

Modelo de Mantenimiento Empleando Técnicas de Manufactura Esbelta

AVILÉS-FERRERA, José Josías*†, RODRÍGUEZ-SÁNCHEZ, Marcos, AMBRIZ-COLÍN, Fernando y GUERRERO-GONZÁLEZ, Ricardo

Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato

Recibido Enero 23, 2014; Aceptado Mayo 1, 2014

Resumen

Este proyecto consiste en el desarrollo de la propuesta de un modelo de mantenimiento integrando diferentes técnicas de manufactura esbelta para aumentar la calidad en el área del mantenimiento y de la manufactura misma.

El proyecto se desarrolló en las instalaciones de la Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato (UTSOE), el cual consistió de varias etapas: investigación análisis, desarrollo e implementación. En la etapa de investigación se recabo información de las técnicas de manufactura esbelta existentes en libros, sitios de internet, revistas, artículos, etc. En la etapa de análisis se realizó una tabla comparativa con las características de cada técnica y su aportación al mantenimiento. En la etapa de desarrollo se diseñó la estructura del modelo de mantenimiento optimizado con la incorporación de las técnicas de manufactura esbelta. En la etapa de implementación se desarrollaron formatos optimizados que administran de forma conveniente las diferentes etapas de los procesos de cada tipo de mantenimiento. De esta manera, con este modelo se pretende aumentar la calidad del mantenimiento para satisfacer las necesidades de las empresas proporcionando una rápida solución a los problemas que enfrenta la industria aplicando metodologías más eficientes.

Mantenimiento, técnicas, manufactura esbelta

Citación: AVILÉS-FERRERA, José Josías, RODRÍGUEZ-SÁNCHEZ, Marcos, AMBRIZ-COLÍN, Fernando y GUERRERO-GONZÁLEZ, Ricardo. Modelo de Mantenimiento Empleando Técnicas de Manufactura Esbelta. Revista de Prototipos Tecnológicos. 2015, 1-1:59-78

Abstract

This project involves the development of a proposed maintenance model integrating different techniques of lean manufacturing to increase quality in the area of maintenance and same manufacturing.

The project was developed in the facilities of the Technological University of the Southwest of Guanajuato (UTSOE), which consisted of several stages: research analysis, development and implementation. In the investigation phase information of the existing lean manufacturing techniques in books, websites, magazines was collected, etc. In the analysis stage a comparative table with the characteristics of each technique and its contribution to the maintenance was performed. In the development stage the optimized model for a structure of maintenance by incorporating lean manufacturing techniques was designed. In the implementation stage optimized formats conveniently manage the different stages of the processes of each type of maintenance were developed. Finally some examples of preventive maintenance software and the way than this software optimize processes and preventive maintenance tasks are displayed. Thus, with this model it is to increase the quality of maintenance to satisfy the needs of companies.

Maintenance, thecniques, lean manufacturing

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: jjavilesfe@utsoe.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Actualmente se tiene una mayor exigencia hacia las empresas por parte de sus clientes para que cumplan en el tiempo establecido la entrega de pedidos, el desarrollo e innovación de productos y el cumplimiento de calidad en estos.

Con la aplicación de un sistema que mejore los procesos y la administración de los elementos que intervienen en mantenimiento se podrán mejorar las actividades y eliminar aquellas que no generen valor. Esto llevara al cumplimiento de los objetivos y a la mejora de la productividad de la empresa.

La propuesta de un modelo de mantenimiento empleando técnicas de manufactura esbelta facilita la planificación, programación y control de la ejecución de las actividades de mantenimiento, buscando siempre una mejora continua. Este modelo incluye además el apoyo de un software, el cual ayuda en la organización y control de los recursos disponibles y prevé aquellos que serán usados.

La clave del modelo está en generar una nueva cultura tendente a encontrar la forma de aplicar mejoras en los procesos de mantenimiento registrando las actividades y haciendo una mejor planeación del mantenimiento preventivo con la colaboración de operarios, supervisores y todos aquellos que estén en contacto con los equipos (Brush y Cooper, 2012).

Manufactura esbelta

La manufactura esbelta es una metodología de trabajo simple, profunda y efectiva, enfocada a incrementar la eficiencia productiva en todos los procesos generando una mejora continua en tiempo y espacio, eliminando los desperdicios, administrando el inventario y eliminando defectos involucrando al trabajador.

Generando en él un sentido de pertenencia haciéndolo participe en la propuesta de ideas de cómo hacer las cosas mejor.

