

**Universidad Centroamericana
“José Simeón Cañas”**

Universidad Don Bosco



**Proyecto de Investigación para la gestión del mantenimiento
industrial en una línea de producción de una empresa
alimenticia.**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PARA EL
DECANATO DE POSTGRADO UCA Y CENTRO DE
ESTUDIO DE POSTGRADO UDB**

**PARA OPTAR AL GRADO DE
MAESTRO**

**POR:
HENRY GIOVANI CRUZ
JOSÉ DAVID MARTÍNEZ CARRANZA
GUSTAVO ALBERTO MEJÍA BARRAZA**

**OCTUBRE 2017
ANTIGUO CUSCATLÁN, EL SALVADOR, C.A.**

RECTORES

**ANDREU OLIVA DE LA ESPERANZA, S.J.
JOSÉ HUMBERTO FLORES MUÑOZ**

SECRETARIAS GENERALES

**SILVIA ELINOR AZUCENA DE FERNÁNDEZ
YESENIA XIOMARA MARTINEZ OVIEDO**

**DECANA DE POSTGRADO UCA
NELLY ARELY CHÉVEZ REYNOSA**

**VICERRECTOR DE POSTGRADO
HERBERT BELLOSO**

**DIRECTORES DE LA MAESTRÍA EN
GERENCIA DE MANTENIMIENTO
INDUSTRIAL**

**ING. NELSON QUINTANILLA
ING. LAURA ORELLANA**

DIRECTOR DEL TRABAJO

ING. VALERIANO VLADIMIR VALDEZ GALICIA

AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos a Dios Bendito que está en todas partes y dentro de nuestra naturaleza espiritual, permitiendo que este trabajo se haya cumplido en la tierra tal y como le he suplicado en cada momento de mis días. A nuestro señor Jesucristo, quien nos enseñó a orar el padre nuestro, cumpliendo su promesa de que todo aquel que clama se le dará y a quien he clamado cada día por sabiduría y humildad ancladas a mi corazón y por la finalización de este trabajo de graduación.

A mi madre bendita, a quien adoro con todo mi corazón, por darme la vida, la salud, su apoyo y sus legados de sabiduría que han quedado grabados en mi corazón.

Agradezco y bendigo a mi amada familia, quienes han tenido la paciencia suficiente para soportar que haya estado ausente en el seno de nuestro hogar para dedicarme a terminar esta obra de mantenimiento.

A mí amado hijo, familiares y mis amigos en general, quienes han tenido el efecto de no reunirnos o vernos para compartir los momentos que alimenta nuestros lazos de amistad y nuestro amor en la vida.

No puedo dejar de estar muy agradecido con la prestigiosa empresa de Productos alimenticios de confite en El Salvador, ya que este trabajo de graduación no hubiera sido posible sin haber creído en el trabajo de los Ingenieros:

- Gustavo Mejía
- David Martínez
- Henry Cruz

Henry Jiovani Cruz

DEDICATORIA

Dedico esta obra a mi Princesa ***Nathalia Judith***, quien ha sido mi inspiración, mi fortaleza, mi refugio y un gran ejemplo de sencillez y humildad para seguir adelante en mi vida.

Mi amada hija, Siempre recordaré que a tus seis años, me preguntaste " ¿cuál es el sentido de la vida? ", te amo y te amaré por siempre.

Henry Jiovani Cruz

DEDICATORIA.

Dedico este esfuerzo de trabajo a mi Padre Celestial, ya que, por medio de Él, he salido adelante en toda mi área profesional, por darme sabiduría, serenidad y paciencia y sobre todo Fe, así como también dedico este triunfo a mi querida hermosa esposa Mónica de Martínez, que me ha apoyado incondicionalmente. Dedico este nuevo triunfo a mis Padres que siempre confían en mí, gracias a ellos he salido adelante en todos mis triunfos académicos profesionales, a mi hermanos y cuñados, a mis sobrinos y por último dedico a mi otro padre que sé que está orgulloso de mi, en el cielo, mi gran viejo, Maitro Cubas, esperaba contar en la presencia de este nuevo título.

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco infinitamente a mi Dios todo poderoso, mi señor Jesucristo, por darme esta nueva oportunidad de éxito en mi carrera profesional.

Agradezco a mi esposa que me ha dado infinitamente su apoyo, así como también agradezco a mis Padres y hermanos.

José David Martínez Carranza

DEDICATORIA.

Dedico este esfuerzo primer lugar a Dios Todopoderoso por haberme permitido culminar una etapa más y acompañarme a cada instante a lo largo de mi vida y carrera profesional.

A mi amada esposa Rosy, que me ha apoyado en todo momento, gracias mi preciosa por ser el motor que impulsa mi vida, mi guía y compañera en esta aventura llamada vida.

A mis padres Gustavo Mejía y Zoilade Mejía, por su amor, esfuerzo y sacrificio al apoyarme incondicionalmente e impulsarme a dar lo mejor de mí. Soy reflejo de todo su esfuerzo. A mi hermanita, por toda esa energía y alegría que siempre me motiva a seguir adelante gracias mi Pequeña.

A mi familia en general Suegros, cuñadas, primos, tíos y abuelos que siempre estuvieron pendientes de mí. A mi abuelito Eugenio que sé que disfrutaría de este momento conmigo, te veo en el cielo para celebrar con nuestro Padre celestial.

A mis queridos amigos y hermanos que desde pequeños hemos compartido risas, llantos, sueños y locuras: Josué, LuisRo, Ángel, Luis A, David M. y seguiremos compartiendo.

A mis queridos Roberto Sarria, Kary Reynosa y Loidy Vega, gracias por su amistad y cariño.

Gustavo Mejía.

Éxodo 31: 31-35

31 y lo ha llenado del Espíritu de Dios, en sabiduría, en inteligencia, en ciencia y en todo arte,

32 para proyectar diseños, para trabajar en oro, en plata y en bronce,

33 y en la talla de piedras de engaste, y en obra de madera, para trabajar en toda labor ingeniosa.

34 Y ha puesto en su corazón el que pueda enseñar...

35 y los ha llenado de sabiduría de corazón, para que hagan toda obra de arte y de invención, y de bordado en azul, en púrpura, en carmesí, en lino fino y en telar, para que hagan toda labor, e inventen todo diseño.

CONTENIDO.

RESUMEN	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.	xi
ÍNDICE DE TABLAS.	xii
UNIDADES.....	xiii
OBJETIVO GENERAL.....	xiv
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	xiv
ALCANCE.....	xiv
ANTECEDENTES	xv
Funcionamiento del horno de gas.....	xvi
Secciones de la máquina.	xvii
Sistema de calentamiento.....	xviii
Sistema con gas.....	xviii
Control de temperatura de cocina.....	xix
Sistema de tensión y expulsión principal.....	xix
Sistema de molde y tenaza	xx
Sistema de toma automática	xxi
1.2 MANTENIMIENTO COMO CLIENTE INTERNO DE PRODUCCIÓN	2
1.3 POR QUÉ DEBEMOS GESTIONAR EL MANTENIMIENTO	4
1.4 PROBLEMAS DE MANTENIMIENTO EN LA INDUSTRIA.....	5
2. ANÁLISIS DE EQUIPOS.	6
2.1 LISTA DE EQUIPOS.....	7
2.2 CODIFICACIÓN DE EQUIPOS.....	12
2.3 TIPOS DE MANTENIMIENTO	20
2.4 LOS TIPOS DE MANTENIMIENTO NO SON DIRECTAMENTE APLICABLES.....	21
2.5 MODELOS DE MANTENIMIENTO POSIBLES.....	22
2.5.1 MODELO DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO.....	23
2.5.2 MODELO DE MANTENIMIENTO CONDICIONAL.....	23
2.5.3 MODELO DE MANTENIMIENTO SISTEMÁTICO.....	24
2.5.4 MODELO DE MANTENIMIENTO DE ALTA DISPONIBILIDAD.....	25

2.5.5	CONSIDERACIONES EN MANTENIMIENTO	26
2.6	ANÁLISIS DE CRITICIDAD	28
2.7	SELECCIÓN DEL MODELO DE MANTENIMIENTO.....	31
2.8	FICHA DE EQUIPO	36
2.9	HOJA RESUMEN DE LOS EQUIPOS DE UNA PLANTA	40
3.	CALIDAD EN EL MANTENIMIENTO	41
3.1	ETAPAS DE IMPLANTACIÓN DEL TPM	41
3.1.1	ETAPA INICIAL.....	41
3.1.2	ETAPA DE IMPLANTACIÓN.	44
3.1.3	ETAPA DE CONSOLIDACIÓN.	48
3.2	RESULTADOS PRÁCTICOS.	48
3.3	OBSERVACIONES FINALES.	48
4	METODOLOGÍA Y ANTECEDENTES	50
4.1	Formación de equipo de trabajo.....	51
4.2	Equipo piloto.	51
4.3	Definición de contexto operacional.	55
4.3.1	Análisis AMFE (Análisis de los modos y efectos de fallas).....	56
4.3.2	Modos de falla de horno	58
4.4	Aplicación AMFE a cremadora.	63
4.6	Gestión en la prevención de los riesgos laborales	72
4.6.1	Riesgos laborales en mantenimiento	73
4.7	Gestión de mantenimiento asistido por ordenador (GMAO).	83
	Ventajas y desventajas de un sistema informático.....	83
	Ahorrar capital	86
	Poder disponer de información de manera rápida	86
	Proceso de implantación.....	89
4.8	Organigrama de mantenimiento.....	90
	CONCLUSIONES	92
	RECOMENDACIONES	93
	Glosario	94
	BIBLIOGRAFÍA.....	96

RESUMEN

El presente trabajo, se basa en la implementación de un Sistema de gestión del mantenimiento industrial en fábrica de productos alimenticios, dicho sistema tiene la influencia de dos filosofías del mantenimiento, el mantenimiento centrado en la confiabilidad o RCM y el mantenimiento 3.0. RCM se basa en dar énfasis al contexto operacional de las máquinas, higiene y salud ocupacional del personal, así como también la integridad de las instalaciones entre elementos a considerar. La forma en como RCM asigna las actividades de mantenimiento es excluyente, es decir; no considera incluirlos uno sobre la base de los demás mantenimientos como son los mantenimientos primitivos como revisiones visuales, mantenimiento correctivo, preventivo, de condición entre otros. Pero cuando se asigna una actividad de mantenimiento las demás se excluyen en RCM. Mantenimiento 3.0 en cambio toma la postura de hacer un mantenimiento más incluyente es decir va escalando de mantenimientos primitivos o primarios hasta los más avanzados, pero mientras se escala en la complejidad de las prácticas de mantenimiento las actividades primarias son incluidas en las más avanzadas.

El tema de estudio tiene un fundamento teórico e investigativo in-situ en una planta de producción de alimentos, centrándose en las máquinas de la línea de producción de galletas, en la investigación se desarrollan algunas de las técnicas del mantenimiento 3.0 y RCM que va acorde con el contexto operacional de los procesos, sistemas, equipos y tipos de máquinas que se utilizan en la industria de alimentos.

La gestión integral del mantenimiento, incluye una serie de estrategias alineadas con la misión del negocio, cuyo objetivo es lograr la competitividad. Para alcanzarla existen los factores claves que ayudan a mantener a la empresa en las mejores condiciones para poder operar y generar ingresos, los cuales son:

- Seguridad.
- Productividad.
- Respeto por el medio ambiente.
- Confiabilidad.

El desarrollo del talento humano es el elemento indispensable para incrementar la confiabilidad de los activos en la empresa u organización. Por eso se dice que la buena gestión del mantenimiento debe asegurar la confiabilidad en línea de producción de las galletas. Donde se evitará manufacturar galletas de mala calidad, evitar desperdicios, tiempos muertos e incluso que se generen fallas y realizar mantenimiento correctivo innecesarios. Utilizando las

metodologías antes mencionadas se implementan diagramas de decisiones, que indican en qué puntos se está fallando en la gestión del mantenimiento en la planta, ya sea si afecta este al medio ambiente, si afecta a las operaciones y si es evidente para implementar el tipo de mantenimiento que se adapte al contexto operacional de la maquinaria.

Para llegar al éxito de la confiabilidad en la organización, empresas de este rubro se ve obligado a implementar las gestiones de mantenimiento para evitar las pérdidas en las líneas de producción, y es aquí donde surge la oportunidad ya que la empresa está innovando máquinas y equipos como el caso del horno para producir confite o galletas.

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1 Horno de gas, alimentación de masa	xvi
Figura 2 Vista aérea de horno.	xvii
Figura 3 Sistema de calentamiento.....	xviii
Figura 4 Sistema de expulsión principal.....	xix
Figura 5 Sistema de tensión trasera.....	xix
Figura 6 Molde y tenaza	xx
Figura 7 Sistema de toma y limpieza de oblea.....	xxi
Figura 8 Niveles de estructura arbórea.....	8
Figura 9 Estructura para código de equipo.	13
Figura 10 Código para horno de galleta.	16
Figura 11 Código de elemento.	17
Figura 12 Modelo correctivo.	23
Figura 13 Modelo condicional.....	24
Figura 14 Modelo sistemático.....	25
Figura 15 Modelo de alta disponibilidad.....	26
Figura 16 Equipos críticos.....	31
Figura 17 Equipos Prescindibles.....	31
Figura 18 Equipos importantes.	32
Figura 19 Modelos programados.....	33
Figura 20 Modelos adicionales.....	34
Figura 21 Modelos de mantenimiento.....	35
Figura 22 Vista de planta de Línea de producción	53
Figura 23 Redacción del contexto operacional.....	56
Figura 24 Diagrama de decisión.....	58
Figura 25 Organigrama de Mantenimiento.....	91

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1 Listado por niveles de planta de alimentos.....	11
Tabla 2 Códigos para equipos comunes en planta industrial.....	14
Tabla 3 Codificación de equipos de planta.	15
Tabla 4 Codificación para horno de planta de alimentos.	16
Tabla 5 Código de familia de equipos.	18
Tabla 6 Ficha técnica de equipo.	19
Tabla 7 Análisis de criticidad.	30
Tabla 8 Ficha de equipo.....	39
Tabla 9 Hoja de datos de mantenimiento.....	41
Tabla 10 Matriz de decisión de equipo piloto.....	52
Tabla 11 Taxonomía del horno de galleta.....	54
Tabla 12 Construcción de contexto operacional.....	55
Tabla 13 Fallas funcionales de horno.	56
Tabla 14 Falla funcional y modos de falla.	57
Tabla 15 Tabla AMFE 1.....	59
Tabla 16 Tabla AMFE 2.....	60
Tabla 17 Tabla AMFE 3.....	61
Tabla 18 Tabla AMFE 4.....	62
Tabla 19 Construcción de contexto operacional.....	63
Tabla 20 Redacción del contexto operacional.	63
Tabla 21 Fallas funcionales de cremadora.....	63
Tabla 22 Falla funcional y modo de falla.....	63
Tabla 23 AMFE cremadora.	64
Tabla 24 AMFE cremadora 2.....	65

UNIDADES.

metro	m	kelvin	K
segundo	s	celsius	C
Kilogramo	kg	amperio	A
gramo	g	litro	l
newton	N	pascal	Pa

OBJETIVO GENERAL

- Proponer un sistema de gestión de mantenimiento industrial en la fábrica de productos alimenticios, con el fin de mejorar la gestión del mantenimiento de activos en la empresa.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar y evaluar en planta los equipos y sistemas de la línea continua de producción de galletas, con el objeto de analizar para delimitar la propuesta de mejora en la gestión del mantenimiento industrial.
- Proponer la base de un sistema de codificación de equipos y sistemas, para un mejor control en el historial de los equipos y de los costos de mantenimiento.
- Presentar un análisis de modos y efectos de falla tomando de base el horno de producción de galletas.
- Facilitar a la empresa la información y la metodología, para la implementación del sistema de gestión en mantenimiento que mejor se adapte a sus necesidades.

ALCANCE

- La aplicación de este sistema de gestión de mantenimiento, se enfocará a la industria alimenticia y será utilizado como una herramienta de retroalimentación para prevenir tiempos muertos, mala calidad del producto, desperdicios, etc.
- Este trabajo se limitará al establecimiento de la gestión, es decir, a la presentación de la propuesta detallada de la mejora, pero la implementación quedará a disposición de las autoridades del departamento de mantenimiento de la empresa que quiera optar por esta mejora.
- Actualmente la empresa alimenticia cuenta con una nueva línea continua de producción de galletas, en dicha línea se implementará la metodología de mejora en la gestión del mantenimiento.

ANTECEDENTES

Por más de 20 años la empresa alimenticia, se ha esforzado de manera única en la industria manufacturera de snacks, alcanzando metas inimaginables, por eso actualmente está posicionada como líder de manufactura de snacks en la región.

Los principios y valores de la empresa alimenticia han sido de importancia crítica para lograr el éxito, formado con ética, eficiencia y profesionalidad, guiados por verdaderos visionarios y preparados para grandes retos, en la empresa alimenticia se caracteriza por entregar productos de calidad.

Esta empresa fue fundada en 1994, apareció como un resultado de un profundo análisis económico del mercado que vio una inmensa oportunidad para satisfacer con calidad y eficiencia a una población centroamericana exigente. En 1996, la empresa alimenticia debuto en el mercado centroamericano contundente éxito gracias a sus productos innovadores y rápidamente se fue expandiendo en la región perfilándose como líder de ella. Tantos años de experiencia han convertido a la empresa en un gigante de la industria alimenticia. Sus principios y valores han sido factores determinantes para el desarrollo empresarial.

El esfuerzo y la pro actividad de sus colaboradores abrazan a la empresa con un ambiente agradable que permite el trabajo en equipo para juntos abordar los retos más complejos y cumplir las metas para entregarles a los clientes calidad garantizada. Y es por eso que la empresa alimenticia, está innovando la tecnología por medio de su línea continua de producción de galletas, dejando estable dicha línea para dejar a un lado las otras líneas discontinuas de producción, evitando el gasto de mantenimiento correctivo por ser equipos obsoletos y viejos. Como parte de innovación de la empresa, se ha optado por la adquisición de una nueva línea de producción de galletas, ya que la empresa ha ampliado su red de negocio. Las características generales son las siguientes: consta de un horno de cocina, se utiliza en la producción de todo tipo waffles, un sistema de mezclado, una cremadora, un enfriador, un cortador, y dos empacadoras a la salida de la línea.

Es la primera máquina de la red de producción de waffles, cocina la hoja de waffles con medidas de 300x450mm y 400x500mm. El horno trabaja con gas natural, lpg y electricidad, a una temperatura de 110° C, con una velocidad de 2.2 Min por molde.

La complejidad de los nuevos sistemas que trae la línea continua de galleta, conduce a la necesidad de refrescar los conceptos y estrategias del mantenimiento, estableciendo un proceso lógico y el diseño de actividades apropiadas de mantenimiento, con frecuencias óptimas que permitan tener una estrategia de mantenimiento justo a la medida de la necesidad del mantenimiento en cada uno de los equipos y elementos de la línea, por lo que uno de los

objetivos en la línea continua será de establecer los procedimientos de mantenimiento apropiados que permitan tener el menor tiempo posible en las paradas de mantenimiento y la reducción de los costos en los mantenimientos, por lo tanto; podemos decir que el tipo de mantenimiento que existirá en esta nueva línea continua de galletas será correctivo y preventivo, con mayores intervenciones de los preventivos.

Funcionamiento del horno de gas.

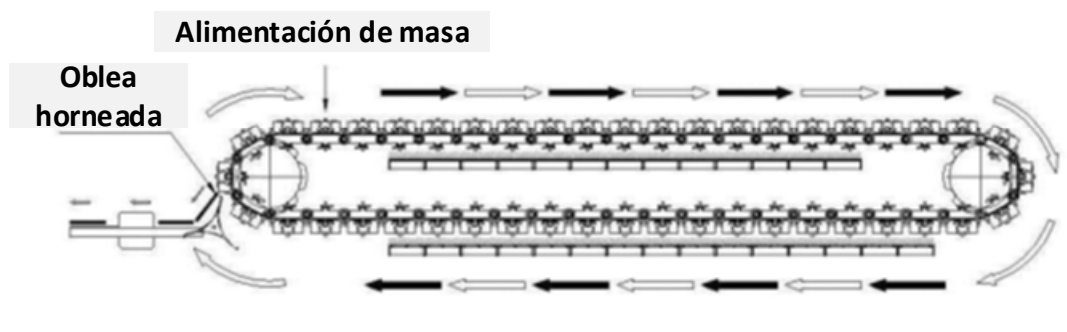


Figura 1 Horno de gas, alimentación de masa

La masa se encuentra en el depósito de alimentación y se cae sobre el molde con la ayuda de una bomba. El grupo de moldes que toma la masa antes de entrar a la zona de cocción se cierra automáticamente. La fase inferior de la oblea es cocinada por la boquilla superior de los quemadores. El grupo de molde-tenaza que viene a la parte giratoria trasera del horno, viaja horizontalmente hacia adelante del horno, se va cocinando la parte superior de la oblea por medio de las boquillas inferiores. Los moldes y las tenazas cerradas se abren automáticamente para tirar la oblea cocinada y al mismo tiempo se abre para depositar la masa nuevamente, así con cada molde. Al momento de abrir el molde con la oblea cocida, esta se desprende con ayuda de las boquillas de aire comprimido, que impulsan hacia afuera del molde la oblea ya cocida. Con la ayuda de los sensores de los contenedores hace un trabajo lógico, que permite fácilmente el cambio, así como también posee un sistema de control de frecuencia de velocidad variable para el equipo.

Este sistema, es ordenado y vinculado con la cadena uno al otro dentro del horno, el sistema de molde y tenaza está diseñado en forma como hace la distribución de temperatura perfecta del sistema de molde y tenaza. El valor de temperatura de molde, se mide con instrumento de medición llamado pirómetro continuo y se realiza una comparación con el valor requerido. La cantidad de masa se puede ajustar automáticamente por parte de la bomba con

un control de velocidad de frecuencia. El sistema de respiración de aire asegura que se baje separando fácilmente por la superficie de molde de la oblea cocinada.

Secciones de la máquina.

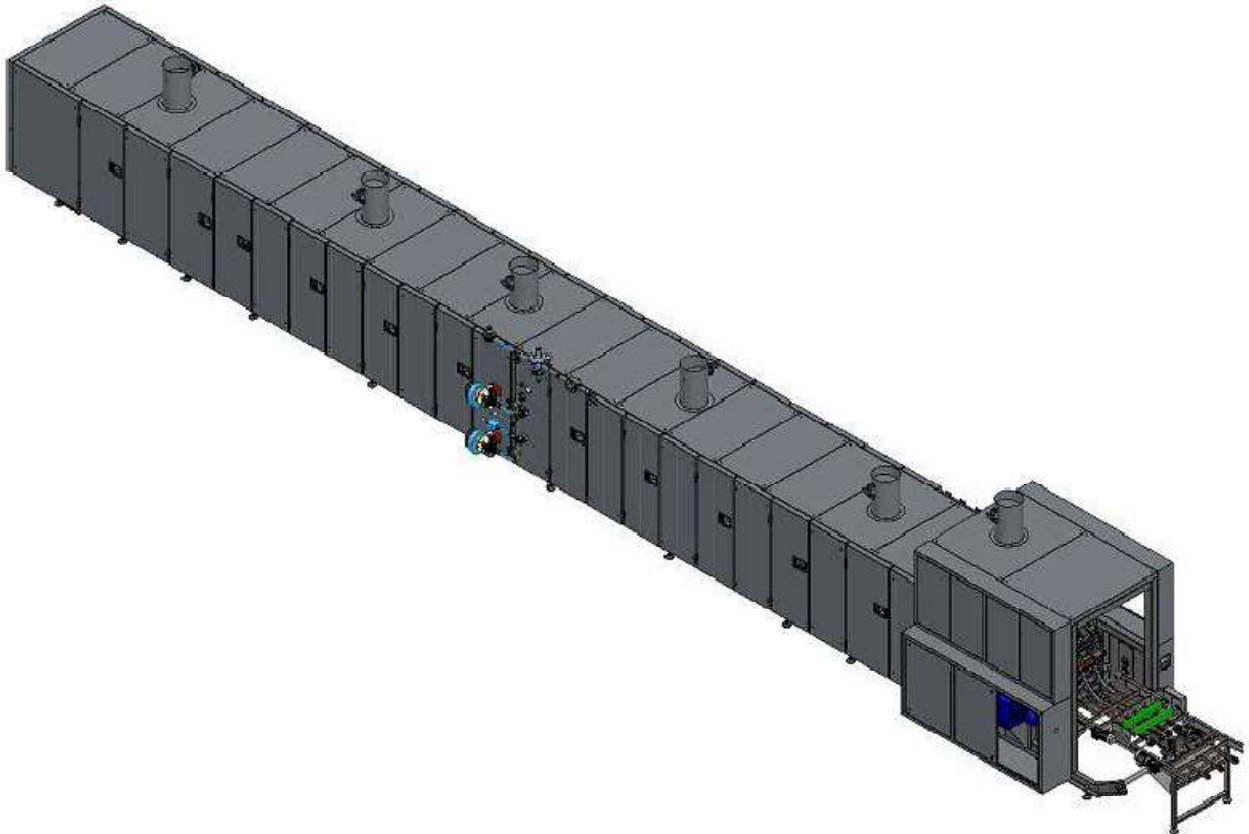


Figura 2 Vista aérea de horno.

