de mantener condiciones de trabajo seguras no se incluye en los gastos del mantenimiento.
 5. Define el fallo como una condición no-satisfactoria.
 6. Las tareas deben producir resultados tangibles. Las tareas que se lleven a cabo deben reducir el número de fallos.
 7. Reconoce cuatro categorías de mantenimiento. Esto asegura consistencia al determinar cómo llevar a cabo el mantenimiento en todos los tipos de equipos. Cada parte de los equipos es asignada a una de las cuatro categorías:
 - Llevar al fallo: es una decisión consciente que se toma luego de un análisis que indica qué funciones serían afectadas por un fallo del sistema en comparación al costo de prevenir el fallo.
 - Mantenimiento basado en calendario: programa tareas basadas en el tiempo que ha pasado desde que la última tarea se llevó a cabo. Es la tarea más común en mantenimiento preventivo.
 - Monitoreo de condición: se recopilan y analizan datos para determinar el tiempo en el que un equipo necesita mantenimiento.
 - Mantenimiento proactivo: consiste en aplicar lo aprendido en mantenimientos pasados a situaciones futuras.
- a. Análisis de confiabilidad. Los pasos básicos para implementar un análisis son (Chalifoux & Baird, 1999):
- Definir los sistemas mayores y componentes. Si los sistemas son muy complejos y dicha complejidad dificulta el análisis, el usuario puede definir subsistemas.
 - Para cada sistema, definir sus funciones.

- Para cada función, definir los posibles fallos funcionales que puedan ocurrir.
- Para cada fallo funcional, definir todos los modos de fallo posibles.
- Para cada modo de fallo, indicar las consecuencias de los mismos.
- Proponer una lista de tareas a llevarse a cabo, y frecuencia, para prevenir los fallos.

b. Consecuencias de los fallos. Cuando se evalúan fallos, también es importante analizar las consecuencias que vienen con ellos con el objetivo de entender la gravedad del fallo. Los cuatro tipos de fallos son (Johnson, 2018):

- Ambientales (E): los fallos tienen consecuencias sobre el medio ambiente.
- De seguridad (S): los fallos tienen consecuencias sobre la seguridad del personal.
- Escondidos (H): la causa del fallo no puede ser detectada por personal.
- Operacional (O): los fallos afectan la operación del equipo.

c. Beneficios del mantenimiento basado en confiabilidad

- Costo: La inversión inicial de un mantenimiento basado en confiabilidad es muy alta, debido a que se tiene que invertir en equipo que realice pruebas no-destructivas. Sin embargo, este costo es a largo plazo. El costo del mantenimiento disminuye al prevenir fallos y reemplazar mantenimiento preventivo con tareas de mantenimiento predictivo (Chalifoux & Baird, 1999).
- Planificación: Permite la planificación de actividades, como la obtención de repuestos, antes de llevar a cabo el mantenimiento. También reduce el mantenimiento innecesario que se lleva a cabo cuando se implementa mantenimiento preventivo (Chalifoux & Baird, 1999).
- Aprovecha el equipo: Obtiene el máximo uso de cualquier equipo al monitorear el uso y la condición de cada equipo, sin necesidad de realizar mantenimientos innecesarios como es el caso con el mantenimiento preventivo (Chalifoux & Baird, 1999)

B. SECADORAS PAXTON

Paxton Products es una empresa ubicada en Ohio, Estados Unidos. Ofrece sistemas de flujo de aire para el secado y soplado de productos. Los sopladores centrífugos de *Paxton*, o secadoras, ofrecen soluciones eficientes para el secado, soplado y aplicaciones de vacío (*Paxton Products*).

La empresa cuenta con tres modelos de secadoras: PX (Figura 10), AT (Figura 11) y XT (Figura 12).

Figura 10. Secadora Paxton PX



Fuente: Paxton Products

Figura 11. Secadora Paxton AT



Fuente: Paxton Products

Figura 12. Secadora Paxton XT



Fuente: Paxton Products

Las funciones de los tres modelos de secadoras son:

- Secado: Elimina agua y otros líquidos del material, dejando la superficie seca y limpia.
- Soplado: Elimina polvo, virutas, serrín, recubrimientos y disolventes.

Los tres modelos consisten en cuatro partes esenciales:

1. Motor eléctrico
2. Ensamble correa, el cual incluye:
 - a. Placa de motor
 - b. Polea del motor
 - c. Polea del soplador
 - d. Correa
 - e. Cubierta de la correa
3. Cabeza de soplador, la cual incluye:
 - a. Cojinetes ABEC-7
 - b. Rodete
4. Filtro de aire de entrada.

La diferencia esencial entre los modelos de secadoras es la potencia y, en el caso de partes, el modelo AT cuenta con un tensor para la correa (*Paxton Products*).

V. LA EMPRESA

La empresa de bebidas fue creada en la Ciudad de Guatemala. Se dedica a la elaboración y envasado de productos de consumo masivo, específicamente bebidas alcohólicas, como cerveza, y azucaradas, como gaseosas y bebidas energéticas.

Hoy en día, la empresa cuenta con tres fábricas en Guatemala, dos en la ciudad y una en el departamento de Escuintla. El plan de mantenimiento que se desarrolla en este informe se llevó a cabo en una de las plantas ubicadas en la ciudad de Guatemala, en la cual se encuentran las oficinas centrales. Esta planta divide sus operaciones en tres actividades principales:

- Elaboración de bebidas alcohólicas y no alcohólicas
- Envasado de bebidas
- Almacenamiento de envases y repuestos

A. PROCESO DE ENVASADO

Posterior a elaborar las bebidas, tanto alcohólicas como azucaradas, se lleva a cabo un proceso de envasado. El proceso de envasado no solo contiene y conserva alimentos y bebidas, también protege de luz, humedad y otros contaminantes ambientales, dependiendo del material que se utilice para el envasado (Stephen-Hassard, 2003).

La empresa de bebidas trabaja con dos tipos de envase: vidrio, para botellas, y aluminio para latas. El proceso de envasado varía dependiendo el tipo de envase. El Cuadro 1 indica los procesos que se llevan a cabo para el envasado. Las figuras 10 y 11 presentan un esquema del proceso de envasado en latas y botellas, respectivamente.

Cuadro 1. Procesos de envasado en latas y botellas

Procesos	Latas	Botellas
Paletizado		X
Despaletizado		X
Lavado		X
Llenado	X	X
Inspección	X	X
Pasteurización	X	X
Secado	X	X
Etiquetado		X
Empaque	X	

Figura 13. Proceso de envasado en latas

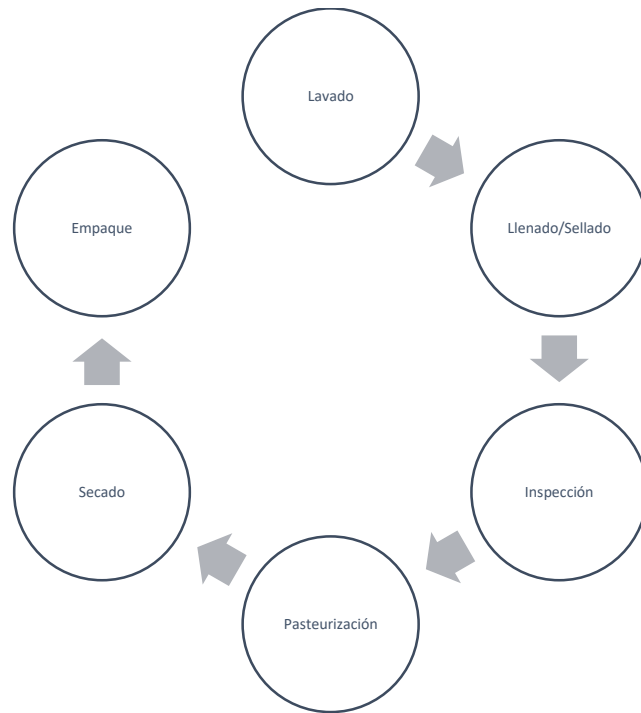
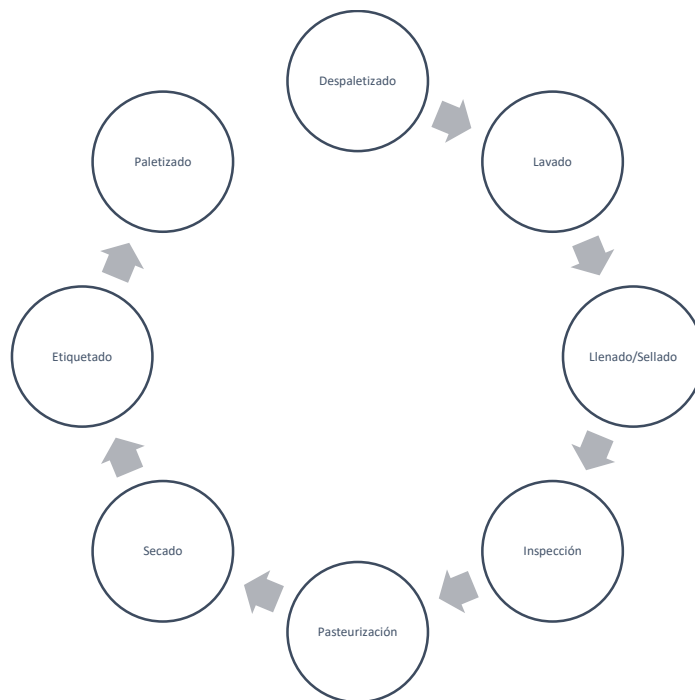


Figura 14. Proceso de envasado en botellas



1. **Transporte.** Tanto latas como botellas se encuentran en almacén previo a iniciar el proceso de envasado. Durante todo el proceso, el transporte de los envases es por medio de bandas transportadoras.

2. **Paletizado y despaletizado.** Las botellas que se utilizan son re-usadas, lo que quiere decir que un departamento de la empresa es encargado de recoger las botellas de distintos establecimientos y llevarlas a la empresa para su debido proceso de envasado. Al recoger las botellas, estas se organizan en recipientes de plástico que tienen capacidad para 16.

Estos recipientes se organizan y apilan unos encima de otros para obtener un total de 384 envases, proceso que se conoce como paletizado.

El proceso contrario, despaletizado, consiste en separar los recipientes de plástico y, una vez separados, extraer los envases para luego colocarlos individualmente en la banda transportadora y así iniciar el proceso de envasado.

3. **Lavado.** Este proceso se lleva a cabo únicamente en líneas de producción que trabajan con botellas. Ya que las botellas son re usadas, el proceso de lavado se asegura de lavar las mismas por dentro y por fuera, así como de remover la etiqueta.

4. **Llenado.** Dependiendo del área y línea de producción, las máquinas llenadoras también cuentan con un mecanismo sellador. De lo contrario, la máquina selladora se encuentra a la par de la llenadora.

5. **Inspección.** Este proceso consiste en inspeccionar las latas y botellas para verificar que no tengan ningún desperfecto físico. En el caso de que sí lo tengan, un actuador neumático descarta el producto defectuoso.

6. **Pasteurización.** La pasteurización tiene como objetivo reducir agentes patógenos que puedan estar en latas y botellas. Esto lo hace al alternar la temperatura del agua durante un determinado período de tiempo.

7. **Secado.** Dependiendo del área y línea de producción, el proceso de secado consiste de una cantidad distinta de secadoras, las cuales están colocadas a lo largo del recorrido en las bandas transportadoras.

Este proceso se divide en secado, en el cual se elimina agua y otros líquidos, y en soplado, en el cual se elimina polvo, virutas, serrín, recubrimientos y disolventes.

8. **Etiquetado.** Utilizando una bomba de pegamento, la máquina etiquetadora se encarga de colocarle la etiqueta a las botellas.