Antecedentes

La metodología de mejora en la eficiencia de manufacturas fue concebida en Japón por Taiichi Ohno, director y consultor de la empresa Toyota. Ingresado en 1937, Ohno observó que antes de la guerra, la productividad japonesa era muy inferior a la estadounidense. Después de la guerra, Ohno visitó Estados Unidos, donde estudió los principales pioneros de productividad y reducción de desperdicio del país como Frederick Taylor y Henry Ford.

Ohno encontró en ellos un ejemplo perfecto de su idea de manejar inventarios reducidos, eliminar pasos innecesarios, controlar las actividades primarias y dar control al que hace el trabajo como apoyo a la cadena de valor. La palabra japonesa “muda” significa “desperdicio” y se refiere en específico, a cualquier actividad humana que consume recursos y no crea valor (Internet, 2015).

El término Lean (esbelto) fue acuñado por un grupo de estudio del Massachusetts Institute of Technology para analizar en el nivel mundial los métodos de manufactura de las empresas de la industria automotriz. El estudio demuestra que la Manufactura Delgada (Lean) usa menos de cada cosa en la planta, menos esfuerzo humano, menos inversión en inventarios de materiales y herramientas, menos espacio y menos horas de ingeniería para desarrollar un nuevo producto (Womack, 1990).

La manufactura esbelta es la eliminación de todas aquellas actividades que absorben recursos pero no crean valor: defectos, sobreproducción, inventario inmovilizado, esperas, movimientos de traslado, entre otros.

El sistema de manufactura esbelta persigue incansablemente la eliminación total de las actividades que sólo agregan costo al producto o servicio y que las sobredimensionan o "engordan" de diversas maneras.

El pensamiento esbelto proporciona un método para crear valor a los procesos productivos; alinea las acciones productivas de acuerdo con una secuencia lógica y óptima; lleva a cabo las actividades productivas de manera ininterrumpida; siempre busca la mejora continua de un proceso. La aplicación de técnicas y conceptos asociados a esta línea de pensamiento se denominan Técnicas Lean o Técnicas Esbeltas. Estas técnicas de mejoramiento permiten a las organizaciones eliminar paulatinamente sus "mudas" o despilfarros de una manera sencilla y con ello conseguir importantes beneficios a nivel de plazos de entrega, inventarios, productividad, uso de superficies y espacios, calidad de producto, mermas, mantenimiento, etc., (Internet, 2015).

Los principios clave de manufactura esbelta son:

- Calidad perfecta a la primera: Búsqueda de cero defectos, y detección y solución de los problemas en su origen.
- Minimización del despilfarro: Eliminación de todas las actividades que no son de valor añadido y redes de seguridad, optimización del uso de los recursos escasos (capital, gente y espacio).
- Mejora continua: Reducción de costos, mejora de la calidad, aumento de la productividad y compartir la información.

- Procesos "pull": Los productos son tirados por el cliente final, no empujados por el final de la producción.

En resumen se trata de obtener las cosas correctas en el lugar correcto, en el momento correcto, en la cantidad correcta, minimizando el despilfarro, siendo flexible y estando abierto al cambio.

¿Por qué adoptar la manufactura esbelta?

- Consideran los expertos que las empresas que no la incorporen no les será posible subsistir.
- La globalización ha causado una mayor competitividad en todas las actividades.
- La industria reduce constantemente márgenes de utilidad para poder permanecer en el mercado.
- Cada pequeño ahorro contribuye a mejorar la economía de la organización.
- Hay que hacer el mejor uso de todos los recursos.
- El recurso humano es el más esencial de todos.

Método de las 5 S

Este concepto se refiere a la creación y mantenimiento de áreas de trabajo limpias, organizadas y seguras. Se trata de mejorar la calidad de vida en el trabajo. Las 5S provienen de términos japoneses Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke, los cuales se complementan entre sí como se muestra en la figura 1.

Las 5S son un método de gestión japonesa originado en los años 1960 en Toyota, esta técnica es denominada de esta manera gracias a la primera letra en japonés de cada una de sus cinco fases, lo podemos observar en la figura 3. Esta metodología pretende reducir los costos por pérdidas de tiempo y energía, mejorar la calidad de la producción, minimizar los riesgos de accidentes, incrementar la seguridad industrial y mejorar las condiciones de trabajo al igual que elevar la moral del personal (McGraw, 2001).



Figura 1 5 S.

Términos de las 5s.

1. Significado: Seiri (japonés) / Clasificar (español)
 Definición: Separar innecesarios
 Pretende: Eliminar lo innecesario en el espacio de trabajo
2. Significado: Seiton (japonés) / Ordenar (español)
 Definición: Situar necesarios
 Pretende: Organizar adecuadamente los elementos a usar en el espacio de trabajo
3. Significado: Seisō (japonés) / Limpiar (español)
 Definición: Eliminar suciedad
 Pretende: Un lugar limpio no es el que más se limpia sino el que menos se ensucia

4. Significado: Seiketsu (japonés) / Estandarizar (español)

Definición: Señalizar anomalías

Pretende: Detectar situaciones irregulares o anómalas, mediante normas sencillas y visibles

5. Significado: Shitsuke (japonés) / Entrenamiento y autodisciplina (español)

Definición: Mejorar continuamente

Pretende: Trabajar permanentemente de acuerdo con las normas establecidas.