Horno de cocina de obleas (350x500-82molde) vista general.

1. Sistema de gas
2. Sistema de tensión y expulsión principal
3. Sistema de molde y tenaza
4. Sistema de masa
5. Sistema de toma automática

6. Panel de control

Sistema de calentamiento.

El horno de aire se pone en marcha, se abre la válvula de gas y funciona el sistema de calentamiento presionando al botón de puesta en marcha. La ignición y el control se realizan electrónicamente y se controla.

Se abre la válvula de piloto de encendido, cuando los interruptores de presión de aire-gas están en los valores de presión ajustada. Después de cinco segundos entra al ciclo los transformadores de ignición. Continúa la ignición de diez segundos. Si el monitor de fuego, indica temperatura correcta, medida por los electrodos o sensores, el sistema permite el paso de mezcla aire-gas. En caso contrario se cierra la válvula de fuego de piloto. El horno emite una alarma sonora y se enciende la luz indicadora.

Los hornos superiores e inferiores se ajustan separadamente con el sistema de gas tecnológico.

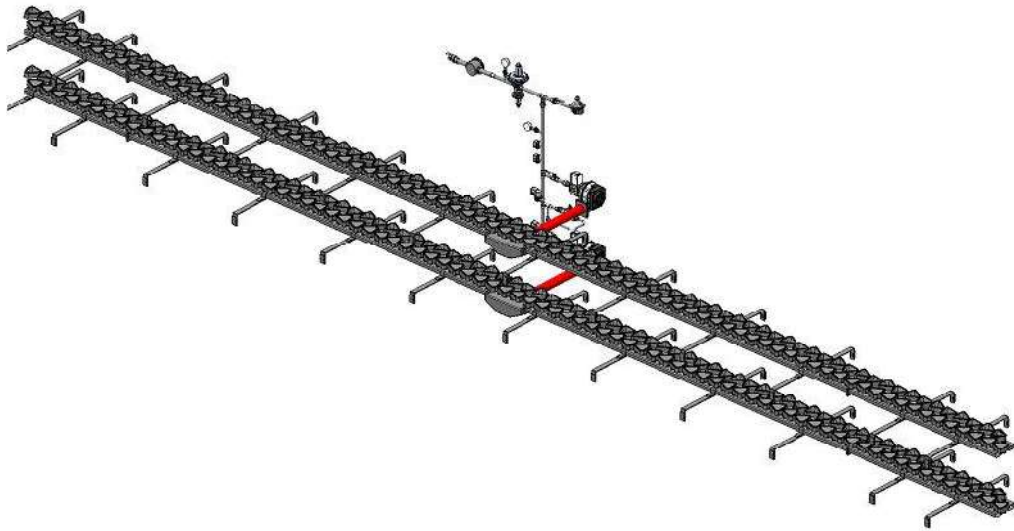


Figura 3 Sistema de calentamiento

Sistema con gas

Por medio de los elementos de ignición, control y distribución de temperatura, se mejora el sistema de ignición automática; el sistema se completa con control continuo en el horno el cual ajusta separadamente los hornos superiores e inferiores, aplicando altos estándares de seguridad. El sistema de ignición, puede utilizar LPG o gas natural según la solicitud del cliente. Se asegura una mejor ignición manteniendo un valor adecuado del rango de la mezcla de aire-gas.

Control de temperatura de cocina

Para el control de temperatura de cocción, un dispositivo censa la temperatura a través de un infrarrojo, en la superficie de los moldes. Se ajusta con la temperatura deseada en el panel de control. El controlador compara el valor requerido con el valor medido, asegurando mantener el mismo rango de la mezcla aire – gas, junto con la velocidad del aire de ventilación.

Sistema de tensión y expulsión principal

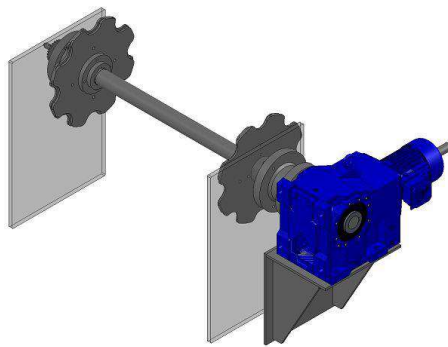


Figura 4 Sistema de expulsión principal

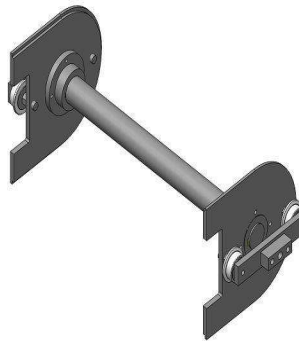


Figura 5 Sistema de tensión trasera

El reductor de expulsión principal asincrónico, tiene el control de velocidad a través de un potenciómetro que se encuentra en el panel de control donde se puede ajustar la duración de cocción cambiando la velocidad de motor. El motor principal debe de tener la orientación de giro correcta en el sistema de cerrado.

Sistema de molde y tenaza

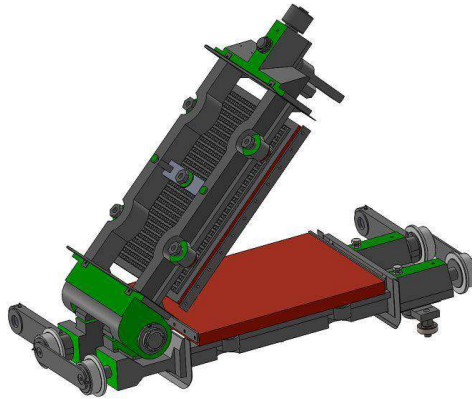


Figura 6 Molde y tenaza

Las tenazas y moldes están fabricados con fundición gris especial. Estos elementos ajustan la cantidad de masa en la plancha con canales en las superficies que se encuentran alrededor del molde. Cuando se cierran estos canales de los moldes tiran hacia fuera el vapor de agua formado cada vez que se calienta y la masa que viene de más en estos canales. El sistema de cerrado especial garantiza de que no se abrirá el molde durante el funcionamiento. Las tenazas con cerradura se abren tomando la masa nueva y también con el fin de sacar la hoja cocinada. Se baja automáticamente por parte del sistema de respiración y las hojas caídas están alimentando a la estación por parte de toma automática.

Sistema de masa

La masa, se transporta desde el depósito con la ayuda de una bomba a los moldes de cocción. La cantidad es calculada por medio de un sensor de señales que se encuentra dentro del panel de control, el cual controla el inicio y la finalización de la deposición de la masa. La cantidad de masas requeridas se ajusta con el cambio de velocidad de la bomba mediante un potenciómetro de velocidad digital que se encuentra dentro del panel de control.

El sistema de masa está constituida por:

- Depósito de masa
- Masa
- Flotador

- Tubo de masa
- Válvula de alimentación de masa
- Manguera de masa
- Bomba de masa

Sistema de toma automática

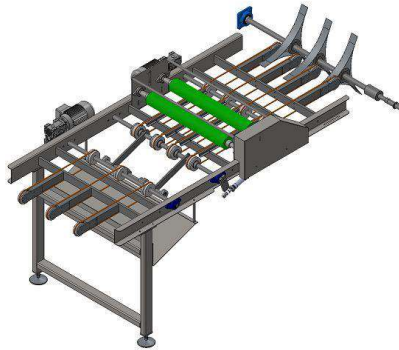


Figura 7 Sistema de toma y limpieza de oblea.

Cuando se abren los moldes, la oblea cae al contenedor de transportador sin tener algún daño. El sistema estrella, trabaja sincronizado con el sistema de limpieza de los moldes, el cual se encuentra encima del contenedor, es de forma automática que limpia los residuos en la superficie de hoja.

1.FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

1.1 ¿QUE ES MANTENIMIENTO?

Definimos habitualmente mantenimiento como el conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento.¹

A lo largo del proceso industrial vivido desde finales del siglo XIX, la función mantenimiento ha pasado diferentes etapas. En los inicios de la revolución industrial, los propios operarios se encargaban de las reparaciones de los equipos. Cuando las máquinas se fueron haciendo más complejas y la dedicación a tareas de reparación aumentaba, empezaron a crearse los primeros departamentos de mantenimiento, con una actividad diferenciada de los operarios de producción. Las tareas en estas dos épocas eran básicamente correctivas, dedicando todo su esfuerzo a solucionar las fallas que se producían en los equipos.

A partir de la primera guerra mundial, y sobre todo, de la segunda, aparece el concepto de la fiabilidad, y los departamentos de mantenimiento buscan no solo solucionar las fallas que se producen en los equipos, sino, sobre todo, prevenirlas, actuar para que no se produzcan. Esto supone crear una nueva figura en los departamentos de mantenimiento: personal cuya función es estudiar qué tareas de mantenimiento deben de realizarse para evitar las fallas. El personal indirecto, que no está involucrado directamente en la realización de las tareas, aumenta y con él los costos de mantenimiento. Pero se busca aumentar la producción, evitar las pérdidas por averías y sus costos asociados. Aparece el Mantenimiento Preventivo, el Mantenimiento Predictivo, el Mantenimiento Proactivo, la Gestión de Mantenimiento asistido por computadora, y el Mantenimiento Basado en Fiabilidad (RCM). El RCM como estilo de gestión de mantenimiento, se basa en el estudio de los equipos, en el análisis de los modos de fallo y en la aplicación de técnicas estadísticas y tecnología de detección. Podríamos decir que RCM es una filosofía de mantenimiento básicamente tecnológica.

¹(PARRA MÁRQUEZ, 2012)

Paralelamente, sobre todo a partir de los años 80, comienza a introducirse la idea de que puede ser rentable volver de nuevo al modelo inicial: que los operarios de producción se ocupen del mantenimiento de los equipos. Se desarrolla el TPM, o Mantenimiento Productivo Total, en el que algunas de las tareas normalmente realizadas por el personal de mantenimiento son ahora realizadas por operarios de producción. Estas tareas **transferidas** son trabajos de limpieza, lubricación, ajustes, reaprietes de tornillos y pequeñas reparaciones. Se pretende conseguir con ello que el operario de producción se implique más en el cuidado de la máquina, siendo el objetivo último de TPM conseguir **cero averías**. Como filosofía de mantenimiento, TPM se basa en la formación, motivación e implicación del equipo humano, en lugar de la tecnología.

TPM y RCM no son formas opuestas de dirigir el mantenimiento, sino que ambas conviven en la actualidad en muchas empresas. En algunas de ellas RCM impulsa el mantenimiento, y con esta técnica se determinan las tareas a efectuar en los equipos; después, algunas de las tareas son transferidas a producción, en el marco de una política de implantación de TPM. En otras plantas, en cambio, es la filosofía TPM la que se impone, siendo RCM una herramienta más para la determinación de tareas y frecuencias en determinados equipos.

Por desgracia, en otras muchas empresas ninguna de las dos filosofías triunfa. El porcentaje de empresas que dedican todos sus esfuerzos a mantenimiento correctivo y que no se plantean si esa es la forma en la que se obtiene un máximo beneficio (objetivo último de la actividad empresarial) es muy alto. Son muchos los responsables de mantenimiento, tanto de empresas grandes como pequeñas, que creen que estas técnicas están muy bien en el campo teórico, pero que en su planta no son aplicables: parte de la idea de que la urgencia de las reparaciones es la que marca y marcará siempre las pautas a seguir en el departamento de mantenimiento.

1.2 MANTENIMIENTO COMO CLIENTE INTERNO DE PRODUCCIÓN

Desde que las empresas entendieron que deberían de diferenciar la sección de personal dedicada a producción del personal dedicado al cuidado de los equipos e instalaciones, los

departamentos de mantenimiento han estado tradicionalmente subordinados a producción, siempre por debajo en la línea jerárquica de la empresa

El concepto de cliente interno aparece a mediados de los años 80, con la introducción masiva de las formas de gestión de empresas japonesas. Es un concepto muy interesante para cadenas de producción, en las que una fase de la producción proporciona la materia prima con la que se elaborará la siguiente. Es necesario, en estos casos, que la fase anterior compruebe que entrega un producto que alcanza perfectamente las especificaciones que necesita la fase siguiente.

Este concepto de cliente interno se aplicó también a otros departamentos, estableciéndose en multitud de empresas de mantenimiento es el proveedor de producción, y éste, por tanto, su cliente. Según esa concepción, otros departamentos, como Ingeniería, Métodos o Compras, también son proveedores de Producción.²

Este planteamiento es más evidente aún en entornos no industriales, como un hospital, un aeropuerto, etc. En un hospital, por ejemplo, el personal médico (asimilable con el personal de producción) suele estar muy por encima en la escala jerárquica respecto a los mandos de mantenimiento, a pesar de que es evidente de que la vida de un paciente puede depender del buen funcionamiento de un equipo (incluso del buen funcionamiento del sistema de acondicionamiento de aire).

Esta forma de establecer la relación entre Mantenimiento y Producción tal vez sea válida en entornos en los que no existe Gestión de Mantenimiento, donde Mantenimiento tan solo se ocupa de la reparación de las fallas que comunica Producción. Pero esta situación es muy discutible cuando el mantenimiento se gestiona, entendiéndose por gestionar tratar de optimizar los recursos que se emplean. En estos casos, Producción y Mantenimiento son dos elementos igualmente importantes del proceso productivo, dos ruedas del mismo carro.

²(GARCÍA GARRIDO, 2006)

Un carro que, por cierto, tiene más ruedas: Ingeniería, Compras, Calidad, Administración... Para que la organización funcione es necesario que funcionen todos sus departamentos, cada una de sus áreas. Podríamos decir incluso que la eficiencia de una organización está determinada por el departamento que peor funcione. De nada sirve una empresa en la que el departamento de calidad es estupendo si el departamento comercial no consigue colocar en el mercado el producto o servicio; de poco sirve, igualmente, que el departamento de mantenimiento sea excelente si la producción está pésimamente organizada, y viceversa.

Por tanto, en entornos en los que el mantenimiento se gestiona, podemos decir que Producción no es el cliente de Mantenimiento.

1.3POR QUÉ DEBEMOS GESTIONAR EL MANTENIMIENTO

¿Por qué debemos gestionar la función de mantenimiento? ¿No es más fácil y más barato acudir a reparar un equipo cuando se averíe y olvidarse de planes de mantenimiento, estudio de fallas, sistemas de organización, que incrementan notablemente la mano de obra indirecta? Veamos porque es necesario gestionar el mantenimiento:

1. Porque la competencia obliga a reducir los costos. Por tanto, es necesario optimizar el consumo de materiales y el empleo de mano de obra. Para ello es imprescindible estudiar el modelo de organización que mejor se adapta a las características de cada planta; es necesario también analizar la influencia que tiene cada uno de los equipos en los resultados de la empresa, de manera que dediquemos la mayor parte de los recursos a aquellos equipos que tienen una influencia mayor; es necesario, igualmente, estudiar el consumo y el stock de materiales que se emplean en mantenimiento; y es necesario aumentar la disponibilidad de los equipos, no hasta el máximo posible, sino hasta el punto en que la indisponibilidad no interfiera en el Plan de Producción.

2. Porque han aparecido multitud de técnicas que es necesario analizar, para estudiar si su implantación supondría una mejora en los resultados de la empresa, y para estudiar también

como desarrollarlas, en el caso de que pudieran ser de aplicación. Algunas de estas técnicas son las ya comentadas: TPM (Total Productive Maintenance, Mantenimiento Productivo Total), RCM (Reliability Centered Maintenance, Mantenimiento Centrado en Fiabilidad), Sistemas GMAO (Gestión de Mantenimiento Asistido por Ordenador) diversas técnicas de Mantenimiento Predictivo (Análisis vibracional, termografías, detección de fugas por Ultrasonidos, análisis amperimétricos, etc.).

3. Porque los departamentos necesitan estrategias. Directrices a aplicar, que son acordes con los objetivos planteados por la dirección.

4. Porque la calidad, la seguridad, y las interrelaciones con el medio ambiente son aspectos que han tomado una extraordinaria importancia en la gestión industrial. Es necesario gestionar estos aspectos para incluirlos en las formas de trabajo de los departamentos de mantenimiento.

Por todas estas razones, es necesario definir políticas, formas de actuación, es necesario definir objetivos y valorar su cumplimiento, e identificar oportunidades de mejora. En definitiva, es necesario gestionar mantenimiento.

1.4 PROBLEMAS DE MANTENIMIENTO EN LA INDUSTRIA

Vemos en la realidad a nivel micro y macro en las industrias de cualquier tipo o rubro, que poseen problemas de mantenimiento, no importando una empresa artesana o automatizada. Hoy en día, los equipos satisfactorios, solo son atendidos para arreglar con el mantenimiento correctivo, por lo que solo se atienden para arreglar las maquinas o equipos y se descuida la atención a la calidad adecuada del satisfactorio, según la razón de ser de la demanda del mercado. Siempre en toda organización en cualquier parte del mundo a nivel industrial, no existe una planeación estratégica ni planificación para la preservación y mantenimiento de los recursos físicos de los equipos, maquinas e infraestructura, siempre se dan las ordenes de trabajo por el personal de producción, es decir la requisición de una reparación o mantenimiento. A este proceso se le llama error de programa de mantenimiento.

Existe una guerra entre las áreas o personal de mantenimiento y el personal o áreas de producción que destruye la industria, no llegamos a un acuerdo en conjunto de trabajar en armonía.

En la actualidad, es recomendable mantener las relaciones humanas entre el personal de los departamentos de producción y mantenimiento, sabemos que hay diferencias entre ambos pero se puede llegar a la unión de cooperación para un bien común. *Porque si no sucede la destrucción de la fuente de trabajo en la organización es irreversible.* Una planeación de mantenimiento, se ejecuta en base a planes existentes, que son realizados desde el punto de vista táctico, es decir, se forman las requisiciones de trabajo por el grupo de producción equivocadamente se les da el nombre de órdenes de trabajo, generalmente, no se da un plan estratégico que las lleven en un plan a largo plazo, ni muchos menos se tiene en cuenta el costo del ciclo de vida.

2. ANÁLISIS DE EQUIPOS.

Hoy por hoy no es justificable pensar que toda una planta debe estar sujeta a un tipo de mantenimiento (por ejemplo, correctivo, o preventivo, etc.). Cada equipo ocupa una posición distinta en el proceso industrial, y tiene unas características propias que lo hacen diferente del resto, incluso de otros equipos similares. Esto quiere decir que una bomba o un motor pueden necesitar de unas tareas de mantenimiento, mientras que otra bomba y otro motor similares pueden necesitar de otros tipos de tareas muy distintas. Si queremos optimizar, ya no es suficiente con pensar en el tipo de instalación o en las características del equipo. Es necesario tener en cuenta toda una serie de factores, como el costo de una parada de producción, su influencia en la seguridad, el costo de una reparación, etc., que van a determinar las tareas de mantenimiento más convenientes para cada equipo.

Planteado de esta forma, el trabajo previo que debemos de realizar en una planta antes de elaborar el plan de mantenimiento es muy grande. Muy grande y muy importante. Debemos de estudiar cada uno de los equipos que constituyen la planta con cierto nivel de detalle, determinando qué tareas son rentables y cuales no lo son. En una planta que posea cientos o miles de equipos, este trabajo puede parecer inmenso e interminable, pero no es así. En una planta de tamaño medio, con algo menos de mil equipos, este trabajo puede suponer entre 4 y 6 semanas de un técnico que posea la formación adecuada. A la vez que realizamos este análisis, obtendremos una serie de información adicional³:

³(GARCÍA GARRIDO, 2006)

- Datos fundamentales para la elaboración del presupuesto anual de mantenimiento (repuestos y consumibles, importe de los subcontratos, trabajos durante las *paradas programadas*, estimación de la carga de mano de obra en horas/hombre).
- Repuestos que necesitamos en stock de la planta.
- Ayuda para la elaboración del plan de formación.
- Subcontratos necesarios con los fabricantes de algunos equipos.

2.1 LISTA DE EQUIPOS

El primer problema que se plantea al intentar realizar un análisis de equipos es elaborar una lista ordenada de los equipos que hay en ella. Realizar un inventario de los activos de la planta es algo más complejo de lo que pueda parecer en un primer momento.

Una simple lista de todos los motores, bombas, sensores, etc., de la planta no es útil ni práctica. Una lista de estas características no es más que una lista de datos, no es información. Si queremos elaborar una lista de equipos realmente útil, debemos de expresar esta lista en forma de estructura arbórea, en la que se indique las relaciones de dependencia de cada uno de los ítems con los restantes.

En una planta industrial podemos distinguir los siguientes niveles, a la hora de elaborar esta estructura arbórea:

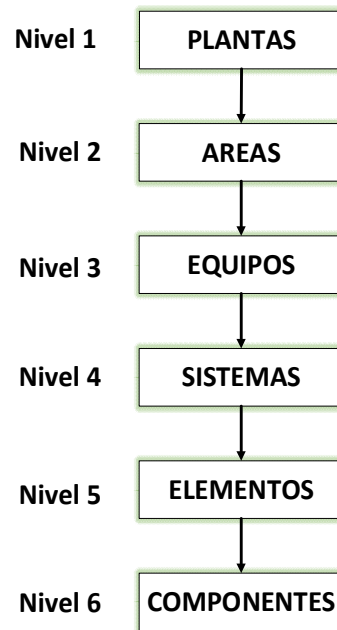


Figura 8 Niveles de estructura arbórea.

Una empresa puede tener una o varias plantas de producción, cada una de las cuales puede estar dividida en diferentes zonas o áreas funcionales. Estas áreas pueden tener en común la similitud de sus equipos, una línea de producto determinada o una función. Cada una de estas áreas estará formada por un conjunto de equipos, iguales o diferentes, que tienen una entidad propia. Cada equipo, a su vez, está dividido en una serie de sistemas funcionales, que se ocupan de una misión dentro de él. Los sistemas, a su vez, se descomponen en elementos (el motor de una bomba de lubricación será un elemento). Los componentes son partes más pequeñas de los elementos, y son las partes que habitualmente se sustituyen en una reparación.

Definiremos en primer lugar que entendemos por cada uno de estos términos:

- Planta: Centro de trabajo. Ej.: Empresa X, Planta de El Salvador
- Área: Zona de la planta que tiene una característica común (centro de costo, similitud de equipos. Línea de producto, función). Ej.: Área de Servicios Generales, Área de hornos, Área Línea 1.

- Equipo: Cada uno de las unidades productivas que componen el área, que constituyen un conjunto único.
- Sistema: Conjunto de elementos que tienen una función común dentro de un equipo
- Elemento: cada una de las partes que integran un sistema. Ej.: el motor de la bomba de lubricación de un compresor. Es importante diferenciar elemento y equipo. Un equipo puede estar conectado o dar servicio a más de un equipo. Un elemento, en cambio, solo puede pertenecer a un equipo. Si el ítem que tratamos de identificar puede estar conectado o dar servicio simultáneamente a más de un equipo, será un equipo, y no un elemento. Así, si una bomba de lubricación sólo lubrica un compresor, se tratará de un elemento del compresor. Si en cambio, se trata de una bomba que envía aceite de lubricación a varios compresores(sistema de lubricación centralizado), se tratará en realidad de otro equipo, y no de un elemento de alguno de ellos.
- Componentes: partes en que puede subdividirse un elemento. Ej.: Rodamiento de un motor, junta rascadora de un cilindro neumático.