9. **Empaque.** En el caso de latas, hay una cantidad distinta de empacadoras por área y línea de producción. Las latas pueden ser empacadas en grupos de 15 o 24.

B. ÁREAS Y LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

La empresa cuenta con cinco áreas de producción, en las cuales se envasa en latas, botellas o ambas. El Cuadro 2 muestra un resumen de las áreas de producción.

Cuadro 2. Información acerca de las áreas de producción

Área	Líneas de producción	Envasado	
		Latas	Botellas
Área 1	2	X	X
Área 2	1		X
Área 3	2		X
Área 4	2		X
Área 5	2	X	X

1. **Área 1.** El área 1 cuenta dos líneas de producción; línea A y línea B. Ambas trabajan exclusivamente con latas.

En su mayoría, las líneas A y B trabajan con bebidas energéticas y bebidas alcohólicas, respectivamente. En ocasiones, dependiendo de la demanda, la línea A puede trabajar con bebidas alcohólicas.

Al inicio, las dos líneas de producción de latas empiezan por separado. Cada grupo se dirige a su respectiva máquina llenadora, pasteurizadora, inspectores y secadoras. Luego del proceso de secado, cualquiera de las dos líneas de producción puede tomar una de las dos posibles rutas a una de las dos empacadoras. Una empacadora es de 15, mientras que la otra es de 24.

2. **Área 2.** El área 2 es exclusiva para bebidas alcohólicas, específicamente de volumen de un litro. Cuenta con una sola línea de producción para botellas, llevando a cabo los procesos de: lavado, llenado, sellado, inspección, pasteurizado, secado, etiquetado y paletizado.

Esta área solamente trabaja un día a la semana, debido a que la demanda no es tan alta.

3. **Área 3.** El área 3 solo funciona cuando el área cuatro se ve sujeta a cualquier tipo de mantenimiento que detenga la producción; esto se debe a que el área cuatro cuenta con equipo más nuevo y confiable.

Esta área cuenta con dos líneas de producción y es exclusiva para bebidas alcohólicas en envase de vidrio. Los procesos que se llevan a cabo son los mismos a los procesos del área dos, con la diferencia en la cantidad de máquinas, ya que son dos líneas de producción.

A diferencia del área uno, los productos que se envasan en esta área son los mismos; esto quiere decir que las líneas de producción pueden juntarse para evitar tener más de una máquina del mismo tipo, así como muchas secadoras.

Al inicio, todos los envases están en una sola línea de producción, pasando por lavado, pasteurizado e inspección. Luego se separan en dos líneas de producción y pasan por secado y etiquetado. Luego, las líneas de producción se juntan previo a dirigirse a la máquina paletizadora.

4. **Área 4.** El área 4 es el área principal para la producción de envases de vidrio. Funciona las 24 horas del día, todos los días, y solo se detiene cuando requiere mantenimiento. Su funcionamiento es similar al del área 3, con la diferencia en la cantidad de secadoras.

5. **Área 5.** El área 5 cuenta con dos líneas de producción independientes. Una línea de producción es exclusiva para envasado de latas, la cual trabaja las 24 horas del día, todos los días.

La otra línea de producción trabaja dependiendo de la demanda del producto. Esta línea de producción envasa cerveza en contenedores de 30 o 50 litros; debido a que dichos contenedores no se empacan ni se etiquetan, la línea de producción no cuenta con secadoras.

VI. DESARROLLO DEL PROYECTO

A. LINEAMIENTOS DE SEGURIDAD

El área de mantenimiento de la empresa de bebidas requiere que cualquier trabajador nuevo se familiarice con las normas de seguridad. Esto se hace por medio de una charla, la cual inicia con los posibles riesgos que existen en la planta, sus posibles consecuencias y cómo prevenirlos. Esto lleva al equipo de seguridad que debe ser utilizado en todo momento dentro de las áreas de producción. Dicho equipo consiste de:

- Zapatos de seguridad.
- Redecilla para el cabello.
- Pantalón de lona.
- Tapones para los oídos.

Adicionalmente, están prohibidos ciertos artículos de ropa, como cualquier tipo de joyería. Este código de vestimenta también aplica para los almacenes que están ubicados junto a las áreas de producción, en los cuales se encuentran envases para las bebidas.

Seguir las normas de vestimenta es de mucha importancia, ya que no cumplirlas puede provocar un incidente con los equipos o alterar la calidad de los productos.

Cuando se conocen los equipos de seguridad, la charla da información acerca de procedimientos de emergencia; esto incluye evacuaciones, zonas de circulación para peatones y ubicación de regaderas y botiquines.

B. FAMILIARIZACIÓN CON LAS LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

Previo a iniciar el proyecto, fue necesario familiarizarse con las áreas y las líneas de producción. Esto se hizo al recorrer todas las líneas de producción durante dos semanas.

1. Levantamiento de información de secadoras. La primera fase del proyecto consiste en un levantamiento de información de secadoras. Esto incluye:

- Idear una codificación adecuada.
- Ubicar las secadoras.
- Obtener la marca, el modelo y número de serie de cada secadora.
- Tabular toda la información obtenida en Microsoft Excel.

- Indicar la cantidad de secadoras por línea de producción, por área y en total. También se indicará la cantidad de secadoras inactivas, lo que indica las secadoras que no funcionan.

Para esto fue necesario volver a recorrer todas las líneas de producción, pero esta vez tomando nota de la cantidad de secadoras y su ubicación.

La importancia de conocer la marca, el modelo y el número de serie es para buscar repuestos, ya sea en catálogos físicos de proveedores o páginas de internet, y poder aproximar el costo de cada mantenimiento preventivo.

El recorrido por todas las líneas de producción se hizo un total de tres veces, ya que ciertas secadoras estaban en posiciones difíciles de ver.

a. Codificación. Una secadora se define como un equipo, el cual se encuentra dentro de un área y esta misma se encuentra en una planta. En el caso de la empresa de bebidas, solo cuenta con una planta y cinco áreas. Debido a esto, se decidió obviar la planta de la codificación.

La primera parte de la codificación indicará el área; el primer carácter será una A y el segundo un número, dependiendo del área.

- Área 1: A1
- Área 2: A2
- Área 3: A3
- Área 4: A4
- Área 5: A5

En el caso de áreas con dos líneas de producción, se agregará una letra después del número que identifique la línea. Por ejemplo, para el área 1:

- Área 1, línea de producción A: A1A
- Área 1, línea de producción B: A1B

La segunda parte de la codificación indicará el equipo. Esto se hará de la siguiente manera:

- Los equipos ubicados en el área 1 tendrán una numeración de 101 a 199.
- Los equipos ubicados en el área 2 tendrán una numeración de 201 a 299.
- Los equipos ubicados en el área 3 tendrán una numeración de 301 a 399.
- Los equipos ubicados en el área 4 tendrán una numeración de 401 a 499.
- Los equipos ubicados en el área 5 tendrán una numeración de 501 a 599.

El sistema de codificación debe ser significativo. Después de la numeración se indicará la ubicación de cada secadora, la dependerá de la máquina más cercana. Las máquinas se codificarán de la siguiente manera:

- Pasteurizadora: PST
- Transporte: TSP
- Empacadora: EMP
- Etiquetadora: ETQ
- Lavadora: LVD
- Llenadora: LLN

En el caso de dos líneas de producción, se agregará una letra para indicar la línea a qué se refiere. En el caso de dos máquinas iguales en una misma área, se agregará un número para indicar a qué máquina se refiere. Por ejemplo:

- PST-A
- ETQ-2

Un ejemplo de codificación completa es el siguiente:

A2-201-TSP

b. Ubicación de secadoras. Al contar con una codificación adecuada, se ubicaron las secadoras en cada línea de producción y se obtuvieron datos como marca, modelo y número de serie. Toda esta información se apuntó en un cuaderno como un primer borrador, y luego se tabuló en tablas en Microsoft Excel. En ocasiones, la tabulación de datos no incluye el modelo u el número de serie ya que algunas secadoras no contaban con él. Referirse a los anexos 20-24 para ver la información que se tabuló.

1) Área 1. El área 1 cuenta con la mayor cantidad de secadoras. En el Cuadro 3 se presentan las secadoras de la línea A, y en el Cuadro 4 se presentan las secadoras de la línea B.

Cuadro 3. Secadoras en la línea de producción A, área uno

Secadora	Marca	Modelo	Número de serie
A1A-101-PST-A	Air Force 1		048176
A1A-102-TSP-A	Paxton	XT-300	90904-1C
A1A-103-TSP-A	Paxton	AT1200	81964
A1A-104-TSP-A	Air Force 1		048476
A1A-105-EMP-A	Air Blast	2T-13-3	3703-94

Cuadro 4. Secadoras en la línea de producción B, área uno

Secadora	Marca	Modelo	Número de serie
A1B-101-PST-B	General Electric	5KW184BD105A	VEK0A062B12
A1B-102-TSP-B	Paxton	AT1200	107310-1D
A1B-103-TSP-B	Paxton	AT1200	107310-1C
A1B-104-TSP-B	Paxton	AT1200	107310-1B
A1B-105-TSP-B	Paxton	AT1200	107310-1A
A1B-106-TSP-B	Paxton	XT-300	90901-1B
A1B-107-TSP-B	Air Force 1	48028	

Referirse a la Figura 26 en los anexos para ver un plano de la línea A de producción, y a la figura 27 para ver un plano de la línea B de producción.

Como mencionado en el capítulo dos, las líneas de producción A y B del área 1 pueden dirigirse a cualquiera de las dos empacadoras. Esto quiere decir que, en un punto del transporte, cualquiera de las dos líneas puede pasar por cualquier área del transporte. Entonces, ciertas secadoras no son exclusivas de una línea de producción (Cuadro 5).

Cuadro 5. Secadoras sin línea de producción exclusiva, área uno

Secadora	Marca	Modelo	Número de serie
A1-101-TSP	Paxton	XT-300	94099-1B
A1-102-TSP	Air Force 1		048024
A1-103-TSP	Air Blast	2T-18-5	2022-90
A1-104-TSP	Paxton	XT-300	107043-1A

2) Área 2. El área 2 solamente cuenta con dos secadoras (Cuadro 6). Referirse a la Figura 28 en los anexos para ver un plano del área dos de producción.

Cuadro 6. Secadoras en el área dos

Secadora	Marca	Modelo	Número de serie
A2-201-TSP	Air Force 1		048478
A2-202-ETQ	Paxton	XT-300	92189

3) Área 3. Como mencionado en el capítulo dos, el área 3 cuenta con dos líneas de producción, pero, a diferencia del área uno, el producto siempre es el mismo, lo que elimina la necesidad de tener dos máquinas de cada una.

Cuadro 7. Secadoras en ambas líneas de producción, área tres

Secadora	Marca	Modelo	Número de serie
A3-301-LVD	Air Force 1		048812
A3-302-PST	Air Force 1		048813
A3-303-TSP	Air Force 1		048022
A3-304-ETQ-1	Paxton	XT-300	116943-1B
A3-305-ETQ-2	Paxton	XT-300	116943-1A

Referirse a la Figura 29 en los anexos para ver un plano del área tres de producción.

4) Área 4. El área 4 es similar al área 3. También cuenta con dos líneas de producción, las cuales inician juntas pero se separan al final para ser etiquetadas.

Cuadro 8. Secadoras en ambas líneas de producción, área cuatro

Secadora	Marca	Modelo	Número de serie
A4-401-PST	Karl Klein		0804-173807
A4-402-LLN-1	Paxton	XT-300	108618-1A
A4-403-LLN-1	Paxton	XT-300	90904-1B
A4-404-LLN-2	Paxton	XT-300	108618-1B
A4-405-LLN-3	Paxton	XT-300	94099-1A
A4-406-ETQ-1	Paxton	XT-300	87741-1B
A4-407-ETQ-1	Paxton	XT-300	90905-1B
A4-408-ETQ-2	Paxton	XT-300	87741-1A
A4-409-ETQ-2	Paxton	XT-300	90904-1A

Referirse a la Figura 30 en los anexos para ver un plano del área cuatro de producción.