Ejemplo 2.1 Lista de equipos en empresa de fabricación de alimentos

Si tomamos como ejemplo una Planta de Producción de **alimentos**, la lista de los equipos que la componen podría ser la siguiente:

1. Compresor uno.
2. Compresor dos.
3. Secador de aire.
4. Bomba de vacío.
5. Red contraincendios.
6. Caldera de vapor.
7. Tanque de gas.
8. Tanque de aceite.
9. Horno de gas
10. Aire comprimido

Expresado así, no es más que una lista de equipos sin estructura, que no aporta ninguna información.

Se presenta una lista de equipos que pertenecen a una planta de alimentos, en El Salvador

- EMPRESA: ALIMENTOS
- PLANTA: EL SALVADOR

Tabla 1 Listado por niveles de planta de alimentos.

Nivel 1 ÁREA	Nivel 2 EQUIPO	Nivel 3 SISTEMA
ÁREA DE SERVICIOS GENERALES	Equipo contra-incendios	Sistema de almacenamiento de agua
		Sistema de bombeo
	Red de agua contra-incendios	Sistema de hidrantes
		Sistema de detección
		Tuberías
		Válvulas
	Compresor 1	Sistema de lubricación
		Sistema de refrigeración
		Sistema de admisión de aire
		Elementos estáticos
		Elementos rotativos
		Instrumentación
		Control
		Alimentación eléctrica
	Compresor 2	Sistema de lubricación
		Sistema de refrigeración
		Sistema de admisión de aire
		Elementos estáticos
		Elementos rotativos
		Instrumentación
		Control
		Alimentación eléctrica
	Secador de aire	Sistema de refrigeración
		Ciclo de frío (lado refrigerante)
		Sistema de extracción de agua
	Red de aire comprimido	Tuberías
		Válvulas
		Instrumentación
	Caldera 1	Sistema de alarma
		Sistema de condensado
		Sistema de admisión de aire
		Elementos estáticos
		Elementos rotativos
		Instrumentación
		Control
		Alimentación eléctrica
	Red de vapor	Tuberías
		Válvulas
		Instrumentación
	Tanque de Gas	Vaporizadores
		Válvulas
		Instrumentación
Red de Gas	Tuberías	
	Válvulas	
	Instrumentación	
	Control	
ÁREA DE GALLETAS	Horno de gas	Sistema de plancha y tenza
		Sistema de masa
		Sistema de gas
		Sistema de aire
		Alimentación eléctrica
		Sistema de limpieza

2.2 CODIFICACIÓN DE EQUIPOS⁴

Una vez elaborada la lista de equipos es muy importante identificar cada uno de los equipos con un código único. Esto facilita su localización, su referencia en órdenes de trabajo, en planos, permite la elaboración de registros históricos de fallos e intervenciones, permite el cálculo de indicadores referidos a áreas, equipos, sistemas elementos, etc., y permite el control de costos.

Básicamente existen dos posibilidades a la hora de codificar:

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

La ventaja del empleo de un sistema de codificación no significativo, de tipo correlativo, es la simplicidad y la brevedad del código. Con apenas cuatro dígitos es posible codificar la mayoría de las plantas industriales. La desventaja es la dificultad para ubicar una máquina a partir de su código: es necesario tener siempre a la mano una lista para poder relacionar cada equipo con su código. Eso, o tener una memoria prodigiosa.

Un sistema de codificación significativo aporta valiosa información sobre el equipo al que nos referimos: tipo de equipo, área en el que está ubicada, familia a la que pertenece, y toda aquella información adicional que queramos incorporar al código. El problema es el que al añadir más información el código aumenta de tamaño.

Como quiera el empleo de sistemas correlativos es muy sencillos, estudiaremos los sistemas de codificación significativos.

Información útil que debe contener el código de un ítem

La información que debería contener el código de un equipo debería ser la siguiente:

⁴(GARCÍA GARRIDO, 2006)

- Planta a la que pertenece.
- Área al que pertenece dentro de la planta.
- Tipo de equipo.

Los elementos que forman parte de un equipo deben contener información adicional:

- Tipo de elemento.
- Equipo al que pertenecen.
- Dentro de ese equipo, sistema en el que están incluidos.
- Familia a la que pertenece el elemento. La clasificación en familia es muy útil, ya que nos permite hacer listados de elementos. Se puede encontrar una lista de familias en que pueden clasificarse los elementos más adelante.

Una vez elaborada la lista de equipos, y teniendo en cuenta todas las consideraciones anteriores, es posible abordar la tarea de la codificación, fijando los criterios que la regirán. Un ejemplo de codificación se incluye en el punto siguiente:

Ejemplo 2.2 UNA FORMA DE CODIFICAR LOS ACTIVOS DE UNA PLANTA

Para este ejemplo, se ha utilizado la planta de producción de *alimentos* que se detallaba en el apartado dedicado a la elaboración de listas de equipos. Se han codificado tanto los equipos como los elementos que los componen.

Para definir el código en este ejemplo, se han definido la siguiente estructura:

Códigos para equipos

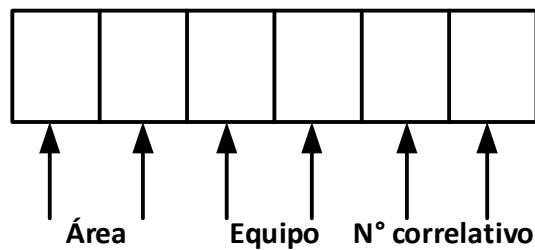


Figura 9 Estructura para código de equipo.

Como se indica en la figura, el área de la planta en que está ubicado el equipo estaría definido por dos caracteres alfabéticos, el tipo de equipo por dos caracteres alfabéticos, y el número correlativo por dos caracteres numéricos.

En la siguiente tabla figuran algunos ejemplos de códigos que pueden utilizarse para identificar el tipo de equipo:

Tabla 2 Códigos para equipos comunes en planta industrial

Código	Tipo de equipo	Código	Tipo de equipo
CV	Caldera de vapor	AC	Red de aire comprimido
CT	Compresor de tornillo	RA	Red de agua industrial
RV	Red de vapor	RC	Red contraincendios
RE	Red eléctrica general	RG	Red de gas
SA	Secador de aire	AA	Aire acondicionado
TG	Tanque de gas	IC	Intercambiador de calor
HE	Horno eléctrico	TG	Turbina de gas
HG	Horno de gas	IS	Impresora por serigrafía
RE	Reactor	TE	Torre de enfriamiento
TV	Turbina de vapor	IN	Inyectora
MR	Motoreductor	EM	Empacadora
ME	Motor eléctrico	EN	Envasadora
MC	Motor de combustión	PE	Planta de emergencia eléctrica
TF	Tornillo sin fin	PC	Planta de emergencia de combustión
CM	Centro de control de motores	TE	Tablero eléctrico
LV	Lavadora de maíz	FR	Freidora
BT	Banda transportadora	ET	Elevador telescópico hidráulico
EC	Elevador de cajas	AG	Alimentador de galletas

Utilizando esta tabla de tipos de equipos, y teniendo en cuenta la lista de equipos que contenía la planta del apartado anterior, la codificación resultante sería la siguiente:

Tabla 3 Codificación de equipos de planta.

Código	Descripción
S G C T 0 1	Compresor 1
S G C T 0 2	Compresor 2
S G S A 0 1	Secador de aire
S G B V 0 1	Bomba de vacío
S G R C 0 1	Red contra incendios
S G C V 0 1	Caldera de vapor
S G T G 0 1	Tanque de gas
S G T A 0 1	Tanque de aceite
G A H G 0 1	Horno de gas
S G A C 0 1	Red de aire comprimido

Ejemplo 2.3 codificación de planta de producción de alimentos.

En este ejemplo, se ha utilizado una planta industrial de producción de *alimentos* en donde podemos distinguir los niveles de la estructura arbórea, puede notarse que se ha tomado un equipo específico de la producción; el equipo es un horno a gas para la producción de galletas, la amplitud del ejemplo permite notar los sistemas, elementos y componentes del horno hasta los seis niveles de la estructura:

Tabla 4 Codificación para horno de planta de alimentos.

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6
Planta	Area	Equipo	Sistema	Elemento	Componente
Soyapango	Galleta	Horno	Gas	Tanque	Valvula de seguridad
					Manometro
				Linea de gas	Filtro
					Manometro
					Flujometro
					Inyector
					Boquilla
				Quemador	Portaboquilla
					Rodamientos
			Transmision	Moto-reductor	Sellos
					Motor
					Engranés
				Eje motriz	Sprockets
				Eje tensor	Rodamiento
					Eje
			Molde y tenaza	Planchas	Plancha superior
					Plancha inferior
					Rodamientos
				Tenaza	Pines de calibracion
					bisagra
			Masa	Deposito de masa	Rodo
					Sensor de nivel
				Bomba de masa	Tubo de masa
					Motor
			Limpieza de tripa	Eje expulsor	Reductor
					Eje
					Chumacera
				Eje de limpieza	Estrella
					Cepillo
					Chumacera
Fajas de hule					
Eje					
Panel de control	PLC	HMI			
		Sensor temperatura			
		Encoder			

Código para equipo horno de galleta

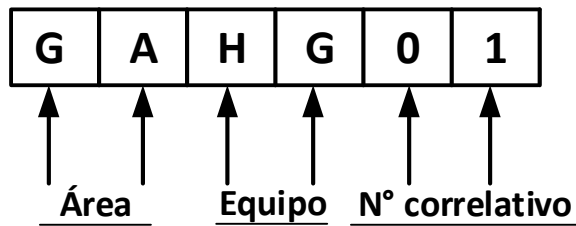


Figura 10 Código para horno de galleta.

Códigos para elementos

El código de un elemento que forma parte de un equipo estaría formado en este ejemplo por un total de 17 caracteres, con la siguiente estructura:

- Los seis primeros identificarían el equipo, tal y como se ha detallado en el apartado anterior.
- Uno o dos caracteres más alfabéticos identificaría la familia a la que pertenece el elemento.
- Los tres caracteres siguientes, hasta 7 (longitud variable), sería caracteres alfanuméricos, que identificarían las características del elemento y aportarían un número correlativo.
- Un último carácter, de aplicación exclusiva para el caso de redundancia (elementos duplicados, triplicados, etc.).

En la siguiente figura puede verse la estructura del código de un elemento:

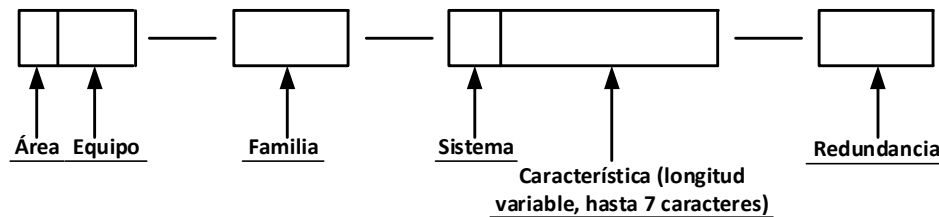


Figura 11 Código de elemento.

Las familias a las que puede pertenecer un elemento pueden ser las siguientes:


Tabla 5 Código de familia de equipos.

Código	Familia
B	Bomba
I	Instrumento
C	Componente de gabinete eléctrico
E	Elemento eléctrico
P	Pieza mecánica
F	Filtro
T	Tubería
V	Válvula
M	Motor
H	Cilindros y actuadores hidráulicos
N	Cilindros y actuadores neumáticos

Indicar la familia a la que pertenece el elemento tiene una ventaja: nos permite hacer listados de válvulas, motores, bombas, instrumentos, etc. Estas listas pueden ser interesantes en muchos casos; por ejemplo, si quisiéramos saber cuántos y que motores tenemos en la planta, para estudiar su posible estandarización. O saber cuántos instrumentos de medida hay instalados, para hacer un plan de calibración.

A continuación se presenta una ficha técnica de un elemento con la estructura de la codificación mencionada en el párrafo anterior.

Tabla 6 Ficha técnica de equipo.

ELEMENTO: MOTOREDUCTOR		CÓDIGO: GAHG01MTMR01	
DATOS DEL ELEMENTO			
PROVEEDOR: Dayton	AÑO: 2015		
DIRECCIÓN: Ohio 45401, P.O. Box 1123			
TELÉFONOS: 1-800-643-0641			
DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO: MOTOREDUCTOR			
CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES: TRABAJO PESADO			
			

VALORES DE REFERENCIA:			
HP:	2	Marca:	Chemineer
VOLTAJE:	220	Acoplamiento:	Directo
FRECUENCIA:	60 Hz	Corona:	Bronce
FASES:	TRES	Tipo de Acero:	Templado
RATIO:	10:1	Torque:	300 Nm

ANÁLISIS DE CRITICIDAD **TIPO DE ELEMENTO: CRITICO**

ANÁLISIS DE LAS ZONAS/EQUIPOS

TIPO DE EQUIPO	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	PRODUCCIÓN	CALIDAD	MANTENIMIENTO
A CRITICO	Puede originar accidente muy grave.	Su parada afecta al plan de Producción.	Es clave para la calidad del producto.	Alto costo de reparación en caso de avería.
	Necesita revisiones periódicas frecuentes (mensuales).		Es el causante de un alto porcentaje de rechazos.	Averías muy frecuentes.
	Ha producido accidentes en el pasado.			Consumo una parte importante de los recursos de mantenimiento (mano de obra y/o materiales).
B IMPORTANTE	Necesita revisiones periódicas (Anuales).	Afecta a la producción, pero es recuperable (No llega a afectar a clientes o al plan de producción).	Afecta a la calidad, pero habitualmente no es problemático.	Presenta un costo medio en mantenimiento.
	Puede ocasionar accidente grave, pero las posibilidades son remotas.			
C PRESCINDIBLE	Poca influencia en seguridad.	Poca influencia en producción.	No afecta a la calidad.	Bajo costo de mantenimiento.

MODELO DE MANTENIMIENTO	
CORRECTIVO	X
CONDICIONAL	X
SISTÉMICO	
ALTA DISPONIBILIDAD	

¿MTO. LEGAL?	
SI	
NO	

SUBCONTRATOS NECESARIOS	
PREVENTIVOS	
CORRECTIVO	
INSPECCIONES	
OVERHAUL	

2.3 TIPOS DE MANTENIMIENTO⁵

Una vez realizada la lista de equipos, desglosados incluso en los elementos que los componen e identificado cada ítem con un código único que permite referenciarlo, la siguiente tarea que debemos abordar es la de decidir cómo vamos a mantener cada uno de esos equipos.

Tradicionalmente, se han distinguido cinco tipos de mantenimiento, que se diferencian entre sí por el carácter de las tareas que incluyen:

DIVISIÓN CLÁSICA DE TIPOS DE MANTENIMIENTO

- Mantenimiento correctivo.
- Mantenimiento preventivo.
- Mantenimiento predictivo.
- Mantenimiento hard timeo cero horas.
- Mantenimiento en uso.

Mantenimiento correctivo: Es el conjunto de tareas destinadas a corregir los defectos que se van presentando en los distintos equipos y que son comunicados al departamento de mantenimiento por los usuarios de los mismos.

Mantenimiento preventivo: Es el mantenimiento que tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las correcciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno.

Mantenimiento predictivo: Es el que persigue conocer e informar permanentemente del estado y operatividad de las instalaciones mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables, representativas de tal estado y operatividad. Para aplicar este mantenimiento es necesario identificar variables físicas (temperaturas, vibración, consumo de energía, etc.) cuya variación sea indicativa de problemas que puedan estar apareciendo en el equipo. Es el tipo de mantenimiento más tecnológico, pues requiere de medios técnicos avanzados, y de fuertes conocimientos matemáticos, físicos y técnicos.

⁵(GARCÍA GARRIDO, 2006)

Mantenimiento cero horas: Es el conjunto de tareas cuyo objetivo es revisar los equipos a intervalos programados bien antes de que aparezca ningún fallo, bien cuando la fiabilidad del equipo ha disminuido apreciablemente, de manera que resulta arriesgado hacer previsiones sobre su capacidad productiva. Dicha revisión consiste en dejar el equipo a cero horas de funcionamiento, es decir; como si el equipo fuera nuevo.

En estas revisiones se sustituyen o se reparan todos los elementos sometidos a desgaste. Se pretende asegurar, con gran probabilidad un tiempo de buen funcionamiento fijado de antemano.

Mantenimiento en uso: Es el mantenimiento básico de un equipo realizado por los usuarios del mismo. Consiste en una serie de tareas elementales (tomas de datos, inspecciones visuales, limpieza, lubricación, reapriete de tornillos) para las que no es necesario una gran formación, sino tan solo un entrenamiento breve. Este tipo de mantenimiento es la base del TPM (Total Productive Maintenance, Mantenimiento Productivo Total).

2.4 LOS TIPOS DE MANTENIMIENTO NO SON DIRECTAMENTE APLICABLES

Esta división de tipos de mantenimiento presenta el inconveniente de que cada equipo necesita una mezcla de cada uno de esos tipos, de manera que nos podemos pensar en aplicar uno solo de ellos a un equipo en particular.

Así en un motor determinado nos ocuparemos de su lubricación (mantenimiento preventivo periódico), si lo requiere, mediremos sus vibraciones o sus temperaturas (mantenimiento predictivo), si lo requiere, quizás le hagamos una puesta a punto anual (puesta a cero) y repararemos las averías que vayan surgiendo (mantenimiento correctivo). La mezcla más idónea de todos estos equipos de mantenimiento nos la dictarán estrictas razones ligadas al costo de las pérdidas de producción en una parada de ese equipo, al costo de reparación, al impacto ambiental, a la seguridad y a la calidad del producto o servicio, entre otras.

El inconveniente, pues, de la división anterior es que no es capaz de dar una respuesta clara a esta pregunta:

¿Cuál es el mantenimiento que debo aplicar a cada uno de los equipos que componen una planta concreta?

Para dar respuesta a esta pregunta es conveniente definir el concepto de modelo de mantenimiento. Un modelo de mantenimiento es una mezcla de los anteriores tipos de mantenimiento en unas proporciones determinadas, y que responde adecuadamente a las necesidades de un equipo concreto. Podemos pensar que cada equipo necesitará una mezcla distinta de los diferentes tipos de mantenimiento, una mezcla determinada de tareas, de manera que los modelos de mantenimiento posibles serán tantos como equipos puedan existir. Pero esto no es del todo correcto. Pueden identificarse claramente cuatro de estas mezclas, complementadas con otros dos tipos de tareas adicionales, según veremos más adelante.

2.5 MODELOS DE MANTENIMIENTO POSIBLES⁶

Cada uno de los modelos que se exponen a continuación incluye varios de los tipos anteriores de mantenimiento, en la proporción que se indica. Además, todos ellos incluyen dos actividades las cuales son:

- Inspecciones visuales
- Lubricación

Esto es así porque está demostrado que la realización de estas dos tareas en cualquier equipo es rentable incluso en el modelo más sencillo (Modelo Correctivo), en el que prácticamente abandonamos el equipo a su suerte y no nos ocupamos de él hasta que se produce una avería, es conveniente observarlo al menos una vez al mes, y lubricarlo con productos adecuado a sus características. Las inspecciones visuales prácticamente no cuestan dinero (estas inspecciones estarán incluidas en unas gamas en las que tendremos que observar otros equipos cercanos, por lo que no significará que tengamos que destinar recursos expresamente para esta función). Esta inspección nos permitirá detectar averías de manera precoz, y su resolución generalmente será más barata cuanto antes detectemos el problema.

⁶(GARCÍA GARRIDO, 2006)

La Lubricación siempre es rentable. Aunque si representa un costo (lubricante y la mano de obra de aplicarlo), en general es tan bajo que está sobradamente justificado, ya que una avería por una falta de lubricación implicará siempre un gasto mayor que la aplicación del lubricante correspondiente.

Hecha esta puntualización, podemos definir ya los diversos modelos de mantenimiento posibles.

2.5.1 MODELO DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO.

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

MODELO CORRECTIVO

- **Inspecciones visuales**
- **Lubricación**
- **Reparación de averías**

Figura 12 Modelo correctivo.

2.5.2 MODELO DE MANTENIMIENTO CONDICIONAL.

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

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

MODELO CONDICIONAL

- Inspecciones visuales
- Lubricación
- Mantenimiento Condicional
- Reparación de averías

Figura 13 Modelo condicional.

2.5.3 MODELO DE MANTENIMIENTO SISTEMÁTICO.

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

Un ejemplo de equipo sujeto a este modelo de mantenimiento es un reactor discontinuo, en el que las materias que deben reaccionar se introducen de una sola vez, tiene lugar la reacción, y posteriormente se extrae el producto de la reacción, antes de realizar una nueva carga. Independientemente de que este reactor esté duplicado o no, cuando está en operación debe ser fiable, por lo que se justifica realizar una serie de tareas con independencia de que se hayan presentado algún síntoma de fallo, otros ejemplos se mencionan a continuación:

- El tren de aterrizaje de un avión

- El motor de un avión

MODELO SISTEMÁTICO

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

Figura 14 Modelos sistemático.

2.5.4 MODELO DE MANTENIMIENTO DE ALTA DISPONIBILIDAD.

Es el modelo más exigente y exhaustivo de todos. Se aplica en aquellos equipos que bajo ningún concepto pueden sufrir avería o un mal funcionamiento. Son equipos a los que se exige, además, unos niveles de disponibilidad altísimos, por encima del 90%. La razón de un nivel tan alto de disponibilidad es, en general, el alto costo en producción que tiene una avería. Con una exigencia tan alta que no hay tiempo para el mantenimiento que requiera parada del equipo (correctivo, preventivo sistemático). Para mantener estos equipos es necesario emplear técnicas de mantenimiento predictivo, que nos permita conocer el estado del equipo con él en marcha, y a paradas programadas, que supondrán una revisión general completa, con una frecuencia generalmente anual o superior. En esta revisión se sustituyen, en general todas aquellas piezas sometidas a desgaste o con probabilidad de fallo a lo largo del año (piezas a una vida inferior a dos años). Estas revisiones se preparan con gran antelación, y no tiene por qué ser exactamente iguales año tras año.

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

Algunos ejemplos de este modelo de mantenimiento pueden ser los siguientes:

- Turbinas de producción de energía eléctrica.
- Hornos de elevada temperatura, en los que una intervención supone enfriar y volver a calentar el horno, con el consiguiente gasto energético y con las pérdidas de producción que trae asociado.
- Equipos rotativos que trabajan de forma continua
- Depósitos reactores o tanques de reacción no duplicados, que sean la base de la producción y que deban mantenerse en funcionamiento el máximo número de horas posible.

MODELO DE ALTA DISPONIBILIDAD

- **Inspecciones visuales**
- **Lubricación**
- **Reparación de averías**
- **Mantenimiento Condicional**
- **Mantenimiento Preventivo Sistemático**
- **Puesta a cero periódica, en fecha determinada**

Figura 15 Modelo de alta disponibilidad.

2.5.5 CONSIDERACIONES EN MANTENIMIENTO.

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

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

Estos dos aspectos deben de ser valorados cuando tratamos de determinar el modelo de mantenimiento que debemos aplicar a un equipo.

Mantenimiento Legal:

Algunos equipos están sometidos a normativas o a regulaciones por parte de la administración. Sobre todo, son equipos que entrañan riesgos para la persona o para el entorno. La administración exige la realización de una serie de tareas, pruebas e inspecciones, e incluso alguna de ellas debe de ser realizada por empresas debidamente autorizadas para llevarlas a cabo. Estas tareas deben necesariamente incorporarse al Plan de Mantenimiento del equipo, sea cual sea el modelo que se decida aplicarle.

Algunos de los equipos sometidos a este tipo de mantenimiento son los siguientes:

- Equipos y aparatos a presión.
- Instalaciones de alta y media tensión.
- Torres de refrigeración.
- Determinados medios de elevación, de cargas o de personas.
- Vehículos.
- Instalaciones contra incendios.
- Tanques de almacenamiento de determinados productos químicos.

Mantenimiento subcontratado a un especialista

Cuando hablamos de un especialista, nos referimos a un individuo o empresa especializada a un equipo concreto. El especialista puede ser el fabricante del equipo, el servicio técnico del importador, o una empresa que se ha especializado en un tipo concreto de intervenciones. Como hemos dicho, debemos de recurrir al especialista cuando:

- No tenemos conocimientos suficientes.
- No tenemos los medios necesarios.

Si se dan estas circunstancias, algunas o todas las tareas de mantenimiento deberemos subcontratarlas a empresas especializadas.

El mantenimiento subcontratado a un especialista es, en general, la alternativa más cara, pues la empresa que lo ofrece es consciente de que no compite. Los precios no son precios de mercado, sino precios de monopolio.

Debe de tratar de evitarse en la medida de lo posible, por el encarecimiento y por la dependencia externa que supone. La forma más razonable de evitarlo consiste en desarrollar un Plan de Formación que incluya entrenamiento específico en aquellos equipos de los que no se poseen conocimientos suficientes, adquiriendo además los medios técnicos necesarios.

2.6 ANÁLISIS DE CRITICIDAD

No todos los equipos tienen la misma importancia en una planta industrial. Es un hecho que algunos equipos son más importantes que otros. Como los recursos de una empresa para mantener una planta es limitado, debemos destinar la mayor parte de los recursos a los equipos más importantes, dejando una pequeña porción a los equipos que menos pueden influir en los resultados de la empresa.

Pero, ¿cómo diferenciamos los equipos que tienen una gran influencia en los resultados de los que no la tienen? Cuando tratamos de hacer esta diferenciación, estamos realizando el Análisis de Criticidad de los equipos de una planta.

Comencemos distinguiendo una serie de niveles de importancia o criticidad:

- A) **Equipos críticos.** Son aquellos cuya parada o mal funcionamiento afecta significativamente a los resultados de la empresa.
- B) **Equipos importantes.** Son aquellos equipos cuya parada, avería o mal funcionamiento afecta a la empresa, pero las consecuencias son asumibles.

C) **Equipos prescindibles.** Son aquellos con una incidencia escasa en los resultados. Como mucho, supondrían una pequeña incomodidad, algún pequeño cambio de escasa trascendencia, o un pequeño costo adicional.

Opcionalmente, algunas empresas prefieren incluir una categoría más: los equipos altamente críticos. Se pretende con la introducción de esta nueva categoría distinguir entre dos tipos de equipos críticos distintos: equipos más críticos y equipos menos críticos.

Veamos, en segundo lugar, qué criterios podemos utilizar para clasificar cada uno de los equipos en alguna de las categorías anteriores. Debemos considerar la influencia que una anomalía tiene en cuatro aspectos: Producción, Calidad, Mantenimiento y Seguridad.

- **Producción.** Cuando valoramos la influencia que un equipo tiene en producción, nos preguntamos cómo afecta a ésta un posible fallo. Dependiendo de que suponga una parada total de la instalación, una parada de una zona de producción preferente, paralice equipos productivos pero con pérdidas de producción, clasificaremos el equipo como A, B o C.
- **Calidad.** El equipo puede tener una influencia decisiva en la calidad del producto o servicio final, una influencia relativa que no acostumbre a ser problemática o una influencia nula.
- **Mantenimiento.** El equipo puede ser muy problemático, con averías caras y frecuentes; o bien un equipo con un costo medio en mantenimiento; o, por último, un equipo con un bajo costo, que normalmente no dé problemas.
- **Seguridad y medio ambiente.** Un fallo del equipo puede suponer un accidente muy grave, bien para el medio o para las personas, y que además tenga cierta probabilidad de fallo; es posible también que un fallo del equipo pueda ocasionar un accidente, pero la probabilidad de que eso ocurra puede ser baja; o, por último, puede ser un equipo que no tenga ninguna influencia en seguridad.

La tabla propuesta para valorar la criticidad de un equipo puede ser la siguiente:

Tabla 7 Análisis de criticidad.

TIPO DE EQUIPO	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	PRODUCCIÓN	CALIDAD	MANTENIMIENTO
A CRITICO	Puede originar accidente muy grave.	Su parada afecta al plan de Producción.	Es clave para la calidad del producto.	Alto costo de reparación en caso de avería.
	Necesita revisiones periódicas frecuentes (mensuales).		Es el causante de un alto porcentaje de rechazos.	Averías muy frecuentes.
	Ha producido accidentes en el pasado.			Consumen una parte importante de los recursos de mantenimiento (mano de obra y/o materiales).
B IMPORTANTE	Necesita revisiones periódicas (Anuales).	Afecta a la producción, pero es recuperable (No llega a afectar a clientes o al plan de producción).	Afecta a la calidad, pero habitualmente no es problemático.	Presenta un costo medio en mantenimiento.
	Puede ocasionar accidente grave, pero las posibilidades son remotas.			
C PRESCINDIBLE	Poca influencia en seguridad.	Poca influencia en producción.	No afecta a la calidad.	Bajo costo de mantenimiento.

Imaginémonos ahora la siguiente situación. Al valorar un equipo, ha resultado ser crítico por mantenimiento, prescindible por calidad y por seguridad, e importante por producción. ¿Cómo debemos considerar el equipo?

La categoría que demos a un equipo debe corresponder a la más alta que haya obtenido al valorar los cuatro aspectos. En el caso descrito, el equipo resultaría **crítico**.

2.7 SELECCIÓN DEL MODELO DE MANTENIMIENTO

Ya hemos determinado la criticidad del equipo que estamos analizando. Ya tenemos el primer gran paso para decidir sobre el modelo de mantenimiento a aplicar.

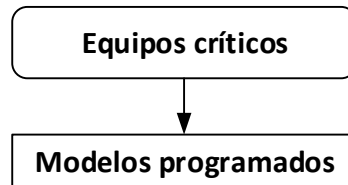


Figura16 Equipos críticos.

Si el equipo resulta ser **Crítico**, el modelo de mantenimiento será alguno de los tres que corresponden a Mantenimiento Programado. Si el equipo es **Importante**, tendremos que estudiar todavía un poco más las consecuencias de una avería. Si el equipo, por último, es Prescindible, ya sabemos que el modelo que le corresponderá será el Modelo Correctivo.

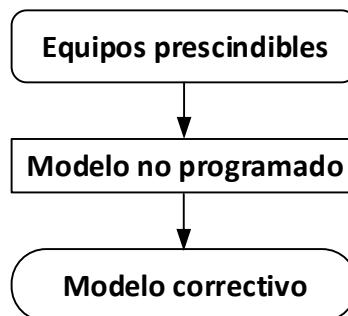


Figura17 Equipos Prescindibles.

Como decíamos, si el equipo es Importante debemos preguntarnos sobre el costo que supone una parada, y el costo que supone la reparación de una posible avería. Si el costo de una parada es importante (por ejemplo, porque implique un costo determinado en pérdidas de

producción), el modelo de mantenimiento es uno de los modelos programados. Si el costo es bajo, aún debemos preguntarnos algo más: cuál es el costo de una posible avería. Si el equipo tiene piezas cuya avería nos supondrá un gasto grande (contabilizando materiales como mano de obra), el modelo de mantenimiento será programado; si por el contrario este costo es bajo, el modelo de mantenimiento que le corresponderá será correctivo.

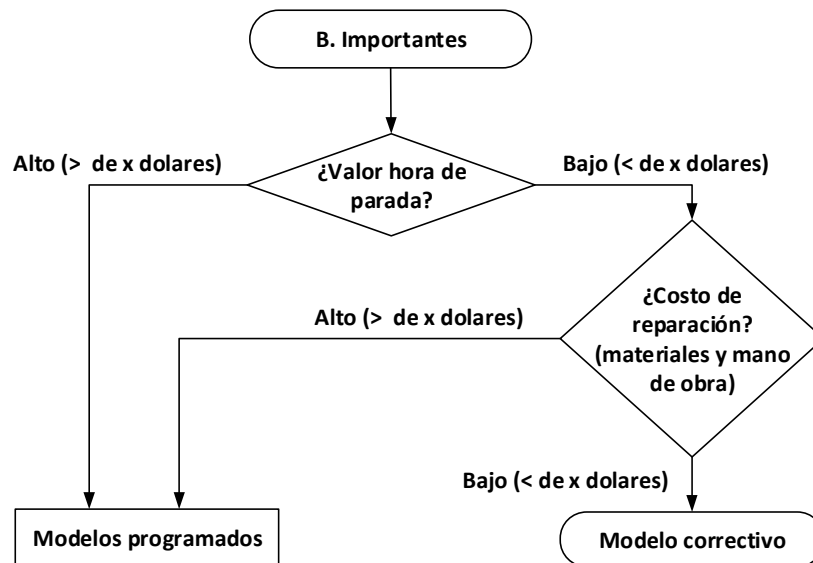


Figura18 Equipos importantes.

Así, vemos que para el caso de equipos **críticos** y para el caso de equipos **prescindibles**, la asignación de un modelo programado o no programado (correctivo) es inmediata, pero si el equipo es **importante**, hay que estudiar más a fondo el equipo. Si la parada del equipo no supone un gran trastorno en producción y además el costo de las averías que pueden surgir es asumible, el modelo será correctivo, mientras que si no se cumple alguna de las dos condiciones anteriores, el modelo será alguno de los tres modelos programados.

Una vez que hemos llegado a la conclusión de que el modelo de mantenimiento es un modelo de mantenimiento programado, debemos ahora decidir qué modelo en concreto corresponde.

Si el equipo necesita estar en funcionamiento la mayor parte del tiempo (más del 90%), el modelo será el de **Alta Disponibilidad**. Este modelo, como hemos visto, es el más caro y completo, y es el único de que no incluye la reparación de averías, porque se parte de la base de que estas averías no pueden surgir. En la práctica, estas averías ocurren, ya que es imposible controlar todos los aspectos, algunos de ellos dependiente del azar. Pero debemos fijarnos eso como objetivo, aunque no lo consigamos plenamente.

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

El tercer caso será aquel que corresponde a equipos cuya posibilidad de fallo es baja, o bien, que la disponibilidad que precisamos es muy baja (equipos que solo precisamos ocasionalmente, o que están duplicados o triplicados). El modelo correspondiente será el **Condicional**, en el que según hemos visto, realizaremos determinadas pruebas funcionales o determinados ensayos, y solo actuaremos en caso de observar algo anormal en estas pruebas o ensayos. Dentro de los modelos de mantenimiento programado es el modelo más básico.

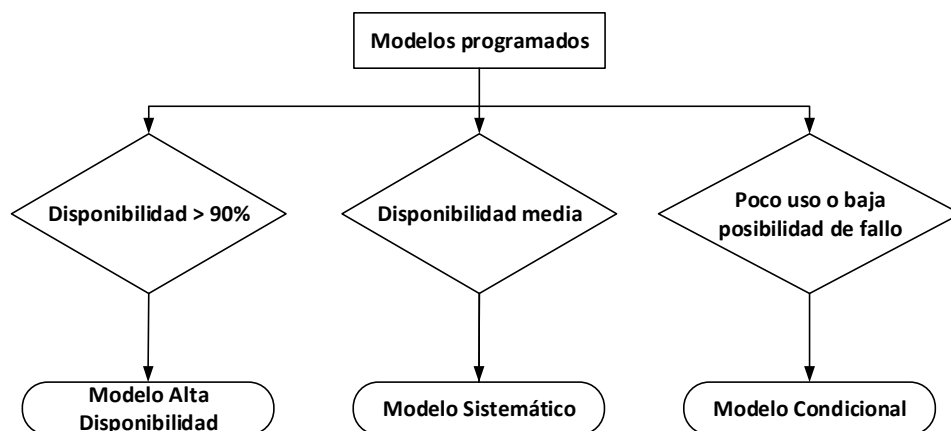


Figura19 Modelos programados.

Por último, hoy debemos valorar los aspectos complementarios relativos a normativas legales que sean de aplicación y a la necesidad de contratar tareas de mantenimiento a fabricantes o especialistas.

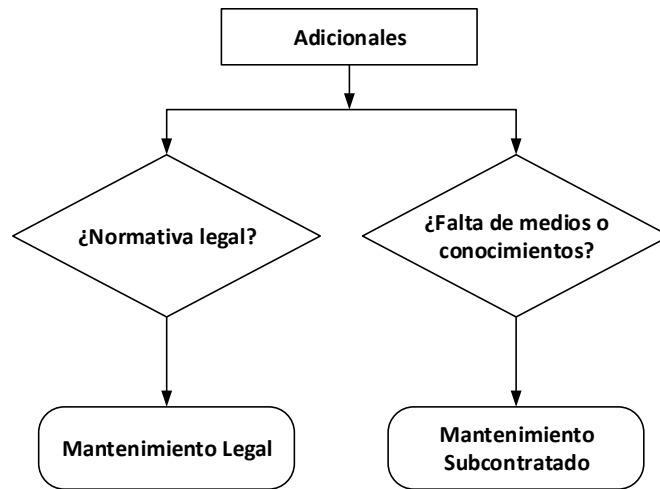


Figura20 Modelos adicionales.

Una vez decidido cuál de los cuatro modelos anteriores le corresponde a cada equipo, debemos identificar aquellos equipos sometidos a normativas reguladoras de la administración, que exige que se realicen determinadas tareas con una periodicidad definida. Junto al modelo correspondiente, añadiremos ese mantenimiento legal. Lo mismo sucederá con el mantenimiento subcontratado al fabricante: si identificamos equipos para los que no poseemos la información suficiente o los medios técnicos suficientes, añadiremos al modelo los subcontratos necesarios, que, como vimos, pueden suponer subcontratar el mantenimiento preventivo, el correctivo, un servicio de inspecciones periódicas o una puesta a cero.

En la figura de la página siguiente podemos encontrar el diagrama de flujo que refleja el proceso de decisión que hemos detallado.

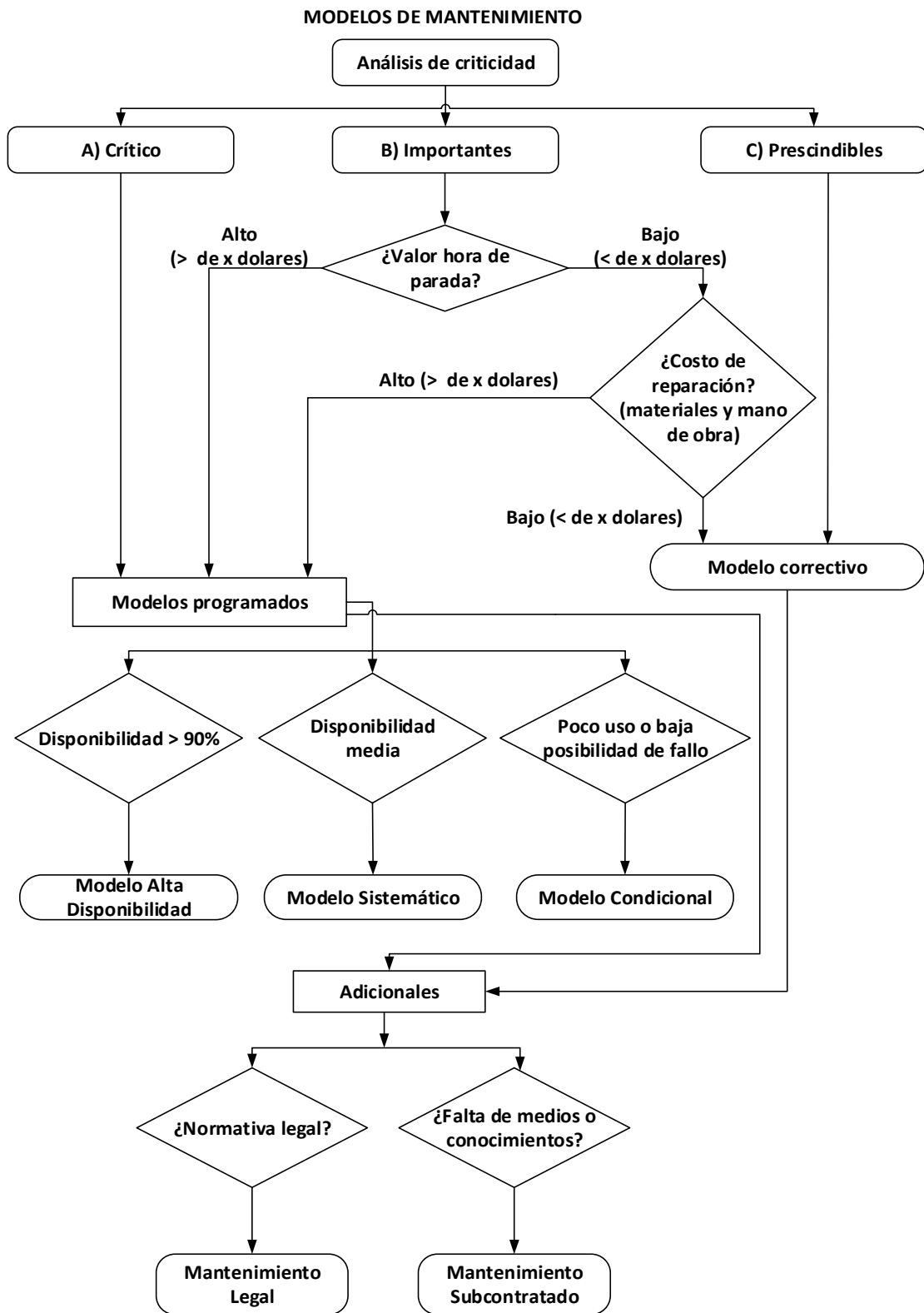


Figura21 Modelos de mantenimiento.

2.8 FICHA DE EQUIPO

Para poder llevar a cabo la selección del Modelo de Mantenimiento que más se adapte a cada equipo, debemos, en primer lugar, disponer de la lista de los equipos que componen la planta. Esta lista, como hemos visto, puede ser tan detallada como se quiera: cuánto más detallada sea, más válidas serán las conclusiones que obtengamos.

Una vez tengamos esa lista, es necesario elaborar una ficha para cada uno de los ítems que componen la planta. La ficha de Equipo debe contener los datos más sobresalientes que afecten al mantenimiento de cada uno de los equipos de la planta.

A la hora de elaborar estas fichas, deberemos comenzar por los equipos que intuimos más importantes, y después continuar con el resto hasta completar la totalidad de los equipos de la planta. Esto debe hacerse así porque los equipos más significativos nos supondrán generalmente poco tiempo y, en cambio, el total de los equipos nos supondrá mucho más. Si por alguna razón debemos paralizar el trabajo, es mejor dejar de hacer los equipos menos importantes, por razones obvias.

Este trabajo es, además, independiente de que haya o no un soporte informático en la empresa. Si tenemos un sistema de mantenimiento asistido por ordenador es recomendable igualmente realizar esta ficha en **soporte papel** o con la ayuda de una pequeña base de datos de fabricación propia, utilizando, por ejemplo el formato que se indica en las páginas siguientes. Una vez tengamos todas las fichas en **soporte papel**, la carpeta que contenga estas fichas se volverá la fuente de información a partir de la cual introduciremos datos en nuestro sistema informático. La razón de hacerlo en soporte papel es doble. En primer lugar, la recogida de datos y las decisiones a tomar son la parte más importante del trabajo, e introducirlo en el sistema informático es una actividad mecánica que puede hacer un administrativo o un grabador de datos. En segundo lugar, el sistema informático no tiene por qué tener campos para toda la información necesaria, y recopilando todos los datos en **soporte papel** aseguramos que la tenemos toda.

En la ficha del equipo a crear anotaremos los siguientes datos:

- Código del equipo y descripción
- Datos generales
- Características principales (especificaciones). Es importante recopilar la mayor cantidad de datos de cada equipo.
- Valores de referencia (temperaturas de funcionamiento, nivel de vibración en cada uno de los puntos, consumos de energía por fase, etc.).
- Análisis de criticidad del equipo. Es conveniente explicar, en esta ficha, por qué se le ha asignado un determinado nivel de criticidad a cada equipo. De esta forma, cualquier persona podrá consultarlo, y entender la razón de su clasificación. Es recomendable adjuntar el cuadro en el que se analiza la criticidad en esta ficha de equipo.
- Modelo de mantenimiento recomendable. Igual que en el caso anterior, es conveniente explicar por qué se ha llegado a esa conclusión, de manera que la ficha de equipo debería contener alguna forma de poder explicarla (un gráfico, un espacio para poder aportar una justificación, etc.).
- Si necesita de mantenimiento legal, y que normativas son las de aplicación.
- Si necesita de subcontratos a fabricantes, indicando el tipo de subcontrato que se propone (revisiones periódicas, correctivo, inspecciones).
- Repuestos críticos que deben permanecer en stock, pertenecientes a ese equipo.
- Repuestos que se prevé que necesitará ese equipo en un ciclo de cinco años.
- Consumibles necesarios (lubricantes, filtros, etc.) que necesita para funcionar, especificando sus características.
- Acciones formativas que se consideran necesarias para poder tener el conocimiento que se requiere para poder ocuparse del mantenimiento del equipo.

Realizando esta ficha de cada uno de los equipos que componen la planta, es fácil entender por qué, al realizar este trabajo, estamos recopilando datos muy importantes que nos ayudarán en otras labores, además de poder realizar el Plan de Mantenimiento:

- Tendremos algunos de los datos necesarios para poder calcular el presupuesto de mantenimiento. Podremos calcular los materiales necesarios, calcular el monto del inmovilizado en repuesto, los subcontratos que debemos firmar con fabricantes, etc.
- Podremos elaborar el Plan de Formación a partir de las necesidades de formación en cada uno de los equipos (nos faltará, para poder completar este plan, la formación genérica que consideremos necesaria).

Un ejemplo de esta Ficha de Equipo se encuentra en la figura de la página siguiente.

Tabla 8 Ficha de equipo.

EQUIPO:		CÓDIGO:
DATOS DEL EQUIPO		
PROVEEDOR:	AÑO:	Fotografía del equipo
DIRECCIÓN:		
TELÉFONOS:		
DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO:		
CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES:		

VALORES DE REFERENCIA:

ANÁLISIS DE CRITICIDAD **TIPO DE EQUIPO:**
ANÁLISIS DE LAS ZONAS/EQUIPOS

TIPO DE EQUIPO	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	PRODUCCIÓN	CALIDAD	MANTENIMIENTO
A CRITICO	Puede originar accidente muy grave.	Su parada afecta al plan de Producción.	Es clave para la calidad del producto.	Alto costo de reparación en caso de avería.
	Necesita revisiones periódicas frecuentes (mensuales).		Es el causante de un alto porcentaje de rechazos.	Averías muy frecuentes.
	Ha producido accidentes en el pasado.			Consumo una parte importante de los recursos de mantenimiento (mano de obra y/o materiales).
B IMPORTANTE	Necesita revisiones periódicas (Anuales).	Afecta a la producción, pero es recuperable (No llega a afectar a clientes o al plan de producción).	Afecta a la calidad, pero habitualmente no es problemático.	Presenta un costo medio en mantenimiento.
	Puede ocasionar accidente grave, pero las posibilidades son remotas.			
C PRESCINDIBLE	Poca influencia en seguridad.	Poca influencia en producción.	No afecta a la calidad.	Bajo costo de mantenimiento.

MODELO DE MANTENIMIENTO	
CORRECTIVO	
CONDICIONAL	
SISTÉMICO	
ALTA DISPONIBILIDAD	

¿MTO. LEGAL?	
SI	
NO	

SUBCONTRATOS NECESARIOS	
PREVENTIVOS	
CORRECTIVO	
INSPECCIONES	
OVERHAUL	

2.9 HOJA RESUMEN DE LOS EQUIPOS DE UNA PLANTA

Por último, puede ser conveniente elaborar una hoja-resumen con los equipos más significativos de la planta, en la que se registren los datos más importantes contenidos en las fichas de equipo. Esto nos permitirá manejar datos importantes de la planta de una forma más compacta, de manera que con un vistazo rápido a un documento que tiene muy pocas hojas podemos hacernos una idea completa de conjunto sobre la planta.