5) Área 5. Se mencionó en el capítulo dos que el área 5 es una de las áreas que trabaja las 24 horas del día, los siete días de la semana. Esta área también es la más moderna; cuenta con una máquina que tiene la capacidad de secar por completo todos los envases de aluminio que entran a ella. Debido a esto, el

área cinco solamente cuenta con dos secadoras. Una de ellas se encuentra en transporte a llenadora y la otra es la secadora industrial de marca Europool.

Cuadro 9. Secadoras en línea de producción de latas, área cinco

Secadora	Marca	Modelo	Número de serie
A5-501-TSP	Gebr. Schmidt		048478
A5-502-TSP	Europool		EP14/2769/02

Referirse a la Figura 31 en los anexos para ver un plano del área 5 de producción.

c. Cantidad de secadoras. En total, la empresa de bebidas cuenta con 34 secadoras. El Cuadro 10 muestra la cantidad de secadoras por área de producción.

Cuadro 10. Secadoras por área de producción

Área	Cantidad de secadoras
Área 1	16
Área 2	2
Área 3	5
Área 4	9
Área 5	2

Inicialmente, las secadoras inactivas iban a ser clasificadas como secadoras que no funcionaban. Sin embargo, la empresa de bebidas ha enfocado la compra de nuevas secadoras, así como mantenimiento preventivo, exclusivamente en la marca *Paxton*. Esto quiere decir que cuando secadoras de otras marcas fallen, la empresa simplemente se va a deshacer de ellas. El fallo de dichas secadoras no tendrá ninguna consecuencia sobre la producción, ya que cuentan con suficientes secadoras *Paxton*. Adicionalmente, las secadoras de otras marcas serán desechadas por la empresa al mismo tiempo, pero actualmente no se sabe cuándo. Esto quiere decir que a la empresa le interesa saber dos cosas: la cantidad de secadoras *Paxton* y la cantidad de secadoras de otras marcas.

En total, la empresa de bebidas cuenta con 20 secadoras marca *Paxton* y 14 secadoras de otras marcas. El Cuadro 11 muestra las secadoras, tanto *Paxton* como de otras marcas, por área de producción.

Cuadro 11. Secadoras por área y línea de producción

Área y línea de producción		Cantidad de secadoras <i>Paxton</i>	Cantidad de secadoras de otras marcas
Área 1	Línea A	2	3
	Línea B	5	2
	Otra	2	2
Área 2		1	1
Área 3		2	3
Área 4		8	1
Área 5	Línea A	0	2
	Línea B	0	0

C. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

La empresa de bebidas cuenta con dos modelos de secadoras *Paxton*: XT-300 (Fig. 12) y AT-1200 (Fig. 13).

Figura 15. Modelo XT-300



Fuente: Paxton Products

Figura 16. Modelo AT-1200



Fuente: Paxton Products

Ambos modelos consisten de cuatro partes esenciales:

1. Motor eléctrico
2. Ensamble correa, el cual incluye:
 - a. Placa de motor
 - b. Polea del motor
 - c. Polea del soplador
 - d. Correa
 - e. Cubierta de la correa
3. Cabeza de soplador, la cual incluye:
 - a. Cojinetes ABEC-7
 - b. Rodete
4. Filtro de aire de entrada

La Figura 25 en los anexos muestra una vista en explosión de un modelo XT-300.

El Cuadro 12 muestra la diferencia entre ambos modelos.

Cuadro 12. Especificaciones de modelo XT-300 y AT-1200

Especificaciones	XT-300	AT-1200
Potencia	2.2 kW	11 kW
Eficiencia máxima	52%	65%
Salida máxima	300 cfm	800 cfm
Peso	85 lbs	214 lbs
Diámetro de salida	76 mm	102 mm

Aparte de las especificaciones, la diferencia principal entre ambos es que el modelo XT-300 cuenta con una transmisión automática. Esto elimina la necesidad de tener un tensor; a diferencia del modelo XT-1200. En la Figura 14 se pueden observar las diferencias.

Figura 17. Vista de ambos modelos



Fuente: Paxton Products

1. **Repuestos.** Los repuestos de las secadoras son los siguientes:

- Correa
- Filtro
- Cabeza de soplador
- Tensor (solamente modelo AT-1200)

Para ambos modelos, los repuestos son los mismos con diferencias en dimensiones y precio.

a. **Correa.** En el caso del modelo XT-300, la correa cuenta con transmisión de tensión automática; debido a esto, el modelo no necesita tensor de ajuste manual. El proveedor recomienda que la correa se cambie anualmente.

Figura 18. Correa de secadora



Fuente: Paxton Products

b. Filtro. El proveedor recomienda dos cosas respecto al cambio de filtros. La primera es que se cambien de acuerdo a un incremento en caída de presión a lo largo del filtro. Si la caída excede 10 pulgadas de columna de agua, es necesario un cambio. La segunda es cambiar el filtro anualmente.

Figura 19. Filtro de secadora



Fuente: Paxton Products

c. Cabeza de soplador. La cabeza de soplador incluye otros componentes como cojinetes, sellos, eje y polea. El proveedor no especifica la frecuencia de cambio.

Figura 20. Cabeza de soplador



Fuente: Paxton Products

d. Tensor y resorte del tensor. El proveedor recomienda que tanto el tensor (Fig. 18) como el resorte (Fig. 19) se cambien anualmente.

Figura 21. Tensor de secadora



Fuente: Paxton Products

Figura 22. Resorte de tensor



Fuente: Paxton Products

2. Recomendación de plan de mantenimiento. Previamente, se mencionó que ciertas áreas trabajan todo el día, durante toda la semana. Esto quiere decir que la producción podría detenerse por dos motivos:

1. El área de producción tiene un mantenimiento preventivo programado.
2. Un fallo inesperado en equipo importante lleva a un mantenimiento correctivo.

La empresa de bebidas ha programado mantenimiento preventivo, para las cinco áreas, tres veces al año. Este mantenimiento no solo es para secadoras; es un mantenimiento mayor que se le da a todos los equipos. Por lo tanto, las áreas de producción pueden detenerse hasta una semana.

La línea A del área 1 de producción tiene programado mantenimiento preventivo en los meses de enero, junio y septiembre. La línea B los meses de enero, junio y octubre.

El área 2 de producción tiene programado mantenimiento preventivo en febrero, julio y septiembre.

El área 3 de producción tiene mantenimiento en abril, julio y octubre, mientras que el área cuatro tiene los meses de febrero, junio y agosto. La empresa de bebidas procuró que los mantenimientos preventivos de estas dos áreas se programaran en distintos meses, ya que la función principal del área tres es trabajar cuando el área cuatro está bajo mantenimiento.

El área 5 de producción tiene programados mantenimientos los meses de mayo y agosto. Ya que el área 5 de producción cuenta con dos secadoras; de las cuales ninguna es marca *Paxton*, dicha área se excluirá por completo del plan de mantenimiento preventivo.

El Cuadro 13 muestra los meses en que las áreas de producción tienen programado mantenimiento preventivo.

Cuadro 13. Mantenimiento preventivo por área de producción

Mes	Área 1		Área 2	Área 3	Área 4
	Línea A	Línea B			
Enero	X	X			
Febrero			X		X
Marzo					
Abril				X	
Mayo					
Junio	X	X			X
Julio			X	X	
Agosto					X
Septiembre	X		X		
Octubre		X		X	
Noviembre					
Diciembre					

Teniendo en cuenta que todas las áreas de producción, con excepción del área cinco, tienen mantenimiento programado tres veces al año, se recomienda lo siguiente en base a recomendaciones del proveedor:

Cambio de correas: el proveedor recomienda un cambio anualmente (Paxton Products). El Cuadro 14 muestra los meses en los que se deberá hacer un cambio de correas en las áreas de producción.

Cuadro 14. Cambio de correas en las áreas de producción

Mes	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4
Enero	Cambio de correas			
Febrero		Cambio de correas		Cambio de correas
Abril			Cambio de correas	

Cambio de filtros: ya que la empresa de bebidas no cuenta con el equipo necesario para medir la caída de presión a lo largo del filtro, se recomienda una limpieza luego de seis meses de uso y un cambio una vez al año. El Cuadro 15 muestra los meses en los que se deberá hacer un cambio y una limpieza de filtros en las áreas de producción.

Cuadro 15. Cambio y limpieza de filtros en las áreas de producción

Mes	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4
Enero	Limpieza de filtros			
Febrero		Limpieza de filtros		Limpieza de filtros
Abril			Limpieza de filtros	
Mayo				
Junio	Cambio de filtros			Cambio de filtros
Julio		Cambio de filtros	Cambio de filtros	

Cambio de cabezas: el proveedor no da información del mantenimiento que requieren las cabezas; por lo tanto, se recomienda hacer un mantenimiento menor una vez al año que incluya limpieza y lubricación. El Cuadro 16 muestra los meses en que se debe hacer mantenimiento a las cabezas en las áreas de producción.

Cuadro 16. Mantenimiento a cabezas de sopladores en áreas de producción

Mes	Área 1 Línea A	Área 1 Línea B	Área 2	Área 3	Área 4
Agosto					Mantenimiento de cabezas
Septiembre	Mantenimiento de cabezas		Mantenimiento de cabezas		
Octubre		Mantenimiento de cabezas		Mantenimiento de cabezas	
Octubre		Mantenimiento de cabezas		Mantenimiento de cabezas	

Cambio de tensores y resortes: El proveedor recomienda cambiar resortes anualmente. El Cuadro 17 muestra los meses en que se debe hacer mantenimiento a los tensores.

Cuadro 17. Mantenimiento a tensores en áreas de producción.

Mes	Área 1 Línea A	Área 1 Línea B
Septiembre	Cambio de resortes	
Octubre		Cambio de resortes

Referirse a la Figura 32 en los anexos para el plan de mantenimiento del modelo XT-300, y a la Figura 33 para el plan de mantenimiento del modelo AT-1200.

3. Costo de mantenimiento preventivo anual. Para calcular el costo del mantenimiento preventivo anual, se deben tomar en cuenta tres factores: repuestos de las secadoras, herramientas necesarias para llevar a cabo el mantenimiento y mano de obra necesaria para hacer el mantenimiento.

a. Costo de repuestos. Se tienen tres componentes que deben cambiarse anualmente: correas, filtros y resortes. El Cuadro 18 muestra los repuestos por cantidad, el modelo, el número de parte y el costo de cada uno.

Cuadro 18. Información de repuestos de secadoras

Repuesto / Modelo	Cantidad	Número de parte	Costo (\$)
Filtro / XT-300	2	8006108-2	166.90
Filtro / AT-1200	1	8005556	491.00
Correa / XT-300	1	8006105	36.00
	5	8006105-5	144.00
Correa / AT-1200	1	8001458	107.00
Repuesto / Modelo	Cantidad	Número de parte	Costo (\$)
Correa / AT-1200	5	8001458 – 5	467.00
Resorte / AT-1200	5	8002575 – 5	29.00

En el Cuadro 19 se puede observar que, en el caso de la correa, se puede comprar una unidad o 5 unidades. Lo recomendable es comprar 5 unidades, ya que *Paxton* ofrece comprar 5 por el precio de 4.