Los datos que deberían figurar en esa hoja-resumen, cuyo formato se propone en la página siguiente, serían los siguientes (se indican las abreviaturas empleadas en el formato):

- Código del equipo (CÓDIGO).
- Nombre del equipo (DESCRIPCIÓN).
- Nivel de criticidad (CRIT).
- Modelo de mantenimiento a aplicar. Los modelos serán los detallados anteriormente:
 - Fiabilidad (FIAB).
 - Sistemático (SIST).
 - Condicional (COND).
 - Correctivo (CORR).
 - Mantenimiento legal (añadido a los anteriores) (LEG). Indicar que inspecciones le corresponden.
 - Mantenimiento subcontratado al fabricante (SUB). (Indicar el tipo de subcontrato que se propone: preventivo, correctivo, inspecciones).
- Las acciones formativas (cursos, charlas, etc.) que se consideran necesarias para completar los conocimientos sobre la planta.
- Repuesto crítico (en caso de ser equipo crítico). Indicar las piezas que deben de permanecer en stock. (REPUESTO).
- Cualquier otra información de interés (OBSERVACIONES).

Tabla 9 Hoja de datos de mantenimiento.

Código	Descripción	MODELO DE MANTENIMIENTO						Formación necesaria	Repuestos críticos	Observaciones
		Fiable	Sistemático	Condicional	Correctivo	Legal	Sub-Contratado			

3. CALIDAD EN EL MANTENIMIENTO

3.1 ETAPAS DE IMPLANTACIÓN DEL TPM⁷

La medida estimada de implantación de la fase preparatoria del TPM, es de 3 a 6 meses y de 2 a 3 años para el inicio de la etapa de consolidación, considerando que sea hecha según los 12 pasos siguientes.

3.1.1 ETAPA INICIAL.

1ª ETAPA- COMPROMISO DE LA ALTA GERENCIA.

La alta administración tiene que estar comprometida y no solamente involucrada, este compromiso tiene que ser divulgado la información sobre la introducción del TPM y del compromiso de la dirección superior, debe ser brindada a todos los funcionarios, indicando las intenciones y expectativas con relación al método. Los informes emitidos por la dirección superior, informando sobre la decisión de implantación, deben ser comunicados durante reuniones, tanto del directorio como de las gerencias y divulgados por escrito a través de avisos. Para grandes organizaciones, deben ser seleccionados sectores (equipos pilotos) para el desarrollo del TPM. Es recomendable que para cumplir esta primera etapa, esta decisión sea formalmente divulgada a través de documentos que circulen en toda la empresa y sean de

⁷(ROJALER, 1993)

conocimiento de todos los empleados. Además de eso, el directorio debe estar consciente y seguro de cumplir las siguientes directrices, para obtener el éxito de etapa de implantación:

- Verificar personalmente el nivel de comprensión de los colaboradores, a través de visitas a las áreas.
- Verificar y velar por la correcta divulgación de los conceptos del TPM
- Incentivar los aspectos relativos a la planificación y ejecución
- Cuidar para que sean desarrolladas siempre, posturas positivas
- Brindar elogios por el esfuerzo del trabajo realizado
- Verificar y comentar los resultados presentados evitando extrapolaciones y conclusiones apresuradas
- Mostrarse interesado por los problemas y ofrecer ayuda a los grupos, si existiera interés
- Usar las criticas moderadamente, siempre para incentivar el trabajo
- Cuando se presenten preguntas, hablar abiertamente y francamente sobre los problemas, siempre con postura positiva, tratando de motivar el grupo en la búsqueda de soluciones.

2ª ETAPA – CAMPAÑA DE DIFUSIÓN DEL METODO

La meta del TPM, es la reestructuración de la cultura empresarial, a través del perfeccionamiento, tantos de los recursos humanos como de los equipos y de las instalaciones, así, deberá ser elaborado un programa de educación introductoria a todos los gerentes, supervisores y facilitadores en cursos y conferencias específicas, para que comprendan la metodología a través del establecimiento de un lenguaje común, orientado a sus propósitos. Los demás empleados, deberán ser capacitados a través de explicaciones de sus supervisores tras haber recibido capacitación.

El TPM, no funciona cuando se trata de colocarlo inmediatamente después de la decisión superior. Su implantación demanda la adecuada capacitación y educación previa. No solamente el personal de las áreas de proceso o servicio deberá ser capacitado, sino que todos, incluyendo las áreas de: desarrollo, compras, financiera, relaciones humanas, asuntos generales, etc. Para

poder cooperar y participar de las actividades pertinentes. Además de eso, se recomienda una campaña con carteles y otros medios de divulgación.

3ª ETAPA-DEFINICIÓN DEL COMITÉ DE COORDINACIÓN Y NOMBRAMIENTO DE LOS RESPONSABLES PARA LA GESTIÓN DEL PROGRAMA Y FORMACIÓN DE LOS GRUPOS DE TRABAJO.

En esta etapa, será establecido el comité de coordinación de implantación, de preferencia jefes de departamento que a su vez, nombrarán sus equipos de trabajo en cada área. Una de las características del TPM, son las actividades desarrolladas por los grupos de trabajo que actúan mutuamente. Estos grupos son liderados, en las respectivas etapas, por elementos que se destacan en las funciones de supervisión, como es normal, que el TPM demore entre 3 a 5 años que funcione efectivamente, deben ser designados, para los comités permanentes, elementos que asuman en tiempo integral, las responsabilidades de promoción de sus actividades.

Como el éxito del TPM depende enormemente de la selección, tanto del jefe del comité, como de los encargados de la implantación, estos deben ser seleccionados en el ámbito de las personas más correctas para desarrollar esas funciones.

4ª ETAPA-POLITICA BASICA Y METAS.

Promoción del TPM, como parte de una política y de una administración objetiva, esclareciendo su integración, a mediano y largo plazo, con las políticas de la empresa, así como la introducción de su meta en el objetivo comercial de la empresa. Previsión del tiempo necesario para la obtención del concepto de excelencia empresarial y definición de la meta primaria y secundaria, cualitativa y cuantitativa a ser obtenidas como porcentajes de reducción de fallas porcentajes de incremento de disponibilidad, porcentajes de aumento de productividad, etc. Estas metas deberán ser establecidas, tomando como referencia los valores actuales de los ítems que serán mejorados.

Establecer criterios de comparación, entre las referencias actuales y cuando se alcance el concepto de excelencia empresarial, para prever los progresos que serán obtenidos y la relación costo por beneficio consecuente de los mismos.

El concepto de excelencia empresarial u organizacional, no se constituye en la meta, pero si en el medio, para alcanzar el perfeccionamiento operacional deseado. Además el índice de rendimiento operacional global ya incluido, es conveniente se realice el cálculo y seguimiento de los índices de clase mundial.

5ª ETAPA-PLAN PILOTO.

Establecimiento del plan piloto, para el acompañamiento desde la preparación para la introducción del TPM hasta su implantación definitiva. Para posibilitar, la verificación de los progresos obtenidos y establecer parámetros actuales y comparar con el desarrollo, cambiando los esquemas si fuese necesario, como el TPM se destina, al perfeccionamiento de los recursos humanos y de los equipos e instalaciones, tanto sus objetivos iniciales como sus respectivos resultados, pueden llevar algún tiempo para ser alcanzados. El manual de implantación del TPM, debe ser preparado antes del inicio de cada etapa, de manera que los trabajadores que participan de las actividades, puedan comprender las maneras de ejecutar las actividades concretas.

Se deben efectuar reuniones mensuales de los coordinadores, para la verificación tanto del progreso como de la adecuación del desarrollo, antes de las reuniones de los coordinadores deben ser realizadas, con los mismos objetivos, las de los grupos de trabajo en el ámbito sectorial.

3.1.2 ETAPA DE IMPLANTACIÓN.

6ª ETAPA-INICIO DE LA IMPLANTACIÓN.

La implantación debe ocurrir después de la comunicación del desafío de reducir las seis grandes pérdidas. Debe ser planificado un evento para conmemorar la ocasión, con la participación de

todos los empleados y el pronunciamiento de los directores, con las palabras de estímulo para el éxito del programa, es recomendable obtener, con anticipación, la cooperación del sindicato de los empleados. Debe haberse concluido el proceso de educación introductoria al TPM, a todos los empleados antes del día del inicio de la implantación, la dirección superior deberá participar en la reunión de partida, reafirmando su declaración sobre la introducción del TPM. Debe ser programada una visita a todas las áreas con preguntas directas a los empleados, para verificar si comprendieron plenamente los objetivos a ser alcanzados a través del TPM.

7ª ETAPA-KOBETSU-KAIZEN PARA LA OBTENCIÓN DE LA EFICIENCIA EN LOS EQUIPOS E INSTALACIONES.

Kobetsu-Kaizen, es el levantamiento detallado de las necesidades de mejora de un equipo, efectuado por un grupo multidisciplinario, formado por ingenieros, gerentes de línea, mantenedores y operadores. El grupo debe seleccionar, como plan piloto, una línea de equipos donde se presente un cuello de botella, que genera pérdidas crónicas, en la cual pueda ser alcanzada la perfección a través de los esfuerzos continuos, dentro de un plan de tres meses.

Todos los componentes del grupo, deben ser estimulados a presentar sugerencias para mejorar el equipo en estudio.

Elegir como temas para análisis, algunas pérdidas que necesiten soluciones urgentes, que se puedan ser alcanzadas, a través de actividades dirigidas para la reducción de las seis grandes pérdidas.

Pueden ser utilizadas tarjetas coloridas, para identificar las áreas o criterios en que serán ejecutadas las acciones para la reducción de las perdidas. Por ejemplo, acciones de operación, color amarillo, acciones de mantenimiento, color verde, acciones de ingeniería o cambios en el proyecto.

8ª ETAPA – ESTABLECIMIENTO DEL JISHU-HOZEN, MANTENIMIENTO AUTONOMO.

El método de desarrollo del Jishu-Hozen, o sea, el control de sus propios equipos de forma permanente por cada operador, es desarrollado en siete pasos, uno cada vez pasando al

siguiente, solamente después de haber concluido el anterior, con el apoyo y evaluación de los gerentes. El primer paso se relaciona con el concepto de inspección de limpieza, el segundo paso son las medidas defensivas contra causas de suciedad y mejora del acceso a las áreas de difícil limpieza y lubricación. El tercer paso es formular los estándares de trabajo, se destina a la preparación de los criterios que deben ser observados por los operadores, el cuarto paso es una inspección general, se destina a la capacitación sobre cómo conducir una inspección de los componentes de los equipos, por ejemplo los filtros, lubricadores, reguladores, etc. De manera que los operadores sean habilitados para la ejecución de la inspección autónoma que sería el quinto paso a seguir. Para la inspección general, se recomienda seguir la rutina:

1. Listado de los ítems de inspección general
2. Preparación de materiales didácticos y elaboración del plan de capacitación y de inspección general.
3. Capacitación de los líderes
4. Capacitación en la transmisión de conocimientos a los operadores
5. Ejecución de lo que aprendió, detectando las irregularidades, inspección general
6. Implantación del control visual

Los puntos 1 y 2 son preparatorios para la inspección general, realizados por los ingenieros y encargados del mantenimiento. La capacitación de los líderes en el punto 3, es efectuado por los ingenieros, supervisores y técnicos de mantenimiento, con la utilización de textos sobre los aspectos básicos de los equipos, figura, modelos reales en corte, etc. Estudiando la estructura, la función, el ajuste adecuado, la utilización correcta del equipo, los puntos que necesitan atención desde el punto de vista estructural y los puntos importantes del control diario.

Como su nombre lo indica, la inspección visual en el punto 6, consiste en hacer comprender el contenido que le permita en un abrir y cerrar de ojos, de forma que se facilite la inspección y la detección de anomalías. El quinto paso, que es la inspección autónoma, tiene como objetivo que los operadores puedan, al ejecutar la inspección, detectar problemas y corregir pequeños daños en desarrollo. El sexto paso que es estandarizar, se destina al establecimiento y

mantenimiento de las condiciones de control de los elementos de campo, el séptimo paso, control totalmente autónomo, se destina a dar continuidad a las actividades Jishu-Hozen, aprovechando, al máximo, los conocimientos adquiridos a través de los pasos 1 a 6. Los pasos básicos 1 y 4 están asociados al perfeccionamiento de los recursos humanos y mejora de los equipos, cuando son rígidamente cumplidos y pacientemente mantenidos.

9ª ETAPA- EFICACIA DE LOS EQUIPOS POR LA INGENIERIA DE PRODUCCIÓN (OPERACIÓN MAS EL MANTENIMIENTO).

Implantación de la metodología en el equipo piloto, normalizando y transformando en rutina, todo aquello que fue suministrado en la etapa anterior. Desarrollo de productos fáciles de operar y mantener. Establecimiento de las condiciones para eliminar defectos de productos y facilitar los controles.

10ª ETAPA- ESTABLECIMIENTO DEL SISTEMA PARA LA OBTENCIÓN DE LA EFICIENCIA GLOBAL EN LAS ÁREAS DE ADMINISTRACIÓN.

Apoyo a la producción, incrementando la eficiencia tanto en el ámbito de las oficinas como de los equipos (office automation), desarrollo y aplicación del JIT, (just in time), análisis de criterios para reducir esperas (material, herramientas, traslados, dispositivos, transporte, etc).

11ª ETAPA- ESTABLECIMIENTO DEL SISTEMA, BUSCANDO LA PROMOCIÓN DE CONDICIONES IDEALES DE SEGURIDAD, HIGIENE Y AMBIENTE AGRADABLE DE TRABAJO.

Análisis e implantación de las Recomendaciones de Seguridad, implantación de estímulos de condiciones inseguras en el trabajo y de perjuicio al medio ambiente, meta a alcanzar son cero accidentes y cero poluciones.

3.1.3 ETAPA DE CONSOLIDACIÓN.

12ª ETAPA- APLICACIÓN PLEMA DEL TPM (AMPLIACIÓN A LOS DEMÁS EQUIPOS) E INCREMENTO DE LOS RESPECTIVOS NIVELES.

Definición de nuevas metas y desafíos, por medio de consultoría para la implantación de ajustes.

3.2 RESULTADOS PRÁCTICOS.

El estudio de causas primarias de problemas, que afectan la operatividad de las maquinas, lleva a la conclusión, que la ausencia de la higiene es preponderante. En consecuencia, es fundamental la concientización de todos, en lo concerniente a la importancia de la limpieza y de la organización de todas las áreas, para la reducción de los problemas, a través de su detección en estado embrionario, además de crear un ambiente que impide su desarrollo. Como recomendaciones para la aplicación del TPM se destacan:

- Elección de un área piloto
- Concientización de los grupos de supervisores, encargados y operadores
- Planificación estratégica para el complejo industrial
- Proceso educativo para supervisores en todos los niveles de gestión
- Capacitación de operadores en actividades básicas de mantenimiento, limpieza, lubricación, medición y pequeños ajustes.
- Monitoreo de los resultados.

3.3 OBSERVACIONES FINALES.

El objetivo del TPM, es hacer con las personas cambien sus ideas o comportamiento, implicando en una alteración de la cultura general de la empresa. Para conseguir esto, es indispensable que todos los empleados participen en todos los niveles y en especial, en los niveles superiores, el TPM es un tipo de administración participativa, que incluye a todos los trabajadores y enfatiza el respeto al ser humano.

Es necesario que los canales de comunicación de abajo para arriba, estén abiertos, para recibir opiniones, sugerencias y propuestas. Las actividades del TPM, deben ser implementadas por

pequeños grupos constituidos por el miembro de todos los departamentos, incluso los administrativos y de mantenimiento, o solamente por el personal de operación. En primer lugar, son los gerentes y supervisores que deben liderar, las actividades destinadas a la obtención de la eficiencia operacional de los equipos.

La implantación del Jishu hacen, mantenimiento autónomo realizado por el operador, requiere que los equipos, obras e instalaciones estén bajo control y en perfecto estado. El TPM, es implementado de arriba para abajo, en buscar los resultados, no solamente a través de los operadores, sino de toda la organización.

3.2 5s

Con el desarrollo del TPM se comprobó de forma fundamental que, además de la necesidades que cada uno de los componentes de la empresa, buscarse la limpieza y la organización, para la mejora de sus actividades y del ambiente laboral de un modo general; los atributos de orden, aseo y disciplina, también influían en la mejora de la productividad, complementado, de esta manera, el grupo de las 5s, son cinco palabras en japonés que empiezan con S y tienen los siguientes significado.

Seiri: Organización (utilización, selección), separar cosas necesarias de aquellas innecesarias, dando un destino para aquellas que dejaron de ser útiles para aquel ambiente.

Seiton: Orden (sistematización, arreglo), guardar las cosas necesarias de acuerdo con la facilidad de uso, considerando la frecuencia de utilización, el tipo y el peso del objeto, de acuerdo con una secuencia lógica ya practicada, o de fácil asimilación. Cuando se trata de ordenar las cosas, necesariamente el ambiente queda más arreglado, más agradable para el trabajo y por consecuencia, más productivo.

Seiso: Limpieza (inspección, celo), eliminar la suciedad, inspeccionando para descubrir y atacar las fuentes de problemas. La limpieza debe ser encarada, como una oportunidad de inspeccionar y de reconocimiento del ambiente. Para esto, es de fundamental importancia, que la limpieza sea hecha por el propio usuario del ambiente, o por el operador de la máquina o equipo.

Seiketsu: Aseo (estandarización, salud, perfeccionamiento), conservar la higiene, teniendo el cuidado para que las etapas de organización, orden y limpieza, ya alcanzados, no retrocedan. Esto es ejecutado a través de la estandarización de hábitos, normas y procedimientos.

Shitsuke: Disciplina (control de si mismo, educación), cumplir rigurosamente las normas y todo lo que sea establecido por el grupo. La disciplina es una señal de respeto al prójimo.

4 METODOLOGÍA Y ANTECEDENTES

Para realizar la investigación se dividió en etapas el proceso de implementación de la metodología RCM y Mantenimiento 3.0, de modo que sirva de guía para futuras aplicaciones en plantas similares o de distinta índole. En la primera visita se identificaron varios puntos en conjunto con la gerencia de mantenimiento y operaciones:

- La línea de producción es en parte continua y otra tipo batch. Se tienen equipos para producción tipo batch de los cuales se tiene demasiado desperdicio y continuas paradas y problemas de calidad, por ello se están concentrando esfuerzos en la línea continua de galletas.
- Prácticas de mantenimiento Correctivas – Preventivas. Las reparaciones obedecen a fallo repentinos sin programación, para ello no se tienen ciertos tiempos perdidos en la planta pero la documentación de los mismos depende más de la iniciativa del personal y no como un lineamiento de mantenimiento.
- Codificación de equipos no adecuada.
- Existe un GMAO, pero no tiene información actualizada. Debido a que no se tiene la información necesaria de los equipos es muy difícil administrar el sistema GMAO.
- No están definidas las criticidades en la línea, ya que no se lleva un control de la criticidad por medio de los impactos de los fallos a la producción, calidad, medio ambiente y seguridad industrial.
- Manuales de equipos no están accesibles para técnicos de operaciones ni mantenimiento.
- Iniciativas de gestión de mantenimiento quedan a nivel de jefaturas.

El objetivo principal de la investigación es dar respuesta a estas ineficiencias del sistema de gestión actual del mantenimiento, y para ello se desarrolla la metodología a continuación.

4.1 Formación de equipo de trabajo.

Durante la investigación se formó un equipo de trabajo conformado por los tres investigadores, Mantenimiento, es decir los Técnicos que prestan servicio a la planta, jefatura y gerencia de mantenimiento y operaciones, el equipo de operaciones se formó una vez decidido que sistema se tomaría como plan piloto de la investigación en la planta.

De acuerdo a las reuniones que se realizaron con mantenimiento, se identificó un punto importante donde se podría aplicar el método, La línea de galletas tipo Waffle o Gofrete. En planta se cuenta con dos tipos de líneas de elaboración de galletas la discontinua que hace waffles, se rellenan y luego se almacenan, y en línea distinta se corta y empaqueta el producto. La otra línea es una línea continua que hornea el Waffle, se limpia, se enfría, corta y empaqueta el producto.

Con estos insumos se discutió cual era la mayor necesidad de operaciones y mantenimiento, dando como resultado, la línea continua de galletas, ya que se proyecta hacer más eficiente la línea agregando más maquinaria similar a la recién instalada línea. Además el mantenimiento de estas máquinas por ser nuevas no tienen historiales ni frecuencias de actividades de mantenimiento muy bien definidas por los fabricantes, problema que a menudo ocurre con maquinaria comprada en otros continentes como el asiático y el europeo.

4.2 Equipo piloto.

Una vez determinada la línea a analizar, se definió bien el contexto de la máquina, es decir cómo se codificarían los equipos de planta generales y como se nombran cada sistema, equipo, parte y/o repuesto, de modo que tengamos control de cada componente y que función desempeña en el sistema, esto beneficia el momento de realizar programas de mantenimiento, auditorias de mantenimiento, facilita la generación de presupuestos, control de repuestos críticos, existencias en bodegas entre otros.

Para el caso se tomó a la línea de galletas perteneciente a la planta “Soyapango” del área de “Galleta” y el equipo “Horno”. La taxonomía del equipo se muestra en la figura, cabe recalcar que el equipo horno no es el único equipo de la línea como ya se mencionó anteriormente se tomó una decisión de cuál de los equipos de la línea de galleta es el más crítico, en aspectos de Seguridad ocupacional, productividad, medio ambiente, calidad de producto, mantenibilidad. La evaluación es cualitativa, para no utilizar herramientas estadísticas ni de conteo que impidan a técnicos u operadores a realizar los análisis, de este modo el personal no se ve intimidado por análisis engorrosos si no que de la misma experiencia en su trabajo el investigador o implementador indaga cuales son los impactos de los equipos en los aspectos antes mencionados.

Tabla 10 Matriz de decisión de equipo piloto

Descripción	Seguridad	Productividad	Medio ambiente	Calidad	Mantenibilidad	Recuento
Horno	X	X	X	X	X	5
Enfriador de waffles	X			X		2
Preparadora de crema		X		X		2
Aplicadora de crema		X		X		2
Tanque de crema		X		X		2
Recicladora de crema		X		X		2
Cooler de Waffles		X				1
Cortadora		X				1
Empacadora		X				1

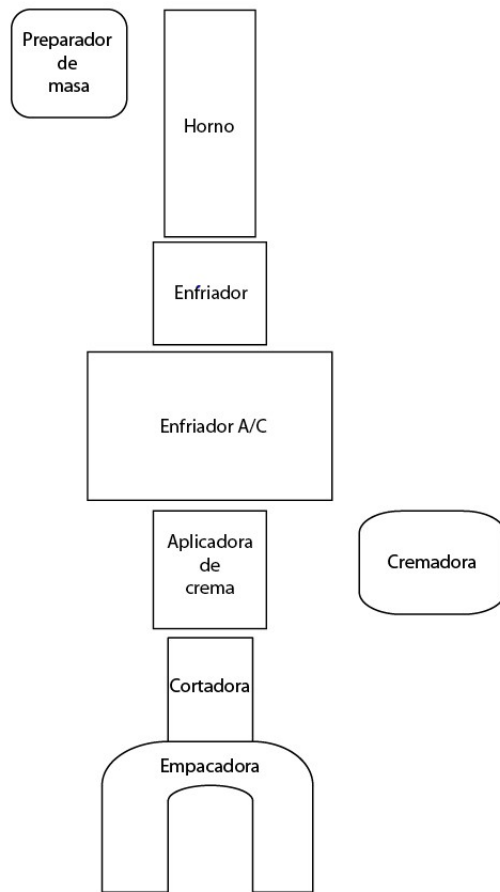


Figura 22 Vista de planta de Línea de producción

Tabla 11 Taxonomía del horno de galleta.