El área 1 de producción cuenta con 16 secadoras, de las cuales 9 son marca *Paxton* (Cuadro 10); 4 secadoras XT-300 y 5 secadoras AT-1200. Debido a esto, se recomienda comprar anualmente:

- 4 filtros para el modelo XT-300
- 5 filtros para el modelo AT-1200
- 5 correas para el modelo XT-300
- 5 correas para el modelo AT-1200
- 5 resortes para el modelo AT-1200

Siempre se compran los repuestos que se puedan por cinco unidades. Los repuestos que no se utilicen, se van directamente a almacén. El Cuadro 19 muestra el costo anual de repuestos en el área 1 de producción.

Cuadro 19. Costo de repuestos en área 1 de producción

Repuesto / Modelo	Cantidad	Costo de repuesto (\$)
Filtro / XT-300	4	333.80
Filtro / AT-1200	5	2455.00
Correa / XT-300	5	144.00
Correa / AT-1200	5	934.00
Resorte / AT-1200	5	29.00

El área 2 de producción cuenta con 2 secadoras, de las cuales solo una es marca *Paxton*. Se recomienda comprar anualmente:

- 2 filtros

El Cuadro 20 muestra el costo anual de repuestos en el área 2 de producción.

Cuadro 20. Costo de repuestos en el área 2 de producción

Repuesto	Cantidad	Costo de repuesto (\$)
Filtro	2	166.90
Correa	0	0.00

El área 3 de producción cuenta con 5 secadoras (Cuadro 10); de las cuales 2 son marca *Paxton*. Se recomienda comprar anualmente:

- 2 filtros
- 5 correas

El Cuadro 21 muestra el costo de repuestos anual en el área de producción 3.

Cuadro 21. Costo de repuestos en el área 3 de producción.

Repuesto	Cantidad	Costo de repuesto (\$)
Filtro	2	166.90
Correa	5	144.00

El área 4 de producción cuenta con 9 secadoras; de las cuales 8 son *Paxton*. Se recomienda comprar anualmente:

- 8 filtros
- 5 correas

El Cuadro 22 muestra el costo de repuestos anual en el área de producción 4.

Cuadro 22. Costo de repuestos en el área 4 de producción.

Repuesto	Cantidad	Costo de repuesto (\$)
Filtro	8	667.60
Correa	5	144.00

El costo total anual de repuestos para secadoras *Paxton* es de \$4718.20. Al realizar una conversión a quetzales, aproximando un tipo de cambio de:

$$\$1.00 = Q8.00$$

El costo total anual de repuestos es de Q37745.60.

b. Costo de herramientas. Las herramientas necesarias para cambiar los repuestos de las secadoras varían dependiendo del modelo, como se muestra en los cuadros 23 y 24. Algunas herramientas son necesarias para ambos modelos.

Cuadro 23. Herramientas necesarias para modelo AT-1200

Repuesto	Herramienta necesaria – medida (pulgadas)
Correa	Llave Allen – 5/16
	Destornillador Phillips – 4
Cabeza de soplador	Llave Allen – 5/16
	Destornillador Phillips – 4
	Destornillador de copa – 5/16
	Destornillador Torx T45
Resorte de tensor	Llave ajustable
	Tenaza de punta fina – 5

Cuadro 24. Herramientas necesarias para modelo XT-300

Repuesto	Herramienta necesaria – medida (pulgadas)
Correa	Destornillador Phillips – 4
	Destornillador Phillips – 4
Cabeza de soplador	Destornillador de copa – 5/16
	Trinquete – 1/2
	Dado para trinquete – 1/2

Se estima que un cambio de repuestos completo (cambio de correa, filtro y resorte, en el caso del modelo AT-1200) tiene una duración de una hora. Esto debido a que, aparte de ser un equipo sencillo, los cambios de repuestos se llevan a cabo solamente una vez al año y se realizan en diferentes ocasiones (cuadros 13-17).

Ya que la empresa cuenta con 20 unidades de secadoras, 5 unidades AT-1200 y 15 unidades XT-300, la cantidad de horas de uso de cada herramienta será diferente. El Cuadro 25 muestra las horas anuales de uso de las herramientas necesarias para el mantenimiento de ambos modelos.

Las horas anuales de uso se calcularon de la siguiente manera:

$$3 \text{ mantenimientos anuales} * 1 \text{ hora de mantenimiento} * (\text{secadoras AT1200} + \text{secadoras XT300})$$

En donde la cantidad de secadoras depende si es modelo AT-1200 (5 unidades) o XT-300 (15 unidades).

Cuadro 25. Horas anuales de uso de las herramientas

Herramienta	Modelo en que se utiliza	Horas anuales de uso
Llave Allen	AT-1200	15
Destornillador Phillips	AT-1200 y XT-300	60
Llave ajustable	AT-1200	15
Tenaza de punta fina	AT-1200	15
Destornillador de copa	AT-1200 y XT-300	60
Destornillador Torx	AT-1200	15
Trinquete	XT-300	60
Dado para trinquete	XT-300	60

Los precios de las herramientas fueron cotizados en la página de la empresa Novex, los cuales se muestran en el Cuadro 26.

Cuadro 26. Costo de herramientas necesarias para el mantenimiento preventivo

Herramienta	Medida (pulgadas)	Costo en queztales
Llave Allen	5/16	5.00
Destornillador Phillips	4	18.00
Llave ajustable		120.00
Tenaza de punta fina	5	50.00
Destornillador de copa	5/16	36.00
Trinquete	1/2	169.00
Dado para trinquete	1/2	31.00
Destornillador Torx T45		45.00

La vida útil estimada de las herramientas es de 5 años. Tomando en cuenta que las herramientas pueden ser utilizadas para otras actividades de mantenimiento, la vida útil, en horas, de cada herramienta es:

$$8 \text{ horas diarias} * 7 \text{ días} * 4 \text{ semanas} * 12 \text{ meses} * 5 \text{ años} = 13440 \text{ horas}$$

El costo, por hora, del uso de una herramienta es:

$$\frac{\text{Costo de herramienta}}{13440 \text{ horas}}$$

Con este dato, es posible calcular el costo anual por herramienta:

$$\text{costo de uso por hora} * \text{horas anuales de uso}$$

y, al sumarlo, obtener el costo total de las herramientas utilizadas en el mantenimiento de las secadoras.

Cuadro 27. Costo total de las herramientas utilizadas en mantenimiento preventivo

Herramienta	Costo de uso por hora (quetzales)	Costo total de la herramienta en mantenimiento de secadoras (quetzales)
Llave Allen	0.0000372	0.000186
Destornillador Phillips	0.000133	0.00241
Llave ajustable	0.00089	0.107
Tenaza de punta fina	0.000372	0.0186
Destornillador de copa	0.000268	0.00964
Trinquete	0.00125	0.212
Dado para trinquete	0.00023	0.00715
Destornillador Torx T45	0.000334	0.015

Al sumar los costos totales de las herramientas individuales, se obtiene un costo total anual por herramientas de aproximadamente 96 centavos de quetzal.

c. Costo de mano de obra. Debido a que ciertas áreas de producción de la empresa deben trabajar los 7 días de la semana, es obligatorio que los trabajadores cumplan horas extra de trabajo. El salario mensual estimado de un trabajador que le hace mantenimiento a las máquinas, con horas extras incluidas, es de Q6000.00.

Se puede calcular el costo de una hora de trabajo de dichos trabajadores como:

$$\text{Salario mensual} / 30 \text{ días} / 12 \text{ horas de trabajo diarias}$$

Lo cual indica que el costo, por hora, de mano de obra es de Q25.00.

Si se estima que el mantenimiento de cada secadora tiene una duración de una hora, y se tiene un total de 20 secadoras, el costo de mano de obra puede calcularse como:

$$20 \text{ unidades} * 1 \text{ hora de mantenimiento} * 3 \text{ mantenimientos anuales} * Q25.00$$

El costo total anual por mano de obra es de Q2250.00

d. Costo total de mantenimiento preventivo anual. El Cuadro 28 muestra el costo de repuestos, herramientas y mano de obra, los cuales son tomados en cuenta para obtener el costo total de mantenimiento preventivo anual.

Cuadro 28. Costos de repuestos, herramientas y mano de obra anuales.

Parte del mantenimiento preventivo	Costo anual (quetzales)
Repuestos	37745.60
Herramientas	0.96
Mano de obra	2250.00

El costo total del mantenimiento preventivo anual es de Q39996.56.

D. ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD

El primer paso de un análisis de confiabilidad es definir los sistemas y sus componentes. En este caso, el único sistema es la secadora. Los componentes varían dependiendo el modelo, los cuales se muestran en el Cuadro 29.

Cuadro 29. Componentes del sistema

Componentes de modelo XT-300	Componentes de modelo AT-1200
Filtro	Filtro
Correa	Correa
Cabeza de soplador	Cabeza de soplador
	Tensor
	Resorte de tensor

Como segundo paso, se definen las funciones del sistema (Cuadro 30).

Cuadro 30. Funciones de una secadora *Paxton*

Equipo	Función
Secadora <i>Paxton</i>	Secado y soplado de latas y botellas

El tercer paso es definir los fallos funcionales que puedan ocurrir en cada función. Los fallos funcionales son los siguientes:

1. Pérdida total de flujo
2. Pérdida parcial de flujo
3. El flujo de aire se detiene
4. Suciedad en el aire

En el cuarto paso, se definen los modos de fallo para cada fallo funcional. Estos se presentan en el Cuadro 31.

Cuadro 31. Modos de fallo

Fallo funcional	Modos de fallo
Pérdida total de flujo	Fallo del motor Fuga excesiva Fallo del ventilador
Pérdida parcial de flujo	Fallo del motor Fallo del ventilador Fuga leve
El flujo de aire se detiene	Aislamiento de embobinado falla El motor está contaminado El motor tiene baja resistencia
Suciedad en el aire	Filtro obstruido

Luego, es importante saber las causas de los modos de fallo. Estas causas se dan en forma de niveles. Cada nivel responde la pregunta de “por qué” del nivel anterior. Esta información se presenta en los Cuadros 32-35.

Cuadro 32. Niveles de modos de fallo para una pérdida total de flujo

Modo de fallo	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Fallo del motor	No hay corriente en el motor	Se dañaron los fusibles	Hubo un corto circuito
Fuga excesiva	Las tuberías están dañadas		
Fallo del ventilador	Las poleas no giran	Des alineamiento en las poleas	Exceso de vibraciones

Cuadro 33. Niveles de modos de fallo para una pérdida parcial de flujo

Modo de fallo	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Fallo del motor	El motor gira a bajas RPM	Los cojinetes se encuentran a alta temperatura	No hay suficiente lubricación
Fallo del ventilador	Los álabes están obstruidos		
Fuga leve	Las tuberías están dañadas		

Cuadro 34. Niveles de modo de fallo para un flujo de aire que se detiene

Modo de fallo	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4
Aislamiento de embobinado falla	El motor se sobrecalienta	El motor se encuentra a alta temperatura	El ventilador del motor no funciona	Los álabes están obstruidos
El motor está contaminado	El área alrededor del motor está sucia			
El motor tiene baja resistencia	El aislamiento del embobinado está dañado	El aislamiento tiene corrosión		

Cuadro 35. Niveles de modo de fallo para un filtro obstruido

Modo de fallo	Nivel 1
Filtro obstruido	Falta de limpieza

Ya que se conocen las posibles causas de los fallos, es necesario hacer una evaluación de consecuencias, las cuales pueden ser ambientales, de seguridad, escondidas u operacionales. El Cuadro 36 muestra la evaluación para cada fallo.

Cuadro 36. Consecuencias de los fallos

Fallo	Consecuencia
Fallo del motor	Operacional, seguridad
Fuga excesiva	Operacional
Fallo del ventilador	Operacional
Fallo del motor	Operacional, ambiental

Fallo	Consecuencia
Fallo del ventilador	Operacional
Fuga leve	Operacional, escondido
Aislamiento de embobinado falla	Operacional
El motor está contaminado	Operacional, escondido
El motor tiene baja resistencia	Operacional, seguridad
Filtro obstruido	Operacional

Finalmente, se propone una lista de tareas para prevenir los fallos. Dicha lista se presenta en el Cuadro 37.