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6
Planta	Area	Equipos	Sistema	Elemento	Componente
Soyapango	Galleta	Horno	Gas	Tanque	Valvula de seguridad
					Manometro
				Linea de gas	Filtro
					Manometro
					Flujometro
			Inyector		
			Transmision	Moto-reductor	Rodamientos
					Sellos
					Motor
				Eje motriz	Engranés
					Sprockets
			Eje tensor	Eje	
				Rodamiento	
			Molde y tenaza	Planchas	Eje
					Plancha superior
					Plancha inferior
				Tenaza	Rodamientos
					Pines de calibracion
			Masa	Deposito de masa	bisagra
					Rodo
				Bomba de masa	Sensor de nivel
					Tubo de masa
			Limpieza de tripa	Eje expulsor	Motor
					Reductor
					Eje
				Eje de limpieza	Chumacera
					Estrella
Cepillo					
Chumacera					
Panel de control	PLC	Fajas de hule			
		Eje			
		HMI			
		Sensor temperatura			
		Encoder			

4.3 Definición de contexto operacional.

La ventaja de RCM es que las fallas no se adjudican solamente a quiebras en las maquinas, o fallas en los componentes. Un equipo falla cuando deja de cumplir con la función para la cual fue diseñado, es decir podemos tener un equipo funcionando al 100 % de eficiencia y otro a 85%, al simple ojo de un operador o técnicos de mantenimiento ambos equipos están trabajando y no están en falla. Pero este pensamiento es peligroso y trae consigo la ineficiencia y baja de productividad en las líneas de producción, ya que el equipo que está a un 85% no cumple con su función, ya sea por bajar velocidad de producción, mayor productos no conformes y/o constantes calibraciones o ajustes. Es por eso que una maquina debe tener bien definida su función y lo que se espera de ella en la línea de producción, además establecer los límites de tolerancia donde el desempeño de la maquina es aceptable y dentro del rango de diseño. Para el caso de la línea de galleta y el horno de waffles se especifica la función y sus límites de operación. Para la definición del contexto operacional del equipo es necesario tomar en cuenta algunos puntos, se debe especificar la función principal del equipo en la línea de producción, resumir con un verbo el trabajo del equipo para no perder el enfoque de la función al momento de redactar el contexto operacional del mismo, definir que variables y que limites están dentro de lo permitido para que el equipo realice la función para la que fue diseñado. Para el caso del horno se presenta la tabla donde se muestra el proceso de definición del contexto operacional del equipo. Posterior a esto se redacta el conjunto de elementos para dar una mejor definición del contexto operacional del equipo.⁸

Tabla 12 Construcción de contexto operacional

Horno a Gas LP	
Función primaria	Hacer obleas para galleta
Verbo	Hornear
Objeto	Molde y tenaza
Estándar de funcionamiento real	30 g (+/- 3 g) de masa
	a una temperatura de 110 °C (+/- 5°C)
	con una velocidad de 2.2 Min (+/- 0.3 Min) por molde

⁸(PARRA MÁRQUEZ, 2012)

Hornear en el molde y tenaza en condiciones normales de operación 30 g (+/- 3g) de masa a una temperatura de 110 °C (+/- 5°C) con una velocidad de 2.2 Min (+/- 0.3 Min) por molde.

Figura 23 Redacción del contexto operacional.

4.3.1 Análisis AMFE (Análisis de los modos y efectos de fallas).

El RCM define el modo de falla como la causa física (evidente por el operador o el técnico de mantenimiento) de cada falla funcional. En otras palabras el modo de falla es el que genere la pérdida de función total o parcial de un activo en su contexto operacional (cada falla funcional puede tener más de un modo de falla). Para el ejemplo del horno su contexto operacional es:

“Hornear en el molde y tenaza en condiciones normales de operación 30 g (+/- 3g) de masa a una temperatura de 110 °C (+/- 5°C) con una velocidad de 2.2 Min (+/- 0.3 Min) por molde.”

Para el horno de galletas las fallas funcionales son siete y se toman de la definición del contexto operacional del equipo como se detalla a continuación.

Tabla 13 Fallas funcionales de horno.

Falla funcional	
1A	No ser capaz de hornear galleta (Paro Total)
1B	Hornear galleta con menos de 27 g de masa
1C	Hornear galleta con mas de 33 g de masa
1D	Hornear galleta a menos de 105° C
1E	Hornear galleta a mas de 115°C
1F	Hornear galleta a menos de 1.9 minutos por molde
1G	Hornear galleta a mas de 2.5 minutos por molde

El mantenimiento debe enfocarse a cada modo de falla y es importante que se enfoquen los análisis en que causa las fallas y no en quien las pueda ocasionar. Para la elaboración de los modos de falla es necesario pensar en los puntos más sensibles en los sistemas como: puntos donde hay mucha suciedad o contaminación de algún tipo, corrosión, erosión, abrasión, lubricación inadecuada, ensamble incorrecto de alguna pieza o repuesto, operación incorrecta, materiales incorrectos. Además existe literatura (de alto costo) que permite tener listas generales de modos de fallas para maquinas comunes, es bueno apoyarse en los registros históricos y bitácoras de los equipos, así como del personal que opera y mantienen el equipo, de todos ellos podemos reconstruir una lista de modos de falla robusta que cumpla con las fallas más evidentes de los equipos.

Tabla 14 Falla funcional y modos de falla.

	Falla funcional		Modo de falla
1A	No ser capaz de hornear galleta (Paro Total)	1	Falla suministro eléctrico
		2	Falla suministro de gas
		3	Falla motor eléctrico
		4	Apriete en cadena motriz
		5	Objeto atrapado entre molde
1B	Hornear galleta con menos de 27 g de masa	1	Aplicador obstruido
		2	Frecuencia de variador
1C	Hornear galleta con más de 33 g de masa	1	Aplicador con fuga
		2	Frecuencia de variador
1D	Hornear galleta a menos de 105° C	1	Falla control temperatura
		2	Suministro de gas inadecuado
1E	Hornear galleta a más de 115°C	1	Falla control temperatura
		2	Suministro de gas inadecuado
1F	Hornear galleta a menos de 1.9 minutos por molde	1	Falla encoder
		2	Frecuencia de variador
1G	Hornear galleta a más de 2.5 minutos por molde	1	Falla enconder
		2	Frecuencia de variador

4.3.2 Modos de falla de horno

Luego de enumerar los modos de falla es necesario utilizar un diagrama de decisión que permita elegir las actividades de mantenimiento tomado en cuenta si las fallas son evidentes al operario, si la falla afecta al medio ambiente/seguridad ocupacional y si afecta las operaciones es decir la calidad del producto. Con el diagrama mostrado a continuación se facilita la labor de decisión para establecer el análisis AMFE del horno de galletas.

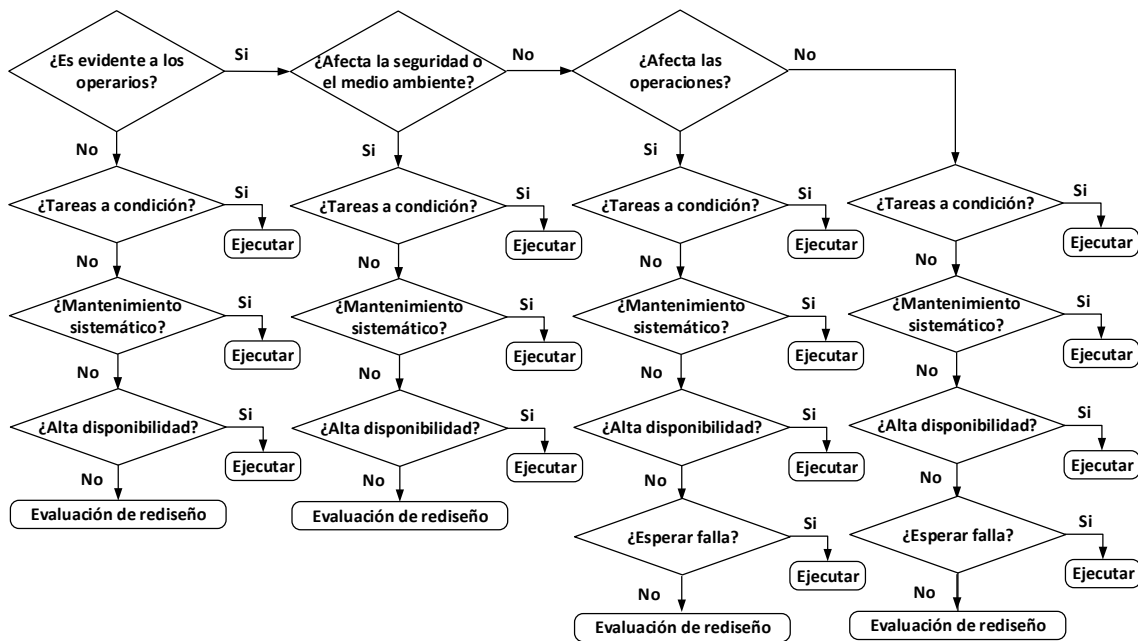


Figura 24 Diagrama de decisión⁹.

⁹(PARRA MÁRQUEZ, 2012)

Tabla 15 Tabla AMFE 1

	Falla funcional		Modo de falla	Efectos y consecuencias	Actividad de mantenimiento	Accion de mantenimiento	Frecuencia
1A	No ser capaz de hornear galleta (Paro Total)	1	Falla suministro electrico	La falla es no evidente, no tiene impacto sobre la seguridad ni el medioambiente. La maquina no responde a la señal de arranque, no se activan los motores. Mantenimiento: Electricista revisa contactores y fuerza en panel de control, utiliza Clamp y multitester. La falla impide producir galletas.	Tareas a condición	Reparación de avería: Electricista revisa contactores y fuerza en panel de control, utiliza Clamp y multitester	Cada evento
		2	Falla suministro de gas	La falla es no evidente, si tiene impacto sobre la seguridad no impacta el medio ambiente. La maquina esta energizada, las temperaturas de termocupla están a temperatura ambiente o temperatura de Horno. Mantenimiento: Mecánico revisa sistema de suministro de gas, poner énfasis en filtros, válvulas de flujo, de corte y anti retorno obstruidas. Sondear las presiones a lo largo del sistema, si existe diferencia en las lecturas en la misma línea, hay una obstrucción. (verificar ventilación de área de trabajo por posible fuga de gas).La falla impide producir galletas.	Tareas a condición	Reparación de avería: Mecánico revisa sistema de suministro de gas, poner énfasis en filtros, válvulas de flujo, de corte y anti retorno obstruidas. Sondear las presiones a lo largo del sistema, si existe diferencia en las lecturas en la misma línea, hay una obstrucción	Cada evento
		3	Falla motor electrico	La falla es evidente, si tiene impacto a la seguridad, no tiene impacto al medio ambiente. El motor no gira, hay suministro eléctrico en panel de control, las temperaturas del motor pueden haber quemado el embobinado, o el sistema de ventilación del mismo pudo haber fallado, falla en rodamientos. Mantenimiento: Mecánico, revisar vibraciones y temperatura de rodamientos, verificar la tendencia de estas lecturas en la ultima semana. Electricista realizar prueba de aislamiento en motor, inspeccionar con mecánico ventilador de motor. La falla impide producir galletas.	Tareas a condición	Mantenimiento condicional: Mecánico, revisar vibraciones y temperatura de rodamientos, verificar la tendencia de estas lecturas en la ultima semana. Electricista realizar prueba de aislamiento en motor, inspeccionar con mecánico ventilador de motor.	Semanal
		4	Apriete en cadena motriz	La falla es evidente, si tiene impacto a la seguridad, no tiene impacto al medio ambiente. El motor intenta girar y la cadena se trata de estirar, no hay movimiento de los moldes. Mantenimiento: Mecánico, revisar los rodamientos de los rodos y engrasar, inspeccionar el desgaste de rieles y rodos. Electricista, des energizar sistema motriz para evitar accidente en inspección. La falla impide producir galletas.	Tareas a condición	Mantenimiento: Mecánico, revisar los rodamientos de los rodos y engrasar, inspeccionar el desgaste de rieles y rodos. Electricista, des energizar sistema motriz para evitar accidente en inspección.	Mensual
		5	Objeto atrapado entre molde	La falla es evidente, no tiene impacto a la seguridad, no tiene impacto en el medio ambiente. El molde queda abierto y es imposible que avance, la falla se localiza después de retirada la oblea de galleta, donde se encuentran instalados los aplicadores de masa. Mantenimiento: Mecánico desatora objeto en molde, y revisa la integridad del molde y los rieles, realizar ajuste de planchas según manual del fabricante. Electricista des energiza sistemas para evitar accionamientos en equipo. La falla impide producir galletas.	Tareas a condición	Mecánico desatora objeto en molde, y revisa la integridad del molde y los rieles, realizar ajuste de planchas según manual del fabricante. Electricista des energiza sistemas para evitar accionamientos en equipo. La falla impide producir galletas.	Cada evento

Tabla 16 Tabla AMFE 2

	Falla funcional		Modo de falla	Efectos y consecuencias	Actividad de mantenimiento	Acción de mantenimiento	Frecuencia
1B	Hornear galleta con menos de 27 g de masa	1	Aplicador obstruido	La falla es evidente, no tiene impacto en la seguridad ni en el medio ambiente. La masa no es aplicada en cantidad requerida, posible obstrucción en aplicador de masa, obstrucción en tubería de suministro, obstrucción en válvula de suministro de masa. Mantenimiento: revisar y limpiar el aplicador de masa, revisar estado de válvula de suministro, verificar el nivel de masa en el contenedor para aplicación. Esta falla afecta a la calidad del producto, las obleas no se llenan completamente de masa y no se logra el parámetro establecido.	Tareas a condición	revisar y limpiar el aplicador de masa, revisar estado de válvula de suministro, verificar el nivel de masa en el contenedor para aplicación	Cada turno
		2	Frecuencia de variador	La falla no es evidente, no tiene impacto en la seguridad y en el medio ambiente, la masa no es aplicada en la cantidad requerida, por ausencia del control de la frecuencia del motor de la bomba, set point de frecuencia no es el recomendado por el fabricante. Mantenimiento: Electricista revisa el set point del variador lo corrige, revisa si la señal de control del variador esta controlando el motor de la bomba. Esta falla afecta la calidad del producto, las obleas no se llenan completamente de masa y no se logra el parámetro establecido.	Mantenimiento Sistemático	Electricista revisa el set point del variador lo corrige, revisa si la señal de control del variador esta controlando el motor de la bomba.	Cada 6 meses.
1C	Hornear galleta con mas de 33 g de masa	1	Aplicador con fuga	La falla es evidente, no tiene impacto en la seguridad ni en el medio ambiente. La masa no es aplicada en cantidad requerida, posible fuga en aplicador de masa, fuga en tubería de suministro, fuga en válvula de suministro de masa. Mantenimiento: revisar y limpiar el aplicador de masa sellar si es necesario, revisar estado de válvula de suministro, verificar el nivel de masa en el contenedor para aplicación. Esta falla afecta a la calidad del producto, las obleas se llenan con demasiada masa y no se logra el parámetro establecido, la oblea puede quedar bien en su cocimiento pero se genera demasiada tripa.	Tareas a condición	revisar y limpiar el aplicador de masa sellar si es necesario, revisar estado de válvula de suministro, verificar el nivel de masa en el contenedor para aplicación.	Cada semana.
		2	Frecuencia de variador	La falla no es evidente, no tiene impacto en la seguridad y en el medio ambiente, la masa no es aplicada en la cantidad requerida, por ausencia del control de la frecuencia del motor de la bomba, set point de frecuencia no es el recomendado por el fabricante. Mantenimiento: Electricista revisa el set point del variador lo corrige, revisa si la señal de control del variador esta controlando el motor de la bomba. Esta falla afecta la calidad del producto, las obleas no se llenan completamente de masa y no se logra el parámetro establecido, la oblea puede quedar bien en su cocimiento pero se genera demasiada tripa.	Mantenimiento Sistemático	Electricista revisa el set point del variador lo corrige, revisa si la señal de control del variador esta controlando el motor de la bomba	Cada 6 meses.

Tabla 17 Tabla AMFE 3

	Falla funcional		Modo de falla	Efectos y consecuencias	Actividad de mantenimiento	Acción de mantenimiento	Frecuencia
1D	Hornear galleta a menos de 105° C	1	Falla control temperatura	La falla es evidente, no tiene impacto en la seguridad y en el medio ambiente, la temperatura es monitoreada por el PLC la masa no se cuece a la temperatura requerida, la termocupla puede estar sucia o dañada , set point de temperatura no es el recomendado por el fabricante. Mantenimiento: Electricista revisa el set point del PLC lo corrige, revisa si la señal del la termocupla es la correcta, revisa que la termocupla no este sucia ni obstruida por algún material extraño. Esta falla afecta la calidad del producto, las obleas no se cocinan completamente y no se logra el parámetro establecido.	Mantenimiento Sistemático	Electricista revisa el set point del PLC lo corrige, revisa si la señal del la termocupla es la correcta, revisa que la termocupla no este sucia ni obstruida por algún material extraño.	Cada 3 meses.
		2	Suministro de gas inadecuado	La falla es evidente, si tiene impacto en la seguridad y en el medio ambiente, la temperatura es monitoreada por el PLC la masa no se cuece a la temperatura requerida, las boquillas pueden estar sucias o dañadas, válvulas, tuberías y filtros dañados, suministro de gas por debajo del nivel. Mantenimiento: Mecánico revisa el sistema de suministro de gas, se hace limpieza de quemadores y boquillas. Esta falla afecta la calidad del producto, las obleas no se cocinan completamente y no se logra el parámetro establecido.	Mantenimiento Sistemático	Mecánico revisa el sistema de suministro de gas, se hace limpieza de quemadores y boquillas.	Cada 3 meses.
1E	Hornear galleta a mas de 115°C	1	Falla control temperatura	La falla es evidente, no tiene impacto en la seguridad y en el medio ambiente, la temperatura es monitoreada por el PLC la masa no se cuece a la temperatura requerida, la termocupla puede estar sucia o dañada , set point de temperatura no es el recomendado por el fabricante. Mantenimiento: Electricista revisa el set point del PLC lo corrige, revisa si la señal del la termocupla es la correcta, revisa que la termocupla no este sucia ni obstruida por algún material extraño. Esta falla afecta la calidad del producto, las obleas se cocinan demasiado y no se logra el parámetro establecido.	Mantenimiento Sistemático	Electricista revisa el set point del PLC lo corrige, revisa si la señal del la termocupla es la correcta, revisa que la termocupla no este sucia ni obstruida por algún material extraño	Cada 3 meses.
		2	Suministro de gas inadecuado	La falla es evidente, si tiene impacto en la seguridad y en el medio ambiente, la temperatura es monitoreada por el PLC la masa no se cuece a la temperatura requerida, las boquillas pueden estar dañadas, válvulas, tuberías y filtros dañados, suministro de gas por arriba del flujo requerido. Mantenimiento: Mecánico revisa el sistema de suministro de gas, se hace inspección de quemadores y boquillas, se revisan las presiones del sistema. Esta falla afecta la calidad del producto, las obleas se cocinan demasiado y no se logra el parámetro establecido.	Mantenimiento Sistemático	Mecánico revisa el sistema de suministro de gas, se hace inspección de quemadores y boquillas, se revisan las presiones del sistema.	Cada 3 meses.

Tabla 18 Tabla AMFE 4

	Falla funcional		Modo de falla	Efectos y consecuencias	Actividad de mantenimiento	Acción de mantenimiento	Frecuencia
1F	Hornear galleta a menos de 1.9 minutos por molde	1	Falla encoder	La falla es evidente, no tiene impacto en la seguridad ni en el medio ambiente. La masa es aplicada en cantidad requerida, posible deterioro de encoder que controla el giro del eje motriz del tren de planchas. Mantenimiento: Electricista revisar y limpiar el encoder en caso de fallo reemplazar , revisar estado de líneas de control hacia el PLC. Esta falla afecta la calidad del producto, las obleas se cocinan demasiado y no se logra el parámetro establecido.	Mantenimiento Sistemático	Electricista revisar y limpiar el encoder en caso de fallo reemplazar , revisar estado de líneas de control hacia el PLC	Cada 3 meses.
		2	Frecuencia de variador	La falla no es evidente, no tiene impacto en la seguridad y en el medio ambiente, la masa es aplicada en la cantidad requerida, por ausencia del control de la frecuencia del motor del tren de planchas, set point de frecuencia no es el recomendado por el fabricante. Mantenimiento: Electricista revisa el set point del variador lo corrige, revisa si la señal de control del variador esta controlando el motor de la bomba. Esta falla afecta la calidad del producto, las obleas se cuecen demasiado y no se logra el parámetro establecido.	Mantenimiento Sistemático	Electricista revisa el set point del variador lo corrige, revisa si la señal de control del variador esta controlando el motor de la bomba	Cada 6 meses.
1G	Hornear galleta a mas de 2.5 minutos por molde	1	Falla encoder	La falla es evidente, no tiene impacto en la seguridad ni en el medio ambiente. La masa es aplicada en cantidad requerida, posible deterioro de encoder que controla el giro del eje motriz del tren de planchas. Mantenimiento: Electricista revisar y limpiar el encoder en caso de fallo reemplazar , revisar estado de líneas de control hacia el PLC. Esta falla afecta la calidad del producto, las obleas no se cuecen bien y no se logra el parámetro establecido.	Mantenimiento Sistemático	Electricista revisar y limpiar el encoder en caso de fallo reemplazar, revisar estado de líneas de control hacia el PLC.	Cada 3 meses.
		2	Frecuencia de variador	La falla no es evidente, no tiene impacto en la seguridad y en el medio ambiente, la masa es aplicada en la cantidad requerida, por ausencia del control de la frecuencia del motor del tren de planchas, set point de frecuencia no es el recomendado por el fabricante. Mantenimiento: Electricista revisa el set point del variador lo corrige, revisa si la señal de control del variador esta controlando el motor de la bomba. Esta falla afecta la calidad del producto, las obleas no se cocinan bien y no se logra el parámetro establecido.	Mantenimiento Sistemático	Electricista revisa el set point del variador lo corrige, revisa si la señal de control del variador esta controlando el motor de la bomba.	Cada 6 meses.

4.4 Aplicación AMFE a cremadora.

La cremadora es un equipo de criticidad secundaria según la tabla de criticidad cualitativa que se muestra en la tabla 10.

Tabla 19 Construcción de contexto operacional

Horno	
Funcion primaria	Inyectar crema a waffle para galleta
Verbo	Inyectar
Objeto	Aplicadora de crema
Estandar de funcionamiento real	33 g / seg (+/- 3 g / seg) de crema

Tabla 20 Redacción del contexto operacional.

"Inyectar en condiciones normales de operación 33 g/seg (+/- 3g) de crema por waffle"

Tabla 21 Fallas funcionales de cremadora

Falla funcional	
1A	No ser capaz de inyectar crema (Paro Total)
1B	Inyectar crema con menos de 33 g/seg
1C	Inyectar crema con más de 33 g/seg

Tabla 22 Falla funcional y modo de falla

	Falla funcional		Modo de falla
1A	No ser capaz de inyectar crema (Paro Total)	1	Falla suministro eléctrico
		2	Falla motor eléctrico
1B	Inyectar crema con menos de 33 g/seg	1	Aplicador obstruido
		2	Frecuencia de variador
1C	Inyectar crema con más de 33 g/seg	1	Aplicador con fuga
		2	Frecuencia de variador

Tabla 23 AMFE cremadora.

Falla funcional	Modo de falla	Efectos y consecuencias	Actividad de mantenimiento	Accion de mantenimiento	Frecuencia
1A No ser capaz de inyectar crema(Paro Total)	1 Falla suministro eléctrico	La falla es no evidente, no tiene impacto sobre la seguridad ni el medioambiente. La maquina no responde a la señal de arranque, no se activan los motores. Mantenimiento: Electricista revisa contactores y fuerza en panel de control, utiliza Clamp y multiterster. La falla impide producir galletas.	Tareas a condición	Reparación de avería: Electricista revisa contactores y fuerza en panel de control, utiliza Clamp y multiterster	Cada evento
	2 Falla en motor eléctrico	La falla es evidente, si tiene impacto a la seguridad, no tiene impacto al medio ambiente. El motor no gira, hay suministro eléctrico en panel de control, las temperaturas del motor pueden haber quemado el embobinado, o el sistema de ventilación del mismo pudo haber fallado, falla en rodamientos. Mantenimiento: Mecánico, revisar vibraciones y temperatura de rodamientos, verificar la tendencia de estas lecturas en la ultima semana. Electricista realizar prueba de aislamiento en motor, inspeccionar con mecánico ventilador de motor. La falla impide producir galletas.	Tareas a condición	Mantenimiento condicional: Mecánico, revisar vibraciones y temperatura de rodamientos, verificar la tendencia de estas lecturas en la ultima semana. Electricista realizar prueba de aislamiento en motor, inspeccionar con mecánico ventilador de motor.	Semanal
	3 Obstrucción en sistema	La falla es evidente, no tiene impacto en la seguridad y en el medio ambiente, la crema no es aplicada, los sistemas eléctricos ya han sido revisados por el electricista. Revisar sistema de aplicación, obstrucción en aplicadores o tubería de sistemas, revisar con mecánico las tuberías, válvulas y aplicadores, hacer limpieza mecánica de la tubería y revisar integridad de los materiales.	Mantenimiento Sistemático	Mantenimiento sistemático, mecánico desmonta y limpia mecánicamente la tubería con crema, para liberar sistema, revisar bloqueo en válvulas o accionamientos dañados, limpieza e inspección de aplicadores de crema.	semanal o cada que se cambie de tipo de sabor de crema.