Cuadro 37. Tareas propuestas para los fallos

Fallo	Tarea propuesta	Frecuencia
Fallo del motor	Inspeccionar el motor con una cámara termográfica	6 meses
Fuga excesiva	Inspeccionar tuberías visualmente	2 meses
Fallo del ventilador	Hacer un análisis de vibraciones al motor	3 meses
Fallo del motor	Realizar análisis de aceite a los cojinetes	6 meses
Fallo del ventilador	Inspeccionar el ventilador visualmente	6 meses
Fuga leve	Inspeccionar tuberías visualmente	2 meses
Aislamiento de embobinado falla	Inspeccionar el ventilador del motor visualmente	1 año
El motor está contaminado	Asegurarse que el área de trabajo esté limpia	1 semana
El motor tiene baja resistencia	Realizar una medición de aislamiento	1 año
Filtro obstruido	Medir la caída de presión a lo largo del filtro	6 meses

Las figuras 34-37 en los anexos muestran el análisis de confiabilidad completo.

Para conocer el costo de un mantenimiento predictivo anual, se realizó una cotización con la empresa *Termogram*. Las pruebas de mantenimiento predictivo que se cotizaron fueron: análisis de aceite, análisis de vibraciones y termografía.

El servicio de termografía, el cual se realiza dos veces al año, se excluirá del costo anual del mantenimiento basado en confiabilidad. Esto debido a que el análisis de termografía se incluyó con el objetivo de revisar fusibles, los cuales no se incluyeron en el mantenimiento preventivo.

Al excluir el análisis de termografía, el costo anual de mantenimiento basado en confiabilidad es de \$6400.00, o Q51200.00

Referirse a la Figura 41 en los anexos para ver la cotización.

E. ANÁLISIS DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA TOMA DE DECISIÓN

Tanto el mantenimiento preventivo como el mantenimiento basado en confiabilidad cuentan con ventajas y desventajas.

El mantenimiento preventivo es el tipo de mantenimiento que conserva mejor los activos. Aunque esto disminuye la probabilidad de realizar un mantenimiento correctivo no deseado, siempre existe el riesgo de dar mantenimiento cuando no se necesita.

En cuanto al mantenimiento basado en confiabilidad, el cual está enfocado en tareas de mantenimiento predictivo; las ventajas y desventajas dependerán de las necesidades y actividades de la empresa que lo lleve a cabo. Si una empresa toma la decisión de invertir en el equipo para realizar el mantenimiento predictivo, la gran desventaja es que requiere de una inversión inicial muy alta. De lo contrario, si se lleva a cabo el mantenimiento predictivo al contratar una empresa que lo realice, no requiere de una inversión inicial pero sí de un gasto anual que puede llegar a ser muy costoso. Ya sea invertir en equipo de mantenimiento predictivo u contratar a una empresa que lo lleve a cabo, la ventaja del mantenimiento predictivo es que se evitan los mantenimientos innecesarios y, debido al constante monitoreo de los equipos, los aprovecha al máximo.

Conociendo las ventajas y desventajas de cada tipo de mantenimiento, se puede tomar la decisión acerca de qué tipo de mantenimiento le conviene más a la empresa. Para tomar la decisión, los siguientes puntos son importantes:

1. La empresa basa la mayoría de mantenimiento en planes de mantenimiento preventivo.
2. Debido al punto 1, no cuentan con equipo para llevar a cabo mantenimiento predictivo. Esto quiere decir que, para hacerlo, sería necesario contratar a una empresa que haga pruebas de mantenimiento predictivo.
3. El mantenimiento preventivo en la empresa se basa mucho en experiencia, y no en recomendaciones del proveedor. Esto quiere decir que el personal de mantenimiento no realiza un cambio de filtros

anualmente, por ejemplo, si se sabe por experiencia que los filtros pueden mantenerse en buen estado con una limpieza constante.

4. El costo anual de mantenimiento para los repuestos del equipo de secado es de Q39996.00. Esta cifra no incluye: cabezas de sopladores, motores eléctricos, costos de instalación, costos de envío y costos de impuestos.
5. En base a las cotizaciones, un mantenimiento predictivo anual tiene un costo de Q51200.00. Esta cotización no incluye mediciones de aislamiento ni viáticos del personal de la empresa que realiza el mantenimiento predictivo.

El hecho que la empresa realice, en su mayoría, mantenimiento preventivo es de mucha relevancia para tomar la decisión. Esto es porque la empresa cuenta con equipo de mucha criticidad, por lo que un mantenimiento preventivo es de suma importancia para conservar dicho equipo. Por lo tanto, las distintas áreas de producción de la empresa siempre van a ser detenidas tres veces al año para mantenimiento preventivo. Esto indica que realizar un mantenimiento predictivo para el equipo de secado no tendría ningún impacto sobre el mantenimiento ya programado en las áreas de producción.

Ya que la empresa tiene planificado mantenimiento preventivo para la mayoría de equipos, no cuentan con dispositivos necesarios para hacer pruebas de mantenimiento predictivo. Entonces, para poder implementar este tipo de mantenimiento, sería necesario contratar a una empresa externa que haga las pruebas necesarias.

Se debe tomar en cuenta que el mantenimiento preventivo que la empresa le da a equipo como el de secado se basa mucho en experiencia. Aunque el proveedor recomiende un cambio anual de filtros (el cual puede ser muy costoso), en la empresa han observado que una limpieza al filtro cada 6 meses lo conserva muy bien, y no han visto la necesidad de un cambio por años. Esto indica que el costo anual de repuestos es poco significativo.

A pesar de tomar en cuenta los puntos anteriores, el factor que más influye en cualquier toma de decisión es el costo. Realizar un mantenimiento preventivo tiene un costo anual aproximado de Q39996.56, mientras que realizar un mantenimiento basado en confiabilidad enfocado en tareas de mantenimiento predictivo tiene un costo anual aproximado de Q51200.

Es por esto que se le recomienda a la empresa programar mantenimiento preventivo para el equipo de secado.

VII. CONCLUSIONES

1. El presupuesto anual para el mantenimiento preventivo del equipo de secado es de Q39996.56
2. Al hacer un análisis de confiabilidad, se encontró que las tareas necesarias de mantenimiento predictivo son: análisis de vibraciones cada 3 meses y análisis de aceite cada 6 meses.
3. El costo anual de las tareas de mantenimiento predictivo es de Q51200.00.
4. Ya que el costo anual del mantenimiento preventivo es menor al costo anual del mantenimiento basado en confiabilidad, le conviene más a la empresa implementar mantenimiento preventivo para el equipo de secado.

VIII. RECOMENDACIONES

1. Continuar implementando un plan de mantenimiento preventivo para las secadoras.
2. Implementar una gestión de mantenimiento asistida por computadora (GMAO) que ayude a programar los planes de mantenimiento.
3. Al comprar repuestos, ordenar cinco correas. Si hay correas que no se utilicen, enviarlas a almacén y, si es necesario, disminuir la cantidad de correas a ser compradas el siguiente año.
4. Implementar un sistema de codificación de activos para identificar fácilmente las secadoras.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Centro de Formación de Infrarrojos. *Guía de Termografía para Mantenimiento Predictivo*.
https://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820264/T820264_ES.pdf
- Chalifoux, Alan; Baird, Joyce. 1999. *Reliability Centered Maintenance (RCM) Guide*. US Army Corps of Engineers. 97 págs.
- Ely, Mark. *Flow Control*. <https://www.flowcontrolnetwork.com/the-importance-of-shaft-alignment/>
- Fitch, E. 1992. *Proactive Maintenance for Mechanical Systems*. Inglaterra: British Library. 339 págs.
- Garrido, Santiago. 2003. *Organización y Gestión Integral de Mantenimiento*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos. 303 págs.
- Garrido, Santiago. 2012. *Mantenimiento Correctivo en Centrales de Ciclo Combinado*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos. 182 págs.
- Girdhar, Paresh. 2004. *Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance*. 1a ed. Burlington: British Library. 254 págs.
- Iris Systems Ltd. *Iris Systems*. <http://www.irissystems.co.uk/ultrasound/sonus-xt-ultrasound-detector/>
- Johnson, Larry. *Fractal Solutions*. <https://www.fractalsolutions.com/blog/function-and-failure-modes-important-factors-in-reliability-centered-maintenance-rcm-part-ii>
- Kalpakjian, Serope; Schmid, Steven. 2002. *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*. 4ª ed. Atlacomulco: Pearson Educación de México. 883 págs.
- León, Félix. 1998. *Tecnología del Mantenimiento Industrial*. 1ª ed. Murcia: Servicio de Publicaciones. 341 págs.
- Lublearn. *Lublearn*. <http://noria.mx/lublearn/uso-del-ultrasonido-para-mejorar-las-practicas-de-lubricacion/>
- Mobley, Keitjh. 2002. *An Introduction to Predictive Maintenance*. 2a ed. Woburn: British Library. 438 págs.
- Olarte, William. 2011. «La Detección de Ultrasonido: Una Técnica Empleada en el Mantenimiento Predictivo». *Scientia Et Technica*, 230-233.
- Paxton Products. *Paxton Products*.
http://www.paxtonproducts.com/Portals/0/documents/Paxton%20SM%20Manual_XT%20170721-letter.pdf?ver=2017-08-11-102013-623

Rienstra, Allan. *Reliable Plant*. <https://www.reliableplant.com/Read/29739/ultrasound-predictive-maintenance>

Stephen-Hassard, D. (2003). *Desarrollo de la Acuicultura*. <http://www.fao.org>

X. ANEXOS

Figura 23. Información de secadoras en el área 1 de producción

Secadora	Marca	Modelo	Número de Serie	Ubicación
S1A-101-PST-1A	Air Force 1		048176	Salida de pasteurizadora de línea A
S1A-102-TSP-A	Paxton	XT-300	90904-1C	Transporte de línea A
S1A-103-TSP-A	Paxton	AT1200	81964	Transporte de línea A
S1A-104-TSP-A	Air Force 1		048476	Transporte de línea A
S1A-106-EMP-A	Air Blast	2T-13-3	3703-94	Antes de empacadora de línea A
S1B-101-PST-1B	General Electric	5KW184BD105A	VEK0A062B12	Salida de pasteurizadora de línea B
S1B-102-TSP-B	Paxton	AT1200	107310-1D	Transporte de línea B
S1B-103-TSP-B	Paxton	AT1200	107310-1C	Transporte de línea B
S1B-104-TSP-B	Paxton	AT1200	107310-1B	Transporte de línea B
S1B-105-TSP-B	Paxton	AT1200	107310-1A	Transporte de línea B
S1B-106-TSP-B	Paxton	XT-300	90901-1B	Transporte de línea B
S1B-107-TSP-B	Air Force 1	48028		Transporte de línea B
S1-101-TSP-KST	Paxton	XT-300	94099-1B	Transporte a Kister
S1-102-TSP-KST	Air Force 1		048024	Transporte a Kister
S1-103-TSP-KST	Air Blast	2T-18-5	2022-90	Transporte a Kister
S1-104-TSP-KST	Paxton	XT-300	107043-1A	Transporte a Kister

Figura 24. Información de secadoras en el área 2 de producción

Secadora	Marca	Modelo	Número de Serie	Ubicación
S2-201-TSP	Air Force 1		048478	Transporte
S2-202-ETQ-1	Paxton	XT-300	92189	Antes de etiquetadora

Figura 25. Información de secadoras en el área 3 de producción

Secadora	Marca	Modelo	Número de Serie	Ubicación
S3-301-LVD	Air Force 1		048812	Después de lavadora
S3-302-PST	Air Force 1		048813	Salida de pasteurizadora
S3-303-TSP	Air Force 1		048022	Transporte
S3-304-ETQ-1	Paxton	XT-300	116943-1B	Antes de etiquetadora 1
S3-305-ETQ-2	Paxton	XT-300	116943-1A	Antes de etiquetadora 2

Figura 26. Información de secadoras en el área 5 de producción

Secadora	Marca	Modelo	Número de Serie	Ubicación
S4-401-PST-1	Karl Klein		0804-173807	Salida de pasteurizadora
S4-402-LLN-1	Paxton	XT-300	108618-1A	Antes de llenadora 1
S4-403-LLN-1	Paxton	XT-300	90904-1B	Antes de llenadora 1
S4-404-LLN-2	Paxton	XT-300	108618-1B	Antes de llenadora 2
S4-405-LLN-2	Paxton	XT-300	94099-1A	Antes de llenadora 2
S4-406-ETQ-1	Paxton	XT-300	87741-1B	Antes de etiquetadora 1
S4-407-ETQ-1	Paxton	XT-300	90905-1B	Antes de etiquetadora 1
S4-408-EQT-2	Paxton	XT-300	87741-1A	Antes de etiquetadora 2
S4-409-EQT-2	Paxton	XT-300	90904-1A	Antes de etiquetadora 2

Figura 27. Información de secadoras en el área 5 de producción

Secadora	Marca	Modelo	Número de Serie	Ubicación
S5-501-TSP	Gebr. Schmidt	SN6116012DL	2.20444HO1	Transporte a llenadora
S5-502-TSP	Europool		EP14/2769/02	Transporte a empacadora