Tabla 24 AMFE cremadora 2

1B	Inyectar crema con menos de 33 g/seg	1	Aplicador obstruido	La falla es evidente, no tiene impacto en la seguridad ni en el medio ambiente. La masa no es aplicada en cantidad requerida, posible obstrucción en aplicador de crema, obstrucción en tubería de suministro, obstrucción en válvula de suministro de crema. Mantenimiento: revisar y limpiar el aplicador de crema, revisar estado de válvula de suministro, verificar el nivel de crema en el contenedor para aplicación. Esta falla afecta a la calidad del producto, las obleas no se llenan completamente de crema y no se logra el parámetro establecido.	Tareas a condición	revisar y limpiar el aplicador de crema, revisar estado de válvula de suministro, verificar el nivel de crema en el contenedor para aplicación	Cada turno
		2	Frecuencia de variador	La falla no es evidente, no tiene impacto en la seguridad y en el medio ambiente, la crema no es aplicada en la cantidad requerida, por ausencia del control de la frecuencia del motor de la bomba, set point de frecuencia no es el recomendado por el fabricante. Mantenimiento: Electricista revisa el set point del variador lo corrige, revisa si la señal de control del variador esta controlando el motor de la bomba. Esta falla afecta la calidad del producto, las obleas no se llenan completamente de crema y no se logra el parámetro establecido.	Mantenimiento Sistemático	Electricista revisa el set point del variador lo corrige, revisa si la señal de control del variador esta controlando el motor de la bomba.	Cada 6 meses.
1C	Inyectar crema con más de 33 g/seg	1	Aplicador con fuga	La falla es evidente, no tiene impacto en la seguridad ni en el medio ambiente. La crema no es aplicada en cantidad requerida, posible fuga en aplicador de crema, fuga en tubería de suministro, fuga en válvula de suministro de crema. Mantenimiento: revisar y limpiar el aplicador de crema sellar si es necesario, revisar estado de válvula de suministro, verificar el nivel de crema en el contenedor para aplicación. Esta falla afecta a la calidad del producto, las obleas se llenan con demasiada crema y no se logra el parámetro establecido, la oblea puede quedar bien rellena pero se genera demasiado desperdicio.	Mantenimiento Sistemático	Revisar y limpiar el aplicador de masa sellar si es necesario, revisar estado de válvula de suministro, verificar el nivel de masa en el contenedor para aplicación.	Cada semana.
		2	Frecuencia de variador	La falla no es evidente, no tiene impacto en la seguridad y en el medio ambiente, la masa no es aplicada en la cantidad requerida, por ausencia del control de la frecuencia del motor de la bomba, set point de frecuencia no es el recomendado por el fabricante. Mantenimiento: Electricista revisa el set point del variador lo corrige, revisa si la señal de control del variador esta controlando el motor de la bomba. Esta falla afecta la calidad del producto, las obleas no se llenan completamente de masa y no se logra el parámetro establecido, la oblea puede quedar bien en su cocimiento pero se genera demasiada tripa.	Mantenimiento Sistemático	Electricista revisa el set point del variador lo corrige, revisa si la señal de control del variador esta controlando el motor de la bomba	Cada 6 meses.

4.5 INDICADORES¹⁰

Decíamos al principio que un sistema de procesamiento es aquel que convierte los datos en información útil para tomar decisiones. Para conocer la marcha del departamento de mantenimiento, decidir si debemos realizar cambios o determinar algún aspecto concreto, debemos definir una serie de parámetros que nos permitirán evaluar los resultados que se están obteniendo en el área de mantenimiento. Es decir; a partir de una serie de datos, nuestro sistema de procesamiento debe devolvernos una información, una serie de indicadores en los que nos basaremos para tomar decisiones sobre la evolución del mantenimiento.

Una de las cosas que debemos definir es, pues, cuáles serán esos indicadores. Hay que tener cuidado en la elección, pues corremos el riesgo de utilizar como tales una serie de números que no nos aportan ninguna información útil. Corremos el riesgo de tomar datos, procesarlos y obtener a cambio otros datos.

Imaginemos el caso de elegir la disponibilidad de equipos como un indicador. Si listamos todas las paradas de cada uno de los equipos de la planta, la fecha y hora en que han ocurrido y su duración, la lista resultante serán datos, pues tal y como se nos presenta no podemos tomar decisiones basándonos en ella.

Si ahora procesamos esta lista, sumando los tiempos de paradas de cada equipo y calculando el tiempo que han estado en disposición de producir, obtenemos una lista con la disponibilidad de cada equipo. En una planta industrial con, por ejemplo 500 equipos, esta lista contendrá de nuevo datos, no información. Como mucho, contendrá algo de información mezclada con muchos datos.

Si en esta lista agrupamos los equipos por líneas, áreas, zonas, etc., y procesamos los datos de manera que obtengamos la disponibilidad de una de las líneas, áreas o zonas en su conjunto, el nuevo listado ahora sí contendrá información. Esta información nos permitirá, tras un análisis más o menos rápido, tomar decisiones acertadas sobre las actuaciones más usuales

¹⁰(GALVAN TREJO, 2014) (ROJALER, 1993) (PARRA MÁRQUEZ, 2012)

que se emplean en un departamento de mantenimiento. Insistimos en el hecho de que no todos son necesarios: entre todos ellos habrá que elegir aquellos que sean realmente útiles, aquellos que aporten información, para evitar convertirnos en una larga lista de datos.

Cuando se dispone de un sistema asistido por un ordenador, el cálculo de estos indicadores suele ser bastante más rápido. Debemos tener la precaución de automatizar su cálculo, generando un informe que los contenga todos. Una ventaja adicional es que una vez automatizado, podemos generar informes con la periodicidad que queramos, con un esfuerzo mínimo.

En caso de que el sistema de información sea el soporte papel, para el cálculo de estos indicadores es conveniente desarrollar pequeñas aplicaciones (una hoja de cálculo puede ser suficiente) para obtener estos índices. En este caso hay que seleccionar mucho más cuidadosamente los indicadores, pues es más costoso calcularlos. Además, la frecuencia con que los obtengamos deberá ser menor.

Es importante tener en cuenta que no solo es valioso conocer el valor de un indicador o índice, sino también su evolución. Por ello, en el documento en el que exponamos los valores obtenidos en cada uno de los índices que se elijan deberíamos reflejar su evolución, mostrando junto al valor actual los valores de periodos anteriores (meses o años anteriores) para conocer si la situación mejora o empeora. También es importante fijar un objetivo para cada uno de estos índices, de manera que la persona que lea el documento donde se exponen los valores alcanzados en el periodo que se analiza comprenda fácilmente si el resultado obtenido es bueno o malo. En resumen, junto al valor del índice, deberían figurar dos informaciones más:

- ✓ Valor de índices en periodos anteriores.
- ✓ Objetivo marcado

4.5.1 Índices de Disponibilidad

Disponibilidad total

Es uno de los índices más importantes de la planta. Es el cociente de dividir el nº de horas que un equipo ha estado disponible para producir y el nº de horas totales de un periodo:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Horas totales} - \text{horas parada por mantenimiento}}{\text{Horas totales}}$$

En plantas que estén dispuestas por líneas de producción en las que la parada de una máquina supone la paralización de toda la línea, es interesante calcular la disponibilidad de cada una de las líneas, y después calcular la media aritmética.

En plantas en las que los equipos no estén dispuesto por líneas, es interesante definir una serie de equipos significativos, pues es seguro que calcular la disponibilidad de absolutamente todos los equipos será largo, laborioso y no nos aportará ninguna información valiosa. Del total de equipos de la planta, debemos seleccionar aquellos que tengan alguna entidad o importancia dentro del sistema productivo.

Una vez obtenida la disponibilidad de cada uno de los equipos significativos, debe calcularse la media aritmética, para obtener la disponibilidad total de la planta.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\Sigma \text{Disponibilidad de equipos significativos}}{N^{\circ} \text{ de equipos significativos}}$$

Disponibilidad por averías

Es el mismo índice anterior pero teniendo en cuenta tan solo las paradas por averías, las intervenciones no programadas

$$\text{Disponibilidad por avería} = \frac{\text{Horas totales} - \text{horas de paradas por averías}}{\text{Horas totales}}$$

La disponibilidad por avería no tiene en cuenta, pues, las paradas programadas de los equipos.

Igual que en el caso anterior, es conveniente calcular la media aritmética de la disponibilidad por avería para poder ofrecer un dato único.

MTBF (MID TIME BETWEEN FAILURE, TIEMPO MEDIO ENTRE FALLOS)

Nos permite conocer la frecuencia con que suceden las averías:

$$MTBF = \frac{\text{N}^\circ \text{ de horas totales del periodo de tiempo analizado}}{\text{N}^\circ \text{ de averías}}$$

MTTR (MID TIME TO REPAIR, TIEMPO MEDIO DE REPARACIÓN)

Nos permite conocer la importancia de las averías que se producen en un equipo considerando el tiempo medio hasta su solución:

$$MTTR = \frac{\text{N}^\circ \text{ de horas de paro por averías}}{\text{N}^\circ \text{ de averías}}$$

Por simple cálculo matemático es sencillo deducir que:

$$\text{Disponibilidad por avería} = \frac{MTBF - MTTR}{MTBF}$$

4.5.2 Indicadores de Gestión de Ordenes de Trabajo

Es discutible si el número de Órdenes de Trabajo es un indicador muy fiable sobre la carga de trabajo en un periodo, ya que cien órdenes de trabajo de una hora pueden agruparse en una sola orden de trabajo con un concepto más amplio. No obstante, dada la sencillez con que se obtiene este dato, suele ser un indicador muy usado. La información que facilita este indicador es más representativa cuanto mayor sea la cantidad media de O.T que genera la planta. Así, es fácil que en una planta que genera menos de cien O.T de mantenimiento mensuales la validez de este indicador sea menor que una planta que genera mil O.T.

Además, es posible estimar el rendimiento de la plantilla de mantenimiento a partir del número de Órdenes de Trabajo.

Nº de Órdenes de Trabajo Acabadas

Suele ser útil conocer cuál es el número de Órdenes de Trabajo acabadas, sobre todo en relación al número de órdenes generadas. Es muy importante, como siempre, seguir la evolución en el tiempo de este indicador.

Nº de Órdenes de Trabajo Pendientes

Este indicador nos da una idea de la eficacia en la resolución de problemas. Es conveniente distinguir entre las O.T que están pendientes por causas ajenas a mantenimiento (pendientes por la recepción de un repuesto, pendiente porque producción no da su autorización para intervenir en el equipo, etc.) de las debidas a la acumulación de tareas o a la mala organización de mantenimiento.

Por ello, es conveniente dividir este indicador en otros tres:

- ✓ Pendientes de repuestos
- ✓ Pendientes de parada de un equipo
- ✓ Pendientes por otra causa

Nº de Órdenes de Trabajo de Emergencia (prioridad máxima)

Una referencia muy importante del estado de la planta es el número de O.T de emergencia que se han generado en un periodo determinado. Si ha habido pocas o ninguna, tendremos la seguridad de que el estado de la planta es fiable. Si, por el contrario, las órdenes de prioridad máxima que se generan son muchas, se podrá pensar que el estado de la planta es malo. Como siempre, es igualmente importante observar la evolución de este indicador respecto a periodos anteriores.

Horas estimadas de trabajo pendiente

Es la suma de las horas estimadas en cada uno de los trabajos pendientes de realización. Es un parámetro más importante que el n° de órdenes pendientes, pues nos permite conocer la carga de trabajo estimada por realizar.

Índice de cumplimiento de la planificación

Es la proporción de órdenes que se acabaron en la fecha programada o con anterioridad, sobre el total de órdenes totales. Mide el grado de acierto de la planificación.

$$\text{Índice de cumplimiento de la planificación} = \frac{\text{N° de O.T acabadas en la fecha planificada}}{\text{N° de órdenes totales}}$$

4.5.3 Índices de proporción de tipo de mantenimiento

Índice de mantenimiento programado

Porcentaje de horas invertidas en realización de mantenimiento programado sobre horas totales.

$$IMC = \frac{\text{Horas dedicadas a mantenimiento programado}}{\text{Horas totales dedicadas a mantenimiento}}$$

Índice de correctivo

Porcentajes de horas invertidas en realización de mantenimiento correctivo sobre horas totales.

$$IMC = \frac{\text{Horas dedicadas a mantenimiento correctivo}}{\text{Horas totales dedicadas a mantenimiento}}$$

Índice de emergencias

Porcentaje de horas invertidas en realización de O.T. de prioridad máxima.

$$IME = \frac{\text{Horas O.T. prioridad máxima}}{\text{Horas totales de mantenimiento}}$$

4.6 Gestión en la prevención de los riesgos laborales

Las responsabilidades que atribuye la ley de prevención de riesgos laborales, al responsable de mantenimiento son importantes; junto con sus propios mandos, es el responsable de velar por la seguridad de los trabajadores a su cargo, de garantizar la ausencia de accidentes.

Según la ley de prevención de riesgos laborales, lo primero que hay que intentar es evitar los riesgos, y si no se puede conseguir, evaluar los riesgos que no se puedan evitar y tomar las medidas necesarias para minimizar esos riesgos. Es preciso analizar los accidentes de trabajo y buscar sus causas, evitando explicarlos por la misma suerte, la casualidad, o achacarlos exclusivamente a la falta de cuidado del operario. Es necesario combatir los riesgos en su origen. Será también necesario descubrir los riesgos de contraer enfermedades, teniendo en cuenta los contaminantes existentes, su concentración, intensidad y exposición a los mismos.

Además de estos daños, la salud de los trabajadores puede ver agredida como consecuencia de la carga de trabajo, física, mental, y en general, de los factores psicosociales y organizativos capaces de generar fatiga, estrés, insatisfacción laboral, etc.

Todos estos factores deben ser estudiados y tenidos en cuenta, con el objetivo de conseguir puestos de trabajos seguros y saludables, buscando el bienestar de los trabajadores. Según la OMS, se define Salud como el estado de bienestar físico, mental y social completo.

La gestión de la prevención se asienta en seis factores claves:

1. *El compromiso de la Dirección.* La dirección de la empresa ha de dejar clara su voluntad y sus objetivos en cuanto a la seguridad y debe definir funciones y responsabilidades dentro de la organización.

2. *Diagnóstico de situación, evaluación de riesgos y control periódico.* La empresa debe de asegurar que se analizan y evalúan los riesgos asociados al trabajo, y que la seguridad se audita periódicamente para comprobar el cumplimiento de las directivas marcadas.
3. *La planificación preventiva.* La empresa debe fijarse objetivos en materia de seguridad, debe aportar los medios para alcanzarlos y debe controlar los resultados periódicamente.
4. *La organización preventiva.* Debe contarse con un servicio de prevención, ya sea interno o externo. Deben formarse además los Comités de Seguridad y Salud, y designarse los delegados de prevención.
5. *La recogida y el tratamiento de la información.* Debe asegurarse la recogida de toda la información que genera el programa de prevención, y debe de asegurarse de que esa información llega a todos los interesados.
6. *La formación e información.* Deben desarrollarse todas las acciones formativas e informativas para la aplicación del programa preventivo.

Por último, es necesario aclarar que la intención de este parte del trabajo de investigación no es realizar un estudio pormenorizado sobre la seguridad en los departamentos de Mantenimiento. Existen multitud de libros que tratan el tema en profundidad, y con un nivel de detalle que escapa a los fines de este documento. En esta parte principalmente se pretende tan solo dar una idea a los responsables de Mantenimiento sobre sus implicaciones en el área de seguridad, y la forma de gestionar esta área.

4.6.1 Riesgos laborales en mantenimiento

Se define *riesgo laboral* como la posibilidad de que un trabajador sufra un determinado daño derivado del trabajo. La actividad de mantenimiento conlleva mayor riesgo que otras actividades en el mundo de la empresa.

En casi todas las actividades, los riesgos inherentes suelen estar perfectamente identificados. Curiosamente, la lista de riesgos en cualquier actividad no va más allá de 40. En

Mantenimiento se pueden agrupar en 27 categorías. A continuación, se incluye una lista con algunas categorías y una breve descripción de cada una de ellas.

4.6.1.1 Caída de personas a distinto nivel

Incluye tanto las caídas desde alturas (edificios, andamios, árboles, máquinas, vehículos, etc.) como en profundidad (puentes, excavaciones, aperturas, en el suelo, etc.).

Ejemplo: caída desde un andamio, caída desde una escalera, caída a una zanja.

Prevención:

- Colocar barandillas, alambreras, rejas, etc., hasta una altura suficiente.
- Señalizar las zanjas de manera eficaz.
- Utilizar únicamente escaleras en perfecto estado.
- Utilizar escaleras de la manera correcta.
- Mover las escaleras o andamios cuantas veces haga falta para trabajar con comodidad.
- Asegurarse de que se dispone de la iluminación adecuada.
- No trabajar en altura si se tiene problemas con la altura (vértigo, etc.) o si uno no se siente bien.
- No hacer movimientos bruscos o arriesgados.

Equipo de protección personal: Arnés de seguridad

4.6.1.2 Caída de personas al mismo nivel

Incluye caídas en lugares de paso o superficies de trabajo y caídas sobre o contra objetos.

Ejemplo: tropiezo con un objeto caído en el suelo.

Prevención:

- La limpieza y el orden son los mejores mecanismos de prevención.

4.6.1.3 Caída de objetos por desplome

Comprende las caídas de edificios, muros andamios, escaleras, pilas de productos, etc., y de masas de tierra, rocas y aludes.

Ejemplo: derrumbe de estructura.

Prevención:

- No realizar trabajos en edificios y estructuras que ofrezcan duda sobre su estabilidad, ni siquiera cerca de ellas.

Equipo de protección personal: casco.

4.6.1.4 Caída de objetos por manipulación

Comprende las caídas de herramientas y materiales sobre un trabajador, siempre que el objeto haya caído sobre la misma persona que lo estaba manipulando.

Ejemplo: caída de un objeto en el pie del operario que estaba realizando un trabajo con ese objeto.

Prevención:

- Orden y limpieza de los bancos de trabajos.
- Trabajar sin más prisa de la necesaria, a la velocidad que la manipulación de los objetos pueda realizarse con perfecto control de sus movimientos.
- Trabajar con los guantes adecuados para cada trabajo, y trabajar sin ellos cuando exista riesgo de no poder sujetar bien los objetos.

Equipos de protección personal: botas de seguridad, casco.

4.6.1.5 Caída de objetos desprendidos

Comprende las caídas de herramientas y materiales sobre un trabajador, siempre que éste no los estuviera manipulando.

Ejemplo: caída de herramienta que se ha dejado olvidado en la parte superior de una máquina.

Prevención:

- Orden y limpieza de las zonas de trabajo.
- Señalización de las zonas de trabajo.
- Aseguramiento de todos los elementos que pueden desprenderse por vibraciones o por la acción del viento.
- Reapriete periódico de tornillos y pernos en partes de equipos que puedan desprenderse.
- Vigilancia periódica de los elementos de sujeción.
- No trabajar debajo de zonas en las que se estén efectuando otros trabajos.

Equipos de protección personal: casco, ropa de trabajo, botas de seguridad.

4.6.1.6 Pisadas sobre objetos

Incluyen los accidentes que dan lugar a lesiones como consecuencia de pisadas sobre objetos cortantes o punzantes.

Ejemplo: pisada sobre una tabla con clavos.

Prevención:

- Orden y limpieza de las zonas de trabajo.
- Asegurarse de que se trabaja con iluminación suficiente.

Equipo de protección personal: botas de seguridad.

4.6.1.7 Golpes contra objetos inmóviles

Considera al trabajador como parte dinámica, es decir; que interviene de forma directa y activa, golpeándose contra un objeto que no estaba en movimiento.

Ejemplo: golpe en la cabeza con una viga.

Prevención:

- Orden de la zona de trabajo.
- Colocar siempre las mismas cosas en los mismos lugares, marcando el suelo, incluso.
- Proteger los salientes de estructuras o máquinas de manera que nadie pueda golpearse.
- Señalizar adecuadamente los salientes que no se puedan proteger.
- Asegurarse de que se trabaja con la iluminación suficiente.

Equipos de protección personal: casco, gafas de seguridad, ropa de trabajo, botas de seguridad.

4.6.1.8 Golpes y contactos contra objetos móviles de una máquina

El trabajador sufre golpes, cortes o rasguños ocasionados por elementos móviles de máquinas o instalaciones. No se incluyen los atrapamientos.

Ejemplo: corte en una mano con una sierra circular.

Medidas preventivas:

- Cumplir las normativas existentes en referencia a la protección de las partes móviles de máquinas, para evitar el contacto directo.
- Aislar los equipos de las fuentes de energía (eléctrica, neumática, hidráulica, etc.) antes de manipular sobre ellos, evitando su puesta en marcha accidental mediante candados de llaves única, palancas, etiquetas identificativas, etc.
- No retirar nunca las seguridades de las máquinas.
- Cuando sea necesario retirar una seguridad para poder observar una máquina o efectuar una reparación, trabajar con sumo cuidado.

Equipos de protección personal: casco, guantes.

4.6.1.9 Golpes y corte por objetos o herramientas

El trabajador es lesionado por objetos o herramientas que se mueven por fuerzas diferentes a la gravedad. Se incluyen martillazos, golpes contra otras herramientas u objetos. No se incluyen los golpes por caídas de objetos.

Ejemplo: martillazo en una mano, al clavar un clavo.

Medidas preventivas:

- No utilizar herramienta en mal estado, no utilizar herramienta para fines para los que no está diseñada.

Equipos de protección personal: casco, guantes, botas de seguridad.

4.6.1.10 proyección de fragmentos de partículas

Comprende los accidentes debidos a la proyección sobre el trabajador de partículas o fragmentos voladores procedentes de máquinas o herramientas.

Ejemplo: restos de viruta metálicas en los ojos, provenientes de una radial.

Medidas preventivas:

- Todas las personas que estén efectuando trabajos con herramientas de corte o con soldadura, o las personas que estén cercanas a ellas, deben llevar gafas de seguridad. Situarse a una distancia adecuada de equipos y elementos que se prevea puedan proyectar otros objetos.

Equipos de protección personal: gafas de seguridad, casco.

4.6.1.11 Sobreesfuerzos

Accidentes originados por utilización de cargas o movimientos mal realizados.

Ejemplos: lumbalgias provocadas por levantamientos de cargas de manera inadecuada.

Medidas preventivas:

- Formar al personal en el manejo de cargas. En algunos casos puede ser conveniente realizar ejercicios de calentamiento antes de iniciar la jornada.

4.6.1.12 Exposición a temperaturas extremas

Accidentes causados por alteraciones fisiológicas al encontrarse los trabajadores en un ambiente excesivamente frío o caliente.

Ejemplo: mareos provocados por una bajada de tensión, al trabajar en una nave que supera los 45° Celsius de temperatura.

Medidas preventivas:

- Relevar continuamente a trabajadores que deban trabajar en ambientes muy calientes. Acondicionar térmicamente los lugares de trabajo.

4.6.1.13 Contactos térmicos

Accidentes por contacto de cualquier parte del cuerpo con objetos que se encuentran a temperaturas extremas.

Ejemplo: quemaduras al tocar un tubo a una temperatura superior a 60° Celsius.

Medidas preventivas:

- Aislar todos los puntos calientes que estén al alcance de la mano. Señalizar adecuadamente todos los puntos calientes que no puedan ser aislados. Aislar y enfriar determinados equipos antes de trabajar con ellos.

Equipos de protección personal: guantes, gafas de seguridad.