Figura 28. Vista en explosión de una secadora Paxton XT-300

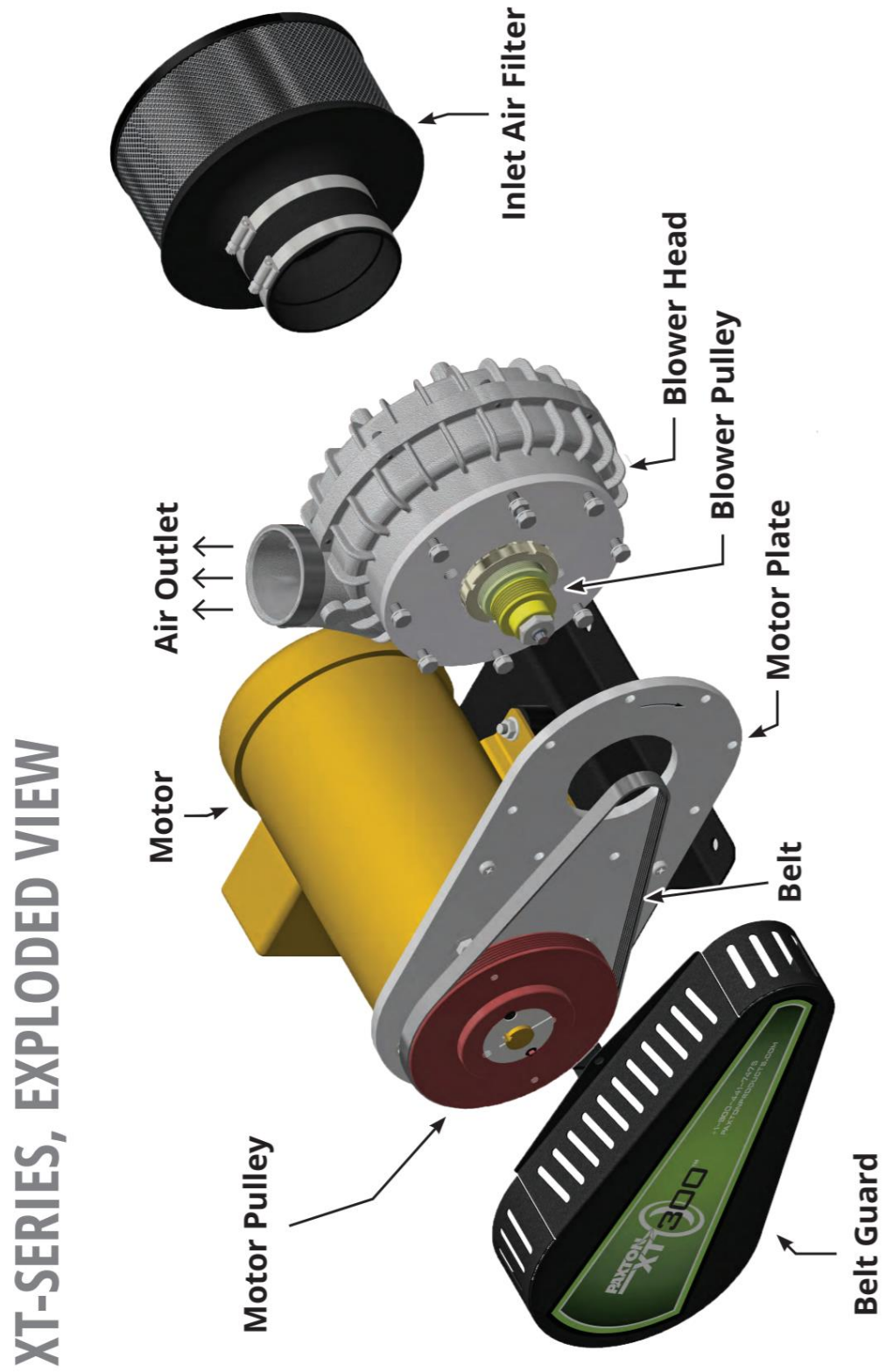


Figura 29. Línea de producción A, área 1

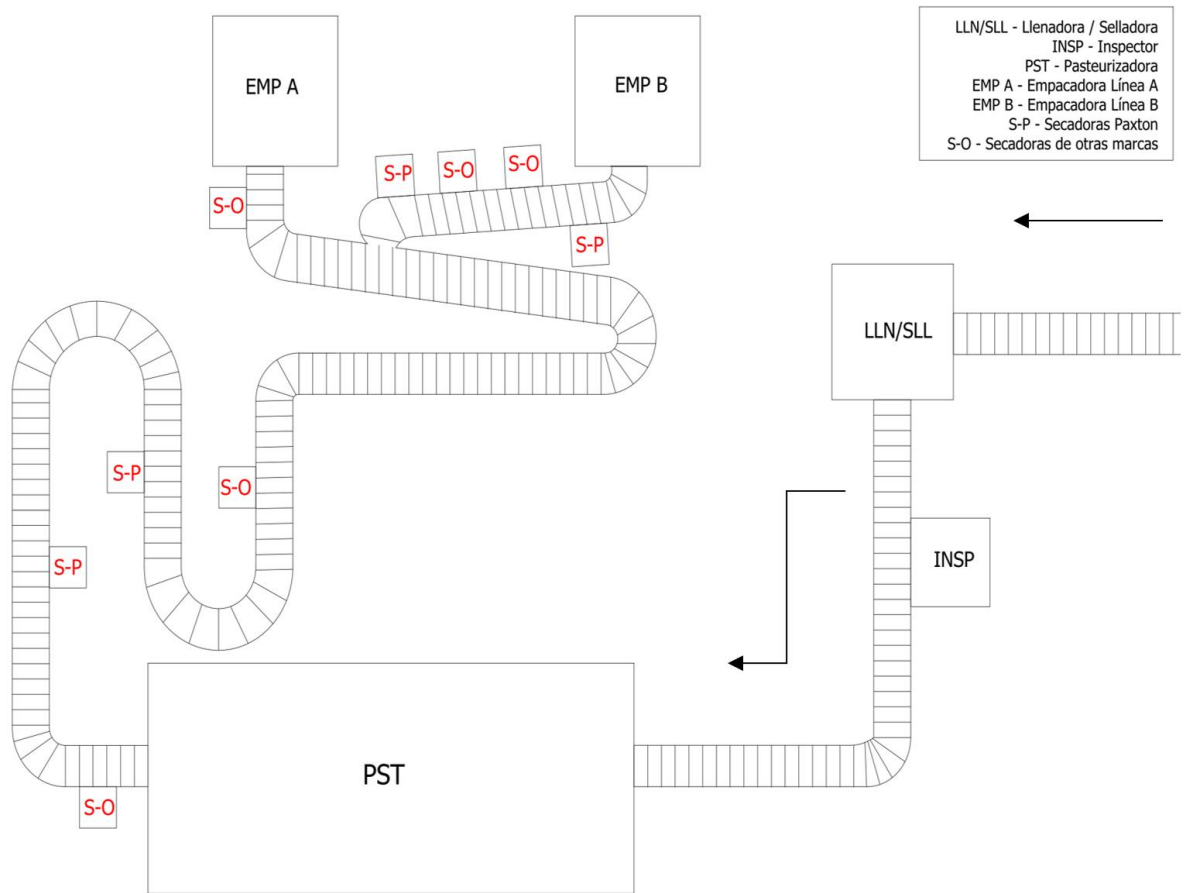


Figura 30. Línea de producción B, área 1

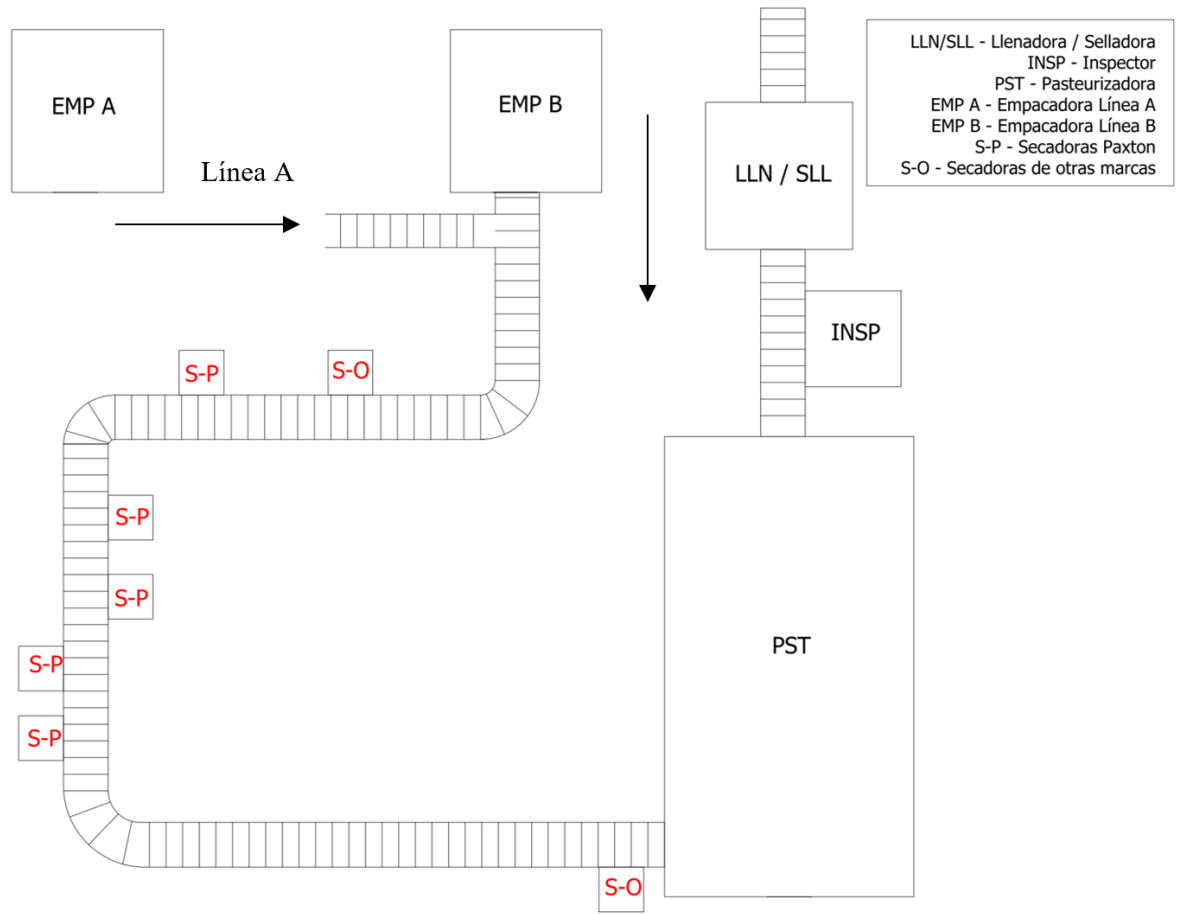


Figura 31. Área 2 de producción

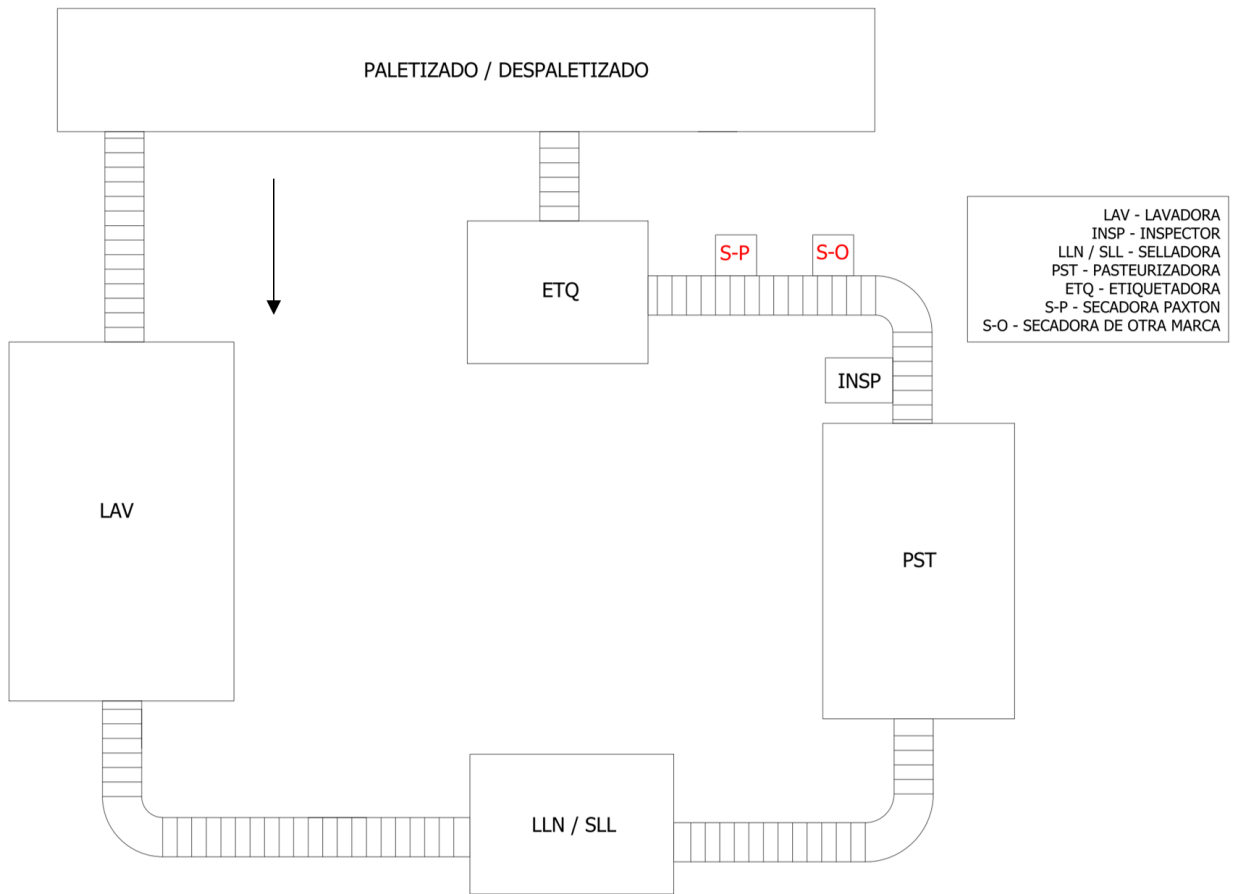


Figura 32. Área 3 de producción

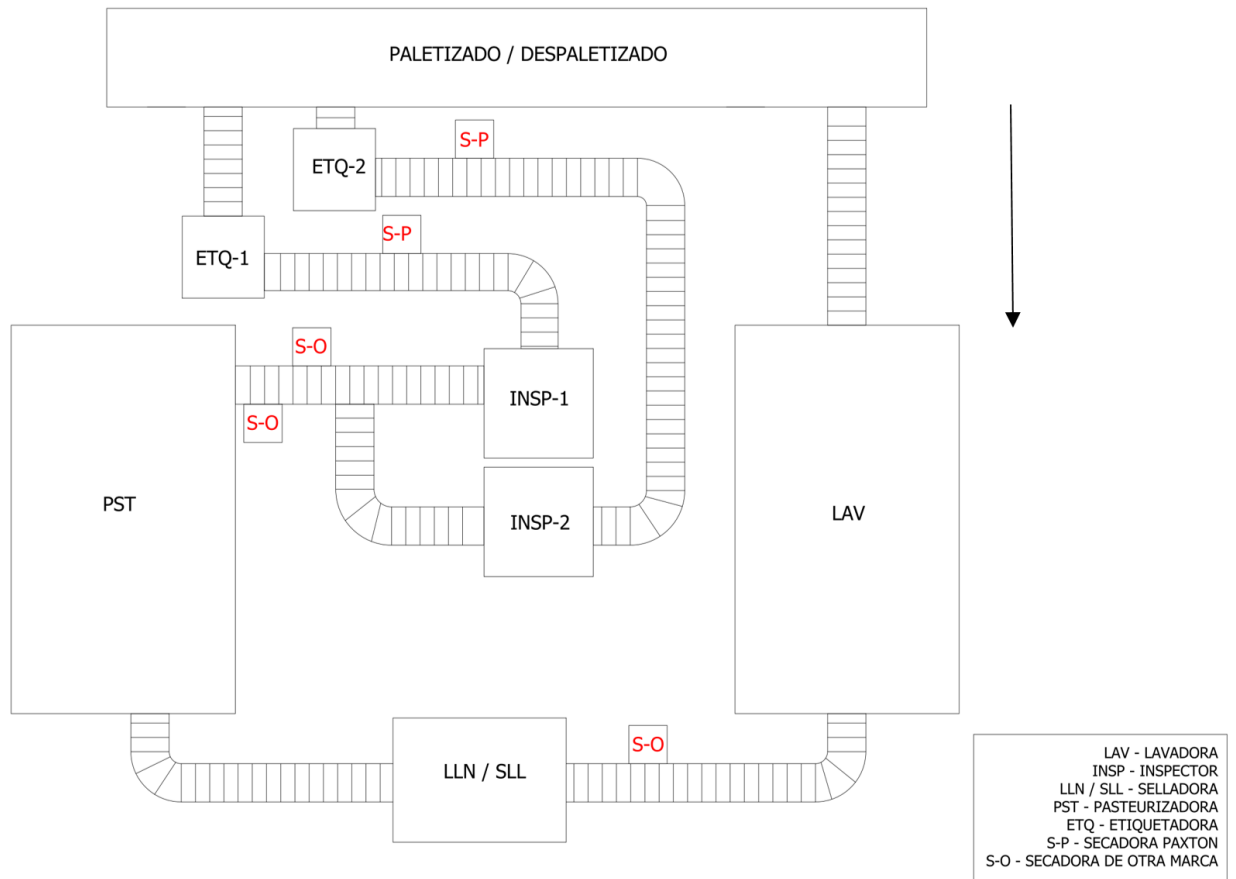


Figura 33. Área 4 de producción

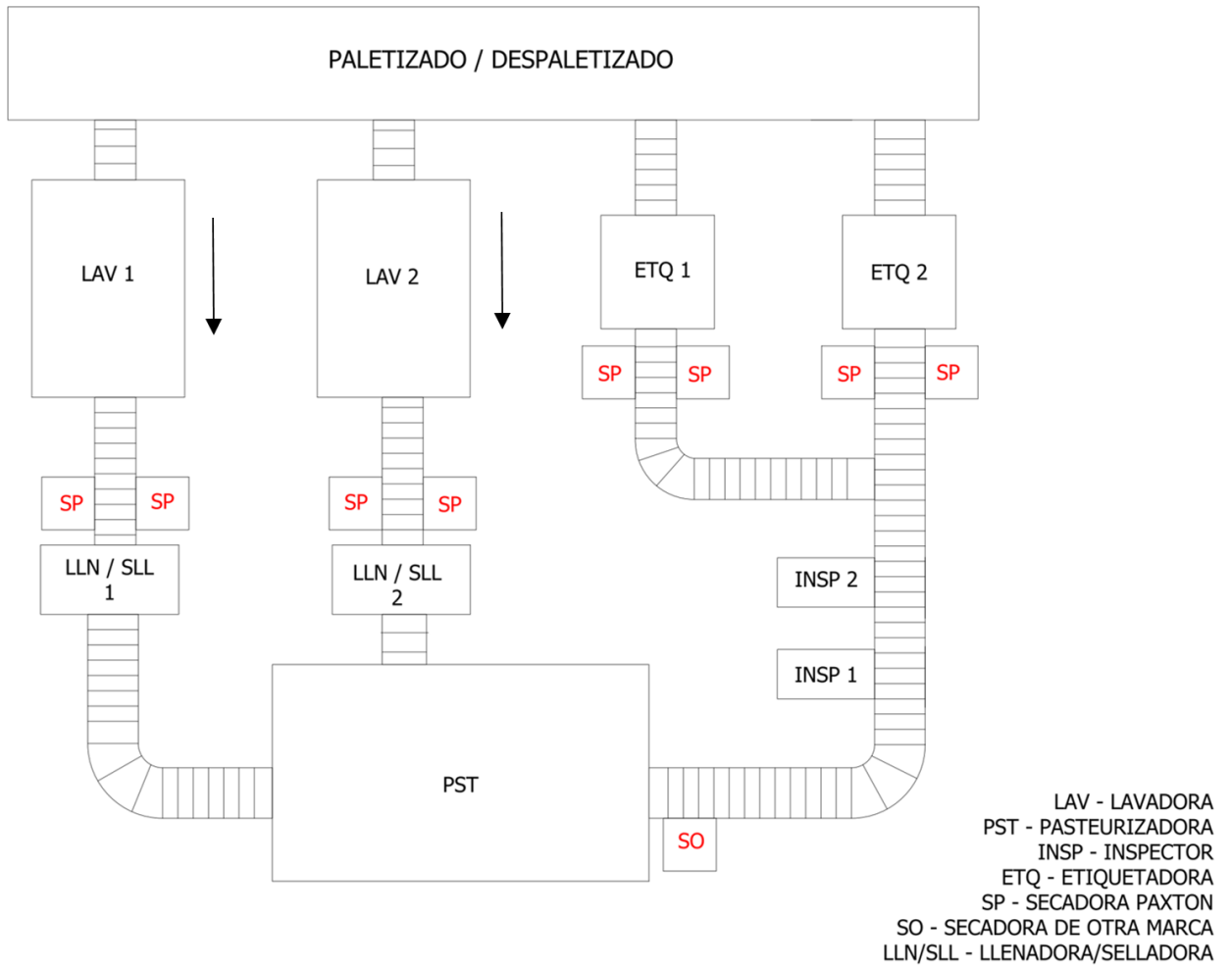


Figura 34. Área 5 de producción

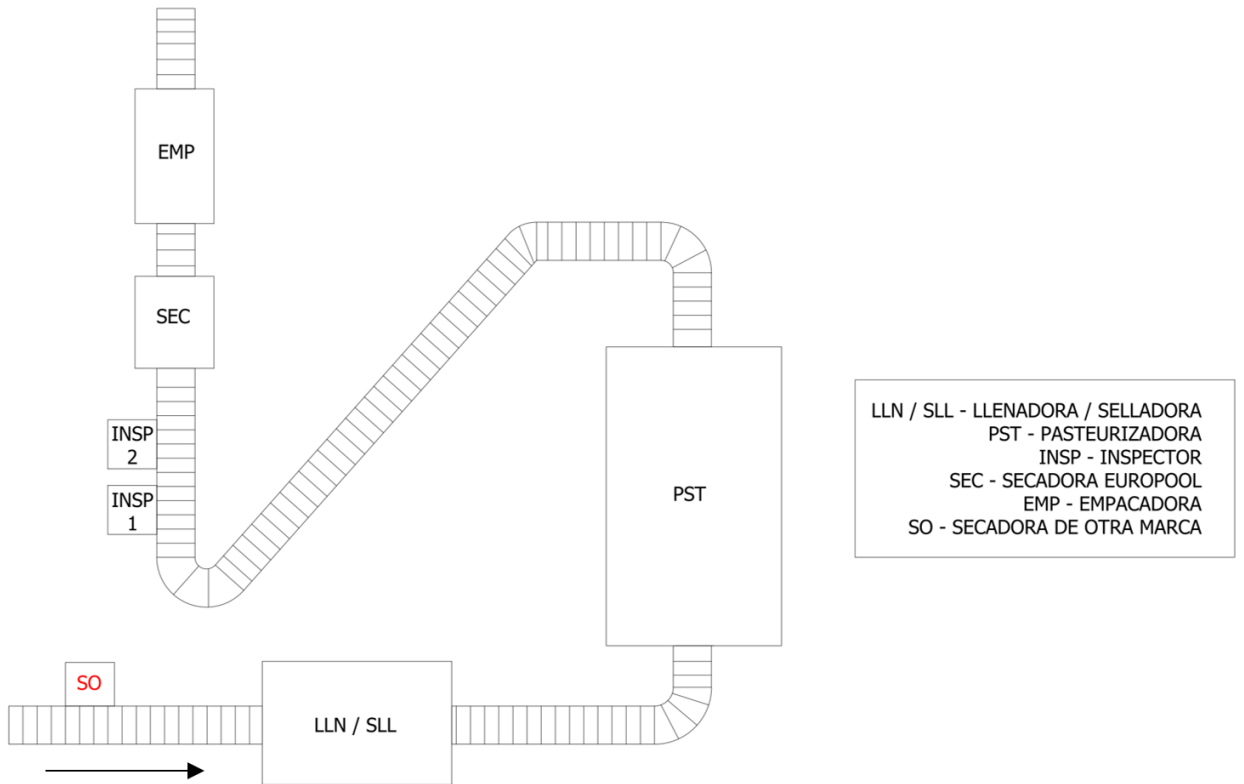


Figura 35. Plan de mantenimiento preventivo para secadoras XT-300

Parte	▲ Actividad	▲ Frecuencia	Duración	Prioridad
\ CABEZAS	Limpieza	1 Año(s)	0 h 30 m	Alta
	Lubricación	1 Año(s)	0 h 20 m	Alta
\ CORREAS	Cambio	1 Año(s)	0 h 20 m	Alta
	Cambio	1 Año(s)	0 h 20 m	Alta
\ FILTROS	Cambio	1 Año(s)	0 h 20 m	Alta
	Limpieza	6 Mes(es)	0 h 20 m	Alta

Figura 36. Plan de mantenimiento preventivo para secadoras AT-1200

Parte	▲ Actividad	▲ Frecuencia	Duración	Prioridad	Tipo
\ CABEZAS	Limpieza	1 Año(s)	0 h 30 m	Alta	Preventivo
	Lubricación	1 Año(s)	0 h 20 m	Alta	Preventivo
\ CORREAS	Cambio	1 Año(s)	0 h 20 m	Alta	Preventivo
	Cambio	1 Año(s)	0 h 20 m	Alta	Preventivo
\ FILTROS	Cambio	1 Año(s)	0 h 20 m	Alta	Preventivo
	Limpieza	6 Mes(es)	0 h 20 m	Alta	Preventivo
\ RESORTES	Cambio	1 Año(s)	0 h 20 m	Alta	Preventivo

Figura 37. Análisis de confiabilidad: fallos funcionales, modos de fallo y efectos de fallo

Secadora Paxton			
Función	Fallo Funcional	Modo de fallo	Efectos del fallo
1 Secado y soplado de latas y botellas	A Pérdida total de flujo	1 Fallo del motor	No se aspira aire
		2 Fuga excesiva	El aire no llega a su destino
		3 Fallo del ventilador	El ventilador no gira
	B Pérdida parcial de flujo	1 Fallo del motor	Se aspira poco aire
2 Fallo del ventilador		El ventilador gira lento	
3 Fuga leve		Se aspira poco aire	
C El flujo de aire se detiene	1 Aislamiento de embobinado falla	El motor deja de funcionar	
	2 El motor está contaminado		
	3 El motor tiene baja resistencia		
D Suciedad en el aire	1 Filtro obstruido	El aire sale con suciedad	

Figura 38. Análisis de confiabilidad: niveles de los fallos funcionales

Secadora Paxton							
F	FF	MF	Fallo Funcional	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4
1	A	1	Pérdida total de flujo	No hay corriente en el motor	Se dañaron los fusibles	Hubo un corto circuito	
		2		Las tuberías están dañadas			
		3		Las poleas no giran	Des alineamiento en las poleas	Exceso de vibraciones	
	B	1	Pérdida parcial de flujo	El motor gira a bajas RPM	Los cojinetes se encuentran a alta temperatura	No hay suficiente lubricación	
		2		Los álabes están obstruidos			
		3		Las tuberías están dañadas			
	C	1	El flujo de aire se detiene	El motor se sobrecalienta	El motor se encuentra a alta temperatura	El ventilador del motor no funciona	Los álabes estan obstruidos
		2		El área alrededor del motor está sucia			
		3		El aislamiento del embobinado está dañado	El aislamiento tiene corrosión		
	D	1	Suciedad en el aire	Falta de limpieza			

Figura 39. Análisis de confiabilidad: evaluación de consecuencias de los fallos y tareas propuestas para prevenirlos

Referencia	Evaluación de Consecuencias						Tarea Propuesta	Frecuencia
	F	FF	MF	H	S	E		
1	A	1	N	S	N	S	Inspeccionar el motor con una cámara termográfica	6 meses
1	A	2	N	N	N	S	Inspeccionar tuberías visualmente	2 meses
1	A	3	N	N	N	S	Hacer un análisis de vibraciones al motor	3 meses
1	B	1	N	N	S	S	Realizar análisis de aceite a los cojinetes	6 meses
1	B	2	N	N	N	S	Inspeccionar el ventilador visualmente	6 meses
1	B	3	S	N	N	S	Inspeccionar tuberías visualmente	2 meses
1	C	1	N	N	N	S	Inspeccionar el ventilador del motor visualmente	1 año
1	C	2	S	N	N	S	Asegurarse que el área de trabajo esté limpia	1 semana
1	C	3	N	S	N	S	Realizar una medición de aislamiento	1 año
1	D	1	N	N	N	S	Medir la caída de presión a lo largo del filtro	6 meses

Figura 40. Análisis de confiabilidad. Clasificación de las tareas

Secadora <i>Paxton</i>						
F	FF	MF	Tarea Propuesta	Frecuencia	Tipo	
1	A	1	Inspeccionar el motor con una cámara termográfica	6 meses	Mantenimiento	
1	A	2	Inspeccionar tuberías visualmente	2 meses	Mantenimiento	
1	A	3	Hacer un análisis de vibraciones al motor	3 meses	Mantenimiento	
1	B	1	Realizar análisis de aceite a los cojinetes	6 meses	Mantenimiento	
1	B	2	Inspeccionar el ventilador visualmente	6 meses	Mantenimiento	
1	B	3	Inspeccionar tuberías visualmente	2 meses	Mantenimiento	
1	C	1	Inspeccionar el ventilador del motor visualmente	1 año	Mantenimiento	
1	C	2	Asegurarse que el área de trabajo esté limpia	1 semana	Mantenimiento	
1	C	3	Realizar una medición de aislamiento	1 año	Mantenimiento	
1	D	1	Medir la caída de presión a lo largo del filtro	6 meses	Mantenimiento	

Figura 41. Cotización para tareas mantenimiento predictivo



Termogram Consultores, S.A.
Cédula Jurídica: 3-101-169905

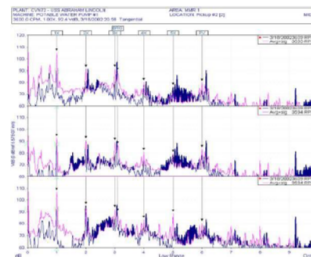
Termografía Infrarroja – Análisis por Vibraciones –
Alineación láser – Análisis de Motores Eléctricos –
Ultrasonido - Endoscopia Industrial – Análisis de Aceites –
Sistemas de Vigilancia Térmicos y Visuales – Drones -
Cursos

Propuesta para Servicio de Análisis por Vibraciones Mecánicas No.:	OFE-03517-Y4H5
Revisión:	0
Estado de Aprobación:	

Cliente:		Fecha:	18/12/2018	Vendedor:	
Proyecto:	Análisis de Vibraciones	Forma de Pago:	100% Prepago		Julio Villalobos Muñoz
Contacto:	María Villalobos	Incoterms:	ND		Vence:
Tel:		T. de Entrega:	Previa coordinación		18/01/2019

Como proveedores de servicio, capacitación y equipo en el área de mantenimiento predictivo (mantenimiento basado en la condición), les presentamos una propuesta para efectuar trabajos de análisis por vibraciones en equipo rotatorio para distintos equipos de su planta.

El análisis por vibraciones es una técnica de mantenimiento basado en la condición para la evaluación de problemas mecánicos (Ej. desbalances, desalineaciones y problemas de rodamientos) y eléctricos en equipo rotatorio. Se obtienen formas de onda en el tiempo así como espectros en frecuencia para determinar los problemas mencionados usando un colector de datos de 4 canales con un acelerómetro triaxial.



Propuesta Comercial

No.	Código	Descripción	Cant.	Precio Unitario	Desc.	Total	Total por cant. veces al año.
1	LAB-068	Servicio de Termografía 2 veces al año.	20	\$20.00		\$400.00	\$800.00
2	LAB-065	Análisis de Vibraciones 4 veces al año.	20	\$40.00		\$800.00	\$3,200.00
3	LAB-060	Análisis de aceite 2 veces al año.	20	\$80.00		\$1,600.00	\$3,200.00

Notas:		
Se requiere personal técnico por parte del cliente en el momento de la inspección.	Subtotal	\$7.200,00
	Descuento	
Esta cotización no incluye viáticos del personal.	Imp. Ventas	\$0,00
	Total	\$7.200,00

Sitio web: www.termogram.com - E-mail: info@termogram.com

Oficina Principal
Tel: +506 2265 8727, Fax: +506 2265 4773
1 km. al Oeste Iglesia de San Lorenzo, Heredia,
Costa Rica, Centroamérica

Oficina Regional Guatemala
PBX: +502 2306 2717, CEL: +502 5780 3948
2da. Calle 23-80, zona 15 Vista Hermosa II Edif. Avante Nivel 13 Of. 1301
Guatemala, Guatemala, Centroamérica