4.6.1.14 Contactos eléctricos directos

Es el contacto de personas con partes activas (fase o neutro) de una instalación, o con partes de la misma que normalmente están bajo tensión.

Ejemplo: tocar con la mano una fase al desembornar un motor.

Medidas preventivas:

- Antes de intervenir en los equipos, deben estar aislados de toda fuente de tensión, y puestos a tierra. Los cuadros o interruptores que ponen en marcha los equipos deben estar bloqueados con candado de llave única, que debe guardar el operario que está trabajando. El operario que va a intervenir debe de comprobar personalmente la ausencia de tensión.

Equipos de protección personal: guantes dieléctricos, herramientas aisladas, botas dieléctricas.

Equipos de protección colectivos: interruptores diferenciales, puestas a tierra.

4.6.1.15 Contactos eléctricos indirectos

Es el contacto eléctrico con masas puestas accidentalmente bajo tensión, que en condiciones normales de funcionamiento están sin tensión.

Ejemplo: contacto eléctrico con la carcasa de una máquina, que accidentalmente estaba en contacto con una fase en tensión.

Medidas preventivas:

- Las máquinas deben estar conectadas a la tensión eléctrica a través de interruptores diferenciales. Realizar trabajos de mantenimiento siempre en equipos sin tensión, tal y como se detalla en el punto anterior. Comprobar periódicamente el aislamiento de los equipos y la puesta a tierra. Mantener apropiadamente los equipos.

Equipos de protección personal: guantes dieléctricos, herramientas aisladas.

4.6.1.16 Contactos con sustancias causticas y/o corrosivas

Accidentes por contactos con sustancias y productos de esa naturaleza dan lugar a lesiones externas.

Ejemplo: quemaduras provocadas por contacto con ácido sulfúrico.

Medidas preventivas:

- Todo el personal que trabaja con productos químicos debe recibir formación específica sobre su manejo, sus riesgos y forma de actuación en caso de contacto accidental.

Equipo de protección personal: guantes, pantallas faciales, gafas de seguridad, ropa de trabajo.

4.6.1.17 Explosiones

Acciones que dan lugar a lesiones causadas por la onda expansiva o sus efectos secundarios.

Ejemplo: lesiones causadas por la explosión de una estación reguladora de gas.

Medidas preventivas:

- Los trabajos que se realicen en depósitos de combustibles y materiales susceptibles de detonaciones, deflagraciones, etc. Deberán contar con permisos especiales de trabajos, en los que personal de seguridad específico compruebe las condiciones de trabajo y adopte las medidas necesarias.

4.6.1.18 Incendios

Accidentes producidos por los efectos del fuego o sus consecuencias.

Ejemplo: asfixia al apagar un incendio en la planta. Quemaduras como consecuencia de un incendio.

Medidas preventivas:

- Seguir estrictamente la normativa específica en materia de incendios. Mantener adecuadamente los equipos de protección contra incendios. Redactar y aplicar un Plan de Emergencia.

En la línea de galletas algunas de las categorías de riesgos laborales expuestas anteriormente se presentan en la operatividad y en el mantenimiento, como ejemplo el contacto térmico en el horno, el contacto eléctrico directo e indirecto, lo cual ha permitido identificar los riesgos con mayor frecuencia en producción y mantenimiento, tomándose la tarea de desarrollar un plan de análisis de riesgos en cada uno de los puestos de trabajos así como también la implementación de proporcionar los equipos de protección personal y medidas preventivas que corresponde de acuerdo al resultado del análisis.

4.7 Gestión de mantenimiento asistido por ordenador (GMAO).

Algunas de las grandes empresas en el país se están informatizando con sus archivos técnicos, de manera que a través de la red informática de la empresa puedan obtener copias de planos, información técnica de los equipos, etc. Suele conllevar una gran inversión de acuerdo a los recursos necesarios en la posible necesidad que exista.

En la implementación de un sistema de gestión de mantenimiento con la herramienta de un software, es necesario contar con la aprobación de la gerencia general e informar de la planificación, la metodología a utilizar y los indicadores de avance que se implementaran para revisar de forma periódica los avances en el proceso de implantación, esta tarea debe de estar a cargo de un líder del mantenimiento con la competencia necesaria para desarrollarla y con un equipo de trabajo que demuestre la confiabilidad humana en el desarrollo, es decir; que posea una probabilidad alta del desempeño eficiente y eficaz de todas las personas del equipo de trabajo en todo el proceso de la implantación del sistema, teniendo el cuidado de no cometer errores o fallas derivados del conocimiento y del actuar humano durante el desempeño.

Es recomendable que la extensión de la gestión del mantenimiento en la línea de galletas hacia otras líneas de la empresa se realice a través de un sistema de Gestión de Mantenimiento Asistido por Ordenador (GMAO), por lo que veremos a continuación la propuesta de algunas consideraciones que se debe de tener en cuenta en la gestión del mantenimiento asistido por un ordenador.

Ventajas y desventajas de un sistema informático

La tendencia general de los departamentos de mantenimiento de las industrias es hacia la informatización. Esta informatización, no obstante, presenta ventajas e inconvenientes que hacen que sea necesario analizar cuando es interesante esta informatización y cuando la herramienta informática se convierte en un obstáculo que hace más lento el proceso y encarece la función del mantenimiento.

Entre las ventajas más sobresalientes de un sistema informático cabría mencionar las siguientes:

- Control sobre la actividad de mantenimiento.
- Control sobre el gasto.
- Facilidad para la consulta de históricos.
- Facilidad para la obtención de ratios e indicadores.

Entre los inconvenientes, estarían:

- Alta inversión inicial, tanto en equipos como en programas y en mano de obra para la implantación.
- Burocratización del sistema.
- En algunos casos, aumento del personal indirecto dedicado a tareas improductivas.
- La información facilitada a menudo no es suficiente fiable.

Justificación de la necesidad

Algo que se olvida a menudo cuando se estudia la implantación de un programa informático de gestión de mantenimiento es que este programa no se ocupa del mantenimiento de la empresa, no mantiene la empresa ni desde el punto de vista correctivo ni desde el punto de vista preventivo. El sistema informático es tan solo una herramienta, que en algunos casos puede convertirse más en un obstáculo que una ayuda. Como todo sistema de gestión de información, su función es exclusivamente tratar los datos que introducimos para convertirlos en información útil que fortalezcan a la toma de las decisiones. Por tanto, es necesario definir cuando el sistema informático supondrá una mejora para el departamento, y cuando, en cambio, se convertirá en una pesada carga.

Como norma general, podemos decir que aquellos entornos que manejan poco personal, pocas órdenes de trabajo y un número reducido de equipos no es necesario informatizarlos. La razón es que se manejan pocos datos, y no es necesario tener un sistema poderoso para tratarla y obtener a cambio información. Es más sencillo manejarse con soporte papel y con archivos formados por carpetas. Como mucho, será interesante desarrollar pequeñas aplicaciones con

una hoja de cálculo o una base de datos, que se pueda crear con conocimientos informáticos a nivel de usuario.

De manera cuantitativa, podemos decir que una empresa con un equipo de mantenimiento inferior a 10 personas, difícilmente las ventajas superan a las desventajas de la informatización.

Con un equipo superior a 25 personas, la informatización realizada de la manera adecuada traería beneficios indudables a la empresa. En el margen comprendido entre 10 y 25 personas cada paso particular tendrá una respuesta diferente. Hay que tener en cuenta en estos casos, el número de equipos que posee la planta, la información de deseamos obtener y la cantidad de datos que generan.

Objetivos que se pretenden con la informatización

Recordemos que cuando se adquiere un Sistema de Gestión de Mantenimiento Asistido por Ordenador estamos comprando un programa vacío que tendremos que personalizar. Debemos decirle, por ejemplo, que equipos tenemos, como queremos funcionar para la apertura y cierre de ordenes de trabajo, que mantenimiento programado queremos realizar en la planta, como queremos hacer la gestión de almacenes de repuestos, gestión de compras, etc. Es muy normal iniciar el proceso de implantación sin tener una idea clara de lo que se quiere, sin tener experiencia en este tipo de trabajo, y comenzar a introducir datos en el ordenador que después será muy difícil cambiar.

Para que el proceso de implantación sea el correcto y obtengamos el máximo partido de nuestro sistema es conveniente definir en primer lugar qué objetivos queremos alcanzar, definir de manera precisa qué es lo que queremos conseguir en la implantación.

Los objetivos principales que debemos marcarnos son los siguientes:

1. Ahorrar dinero.
2. Poder disponer de información de manera rápida que nos ayude a tomar decisiones.

Ahorrar capital

Ya que el primer objetivo de toda empresa es ganar dinero, y el segundo es ganar cada día más, cualquier nueva actividad que emprendamos debe suponer, o bien un ahorro en los costos o bien un aumento en los ingresos. Por tanto, el nuevo software debe proporcionarnos, a corto-mediano plazo, un ahorro en los costos (puesto que el aumento en los ingresos no parece que se pueda conseguir por esta vía). Por ejemplo, debe suponer una disminución del personal indirecto, un ahorro en el consumo de repuestos al saber en todo momento lo que tenemos (evitando así comprar materiales que tenemos en stock), aumento de la disponibilidad de los equipos, facilidad para localizar el repuesto que tenemos en stock, posibilidad de incorporar un fichero con diagnóstico de averías que nos permita localizar rápidamente un problema, etc.

Para conseguir ahorrar dinero, debemos considerar lo siguiente:

- No aumentar la carga de trabajo indirecto no productivo.
- Conseguir un sistema ágil para abrir y cerrar órdenes de trabajo.
- Conocer en todo momento el stock de materiales que disponemos.
- Poder agilizar al máximo la reparación de un equipo (disminuyendo el tiempo de intervención al disponer inmediatamente del procedimiento de trabajo y de un diagnóstico de averías)
- Generar la menor cantidad posible de papel. El soporte papel tiene el inconveniente de que cuesta dinero (hojas, tinta de impresora, carpetas,) y necesita ser archivados (estanterías, mano de obra indirecta para manejar el archivo).

Poder disponer de información de manera rápida

El segundo gran objetivo que podemos marcarnos es el de disponer de información de manera rápida y sencilla que nos permita una más acertada toma de decisiones. Es muy importante definir qué información es valiosa, qué informaciones debemos tener disponibles.

Una lista de las informaciones que debe proporcionarnos el sistema informático puede ser la siguiente:

- Medida de los diferentes indicadores de gestión.
- Stock de repuestos.
- Valor del stock de repuesto, tanto de almacenes centrales como de almacenes de zona.
- Histórico de averías de todos los equipos. Este histórico puede estar dividido por sistemas áreas, equipos individuales, etc.
- Planificación del mantenimiento. Todas las órdenes de trabajo periódicas deben generarse, además, automáticamente. Debe ser posible consultar la carga de trabajo programado en un periodo determinado.
- Órdenes de trabajo pendientes, tanto de mantenimiento correctivo como de mantenimiento programado.
- Pedidos de material pendientes de recibir.
- Costo total de mantenimiento, que incluya las partidas de mano de obra, materiales, subcontratos y reparaciones efectuadas en talleres exteriores.
- Costo de una orden de trabajo.
- Costo del mantenimiento de un equipo, un área determinada, una factoría, etc. En un periodo de tiempo concreto.
- Repuesto consumido en una orden de trabajo.
- Repuesto consumido en un equipo, un área, etc., en un periodo de tiempo.
- Trabajos realizados por cada operario en un periodo de tiempo determinado.
- Trabajos realizados por equipo de operarios determinados (por ejemplo un turno, una especialidad, eléctricos, mecánicos, etc.).

Si los objetivos que nos marcamos son esos, en esa dirección debe apuntar el proceso de implantación. Es muy habitual no definir objetivos al comenzar el proceso de implantación de un sistema de gestión de mantenimiento, y ponerse a realizarlo sin más. Es muy habitual, en este caso, encontrarse que los resultados sean estos:

- Aumento del personal indirecto. Al no haber tenido en cuenta la carga de trabajo adicional que tiene una determinada forma de operar (para abrir y cerrar ordenes de trabajo, para dar de alta o de baja materiales en el almacén, para realizar las compras a través del sistema, etc.), el resultado final es que necesitamos aumentar el número de administrativos encargados de introducir datos, cuando antes no había nadie encargado de esta función improductiva.
- Aumento del volumen de información del soporte papel. El sistema nos proporciona montones de informe, a veces voluminosos, donde antes no se generaba ninguna documentación, gastamos más en papel, en tinta, planteamos la posibilidad de adquirir nuevas impresoras más rápidas, necesitamos más espacio para estanterías, generamos un volumen mayor de residuos (papel) que tenemos que gestionar, etc.
- El sistema proporciona datos pero no proporciona información. O al menos no proporciona toda la información que precisamos. Una buena parte de esa información debemos generarla después con otras aplicaciones informáticas de desarrollo propio, como hojas de cálculo, pequeñas bases de datos o, incluso, hay que seguir calculándolas de forma manual.
- La información no es fiable. Los sistemas de trabajo son tan engorrosos que los operarios no son rigurosos y se los saltan habitualmente, con lo que perdemos información y fiabilidad. Por ejemplo, si no se anotan todos los movimientos de almacén, cuando realicemos un inventario no coincidirá lo que hay realmente en el almacén con lo que hay registrado en el sistema informático. Consecuentemente, al solicitar un inventario a través del sistema éste no será fiable.

Proceso de implantación

Las etapas del proceso de implantación son las siguientes:

1. *Inventario actualizado de equipos.*
2. *Codificación de los equipos.* Creación de la estructura arbórea.
3. *Introducción de los equipos en una ficha de excel.* Validar la información del equipo antes de introducirla al sistema.
4. *Introducción de los equipos en el sistema.* Carga de los equipos en el sistema.
5. *Introducción del personal en el sistema.* Carga de las fichas de personal, incluyendo todos los datos interesantes, en el sistema.
6. *Codificación de tareas.* Las tareas, sobre todo las tareas de mantenimiento programado de carácter periódico deben de estar codificadas para facilitar (en algunos casos posibilitar) su programación. Debe diseñar en esta fase el código que deben tener.
7. *Introducción de las tareas en el sistema.*
8. *Codificación del repuesto.* Debemos definir códigos para los tres tipos de materiales que encontramos en el almacén (consumibles, repuesto específico y repuesto genérico).
9. *Introducción del inventario de repuesto en el sistema.*
10. *Definición del plan de mantenimiento programado.*
11. *Introducción del plan en el sistema.*
12. *Definición de las formas de operación:*
 - Apertura y cierre de órdenes de trabajo.
 - Entradas y salidas del almacén.
 - Gestión de compras.
13. *Creación de documentos personalizados:*
 - Orden de trabajo.
 - Formato de gama de mantenimiento programado.
 - Informe de intervención.

- Formato de propuesta de mejora.
- Informes que contengan toda la información que precisamos.

La lista de tareas que es conveniente preparar en paralelo a la implantación del programa sería la siguiente:

- a. Definir el plan de mantenimiento preventivo.
- b. Tener inventariado el repuesto.
- c. Lista del personal y su organigrama.
- d. Definir el flujo de una orden de trabajo.
- e. Definir el sistema de entradas y salidas del almacén.
- f. Definir el sistema a seguir para realizar las compras.
- g. Definir los informes que se necesitarán.

4.8 Organigrama de mantenimiento

Dado a que la planta es relativamente mediana con diferentes zonas, se tienen ordenados las zonas de acuerdo a las necesidades que se requieran por parte del departamento de mantenimiento con varios centros de trabajo claramente diferenciados dentro de la planta, la estructura que se tiene está hecha de forma que se pueda mejorar de acuerdo al crecimiento que pueda tener en el futuro para poder gestionar adecuadamente la función de mantenimiento.

Una estructura como la que se presenta en la figura 25, se observa claramente la diferencia entre el gerente de mantenimiento y los jefes de mantenimiento de las diversas zonas. Estas zonas, son áreas de la empresa suficientemente amplia y no muy distante, lo cual justifica la creación de varios departamentos de mantenimiento.

Debajo de cada jefe están los responsables o supervisores que tienen una relación directa con el jefe de mantenimiento de cada zona y que trabajando en equipo se resuelven los problemas del día a día y los retos que se presentan dentro del contexto de la mejora continua, luego más abajo está toda la fuerza operativa que incide directamente en los equipos, maquinaria y sistemas de la planta.

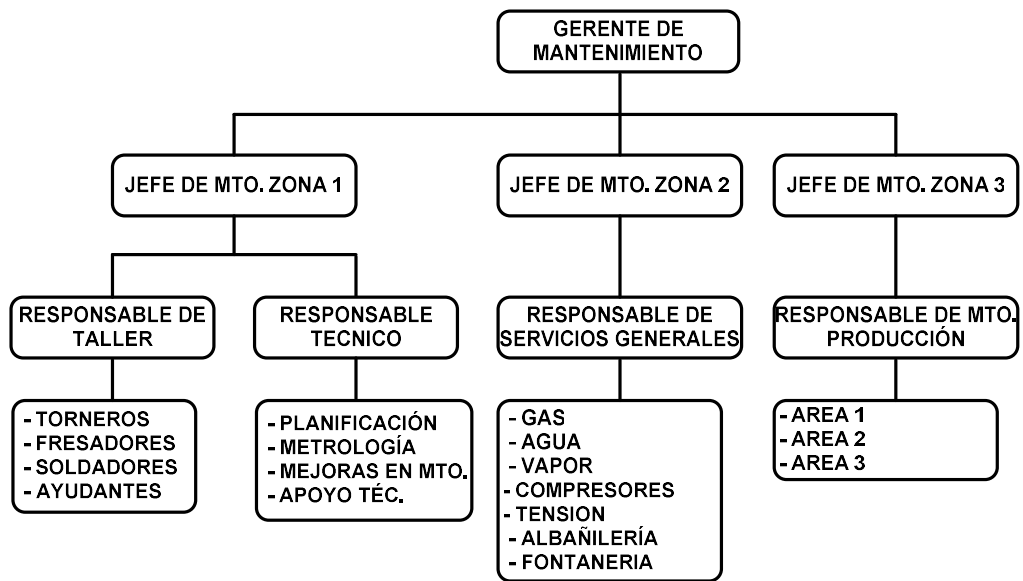


Figura 25 Organigrama de Mantenimiento.

CONCLUSIONES

- El Mantenimiento Industrial constituye una actividad esencial para alcanzar un alto grado de eficiencia en los sistemas productivos de la empresa y así garantizar la ventaja competitiva en los productos; con la implantación adecuada de un sistema de Gestión de Mantenimiento, siguiendo las directrices y empleando en el día a día los registros establecidos se conseguirá un control, un mantenimiento de calidad en el cual permitirá incorporar el concepto de mejora continua en mantenimiento.
- El tipo de mantenimiento a implementar en cada equipo o sistema industrial dependerá esencialmente del impacto en la producción, los costos de mantenimiento y el impacto ambiental, y las tareas que se definan en el horno de la línea de galletas, permitirán obtener un plan de mantenimiento que logre sostener el incremento en la confiabilidad operacional.
- Se espera que este trabajo pueda contribuir a la mejora en la gestión del mantenimiento en el área de galletas como plan piloto, y que pueda extenderse a otras áreas de interés en la producción, además; se espera fortalecer los planes de mantenimiento en el manual del horno que viene adjunto por el fabricante.
- La metodología AMFE, permite priorizar con más claridad los modos de falla de los equipos y sistemas en la línea de producción, ayuda a construir los planes de mantenimiento que incluye las actividades, las frecuencias y los repuestos, realizando una buena gestión del mantenimiento. Definiendo el contexto operacional es posible determinar los factores que pueden influir a que ocurra una falla funcional, total o parcial del horno y la cremadora.

RECOMENDACIONES

- Una de las claves en una planta de producción en línea es el mantenimiento, y esto implica cuidar los equipos realizando las actividades a la medida del mantenimiento y así lograr altos niveles de confiabilidad y disponibilidad en las líneas productivas y en las redes de los servicios que intervienen, esto ayudará a no echar a perder todo el esfuerzo de la cadena productiva.
- Es muy aconsejable realizar un buen mantenimiento industrial preventivo y someter a la maquinaria a revisiones periódicas y actividades básicas como los cambios de aceite, lubricaciones y limpiezas, esto ayudará a evitar problemas de mayor envergadura.
- Mejorar siempre la productividad y sacar el máximo rendimiento a las máquinas y equipos, se logra con el fortalecimiento de las técnicas de inspección del mantenimiento preventivo, estas técnicas van acompañadas con las acciones formativas (cursos, charlas, etc.) para el personal de mantenimiento en las tecnologías de termografía, análisis de vibraciones, ultrasonido, etc., en donde estas acciones formativas traen consigo el cambio de actitud y un aumento del compromiso en el personal.
- Se recomienda que implementen un sistema de seguridad e higiene ocupacional para la planta de producción.
- Es necesario, someterse a las normas de inocuidad o las HACCP, lo que indica realizar una mejora continua en la organización. Esto con el fin de que al momento de querer exportar los productos cumplan con las normas y exigencia mundial fitosanitario.

Glosario

- **RCM:** Reliability Centered Maintenance, (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad) es una técnica más dentro de las posibles para elaborar un plan de mantenimiento en una instalación industrial y presenta algunas ventajas importantes sobre otras técnicas. Inicialmente fue desarrollada para el sector de aviación, donde no se obtenían los resultados más adecuados para la seguridad de la navegación aérea. Posteriormente fue trasladada al campo militar y mucho después al industrial, tras comprobarse los excelentes resultados que había dado en el campo aeronáutico.
- **Mantenimiento 3.0:** filosofía de gestión de mantenimiento que trata de huir del mantenimiento sistemático, fomentado en muchos casos por los propios fabricantes de los equipos, que determinan las intervenciones a realizar por horas de funcionamiento o por periodos de tiempo. De acuerdo con la estrategia 3.0, las tareas sistemáticas responden a los intereses de los fabricantes, pero no de los propietarios de las instalaciones.
- **Confiabilidad:** Probabilidad de que un ítem pueda desempeñar su función requerida durante un intervalo de tiempo establecido y bajo condiciones de uso definidas.
- **Mantenibilidad:** Expectativa que se tiene de que un equipo o sistema pueda ser colocado en condiciones de operación dentro de un periodo de tiempo establecido, cuando la acción de mantenimiento es ejecutada de acuerdo con procedimientos prescritos.
- **AMFE:** Proceso sistemático para la identificación de las fallas potenciales del diseño de un producto, de un proceso o sistema/Equipo antes de que éstas ocurran, con el propósito de eliminarlas o de minimizar el riesgo asociado a las mismas.
- **TPM:** Filosofía de mantenimiento cuyo objetivo es eliminar las pérdidas en producción debidas al estado de los equipos, o en otras palabras, mantener los equipos en disposición para producir a su capacidad máxima productos de la calidad esperada, sin paradas no programadas.

- **Gofrete:** Nombre o sinónimo para denominar la galleta tipo Waffle.
- **MTTR:** Tiempo medio de reparación
- **OT:** Ordenes de Trabajo
- **MTBF:** Tiempo medio entre fallos
- **IMC:** Índice de mantenimiento correctivo
- **IME:** Índice de mantenimiento de emergencias
- **HACCP:** Análisis de peligro y puntos críticos de producción.
- **5s:** Las 5S, Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu y Shitsuke, conceptos de origen japonés que hacen parte integral de los procesos de mejoramiento continuo.

BIBLIOGRAFÍA.

- GALVAN TREJO, R. (2014). *Reducción de tiempo muertos en la maquina 103*. Queretaro: Universidad Tecnoliga de Queretaro.
- GARCÍA GARRIDO, S. (2006). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Madrid: Díaz de Santos.
- JULIO, C. B. (2003). Experiencias en la implementación del mantenimiento de clase mundial, caso real. *1 Congreso Mexicano de confiabilidad y Mantenimiento*. León guanajuato.
- PARRA MÁRQUEZ, C. A. (2012). *Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en gestión de activos*. Sevilla: Ingeman.
- RIVERA RUBIO, E. M. (2016, Diciembre 11). *CYBERTESIS UNMSM*. Retrieved Diciembre 11, 2016 from CYBERTESIS UNMSM: <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/1661>
- ROJALER, R. C. (1993). *Manual de mantenimiento industrial*. Queretaro: Universidad Tecnológica de Queretato.