Herramienta Kanban

El término japonés Kanban significa “Tarjeta de señal”, permite implantar una forma de administración visual a través de señales diversas tales como cuadros, tarjetas, luces de colores, contenedores de colores, líneas de nivel en paredes, etc., fácilmente observables por los operadores y movedores de materiales en la planta, que al mismo tiempo les indican las acciones por tomar sin consultar a su supervisor, con objeto de eliminar las transacciones, el papeleo y reducir los inventarios en proceso (Work In Process o WIP), (Lu, 1989).

El Kanban proporciona una señal como información para producir y recoger, transportar productos; evita producir en exceso sólo por ocupar los equipos; sirve como orden de trabajo para los operadores; evita que se avancen productos defectuosos al siguiente nivel de ensamble; revela la existencia de problemas y sirve como control de los inventarios (Ohno, 1998).

Se utilizan localidades o cuadros Kanban entre operaciones de las celdas de manufactura o entre celdas de manufactura o procesos, para regular la diferencia en velocidad de producción entre ellos y de esta forma tener un flujo de producción constante.

El proceso se inicia con el pedido del cliente, con el cual se preparan los herramientas y materiales, generando una tarjeta Kanban al almacén de producto terminado, quien si no tiene producto, genera a su vez otra tarjeta Kanban al operador de la última operación, para indicarle que tiene autorización para producir la cantidad indicada y no más. Si el último operador requiere materiales de procesos anteriores, puede utilizar otra tarjeta Kanban de movimiento de materiales para “jalarlos”, dejando la tarjeta Kanban de producción al proceso anterior, y así sucesivamente hasta los proveedores, quienes sólo surten materiales si cuentan con una tarjeta Kanban (Lu, 1989).

Indicador Visual (Andon)

Término japonés para alarma, indicador visual o señal, utilizado para mostrar el estado de producción, utiliza señales de audio y visuales. Es un despliegue de luces o señales luminosas en un tablero que indican las condiciones de trabajo en el piso de producción dentro del área de trabajo, el color indica el tipo de problema o condiciones de trabajo. Andon significa ¡AYUDA!

Para entender los sistemas Andon, hay que remontarse un poco hacia los años 70, cuando los Andon nacieron en Japón. El término se fue acuñando con el tiempo como un sinónimo de sistemas para disminución de Tiempos Muertos.

La idea es simple: Alertar al personal correspondiente de los problemas que había en producción mediante sistemas de Focos y Tableros de luces y sonidos para que el problema quede expuesto a toda la planta productiva y se tomen acciones de inmediato: Problemas de calidad, de mantenimiento, de producción, de logística y hasta problemas de Seguridad.

El Andon puede consistir en una serie de lámparas en cada proceso o un tablero de las lámparas que cubren un área entera de la producción. Un Andon para una línea automatizada se puede interconectar con las máquinas para llamar la atención a la necesidad actual de las materias primas. Andon es una herramienta usada para construir calidad en nuestros procesos.

Si un problema ocurre, la tabla de Andon se iluminará para señalar al supervisor que la estación de trabajo está en problema. Una melodía se usa junto con la tabla de Andon para proporcionar un signo audible para ayudar al supervisor a comprender hay un problema en su área. Una vez el supervisor evalúa la situación, él o ella puede tomar pasos apropiados para corregir el problema.

El Andon se centra en que el operador es un ser pensante y capaz de tomar decisiones. Los colores usados son:

- Rojo: Máquina descompuesta
- Azul: Pieza defectuosa
- Blanco: Fin de lote de producción
- Amarillo: Esperando por cambio de modelo
- Verde: Falta de Material
- No luz: Sistema operando normalmente

Método de cambios rápidos (SMED)

Este método se usa para reducir los tiempos de cambio de modelo en las máquinas o líneas de producción. El método fue desarrollado por Shigeo Shingo y lo denominó “Cambio de dados en menos de diez minutos” o “Single Minute Exchange of Die” (SMED), cuyo objetivo es hacer efectivamente los cambios de herramientas en menos de 10 minutos (Shingo, 1985), (McGraw, 2001).

En el caso de las máquinas se trata de preparar y ajustar los herramientas por fuera mientras la máquina continúa trabajando (preparación externa) y hacer parar la máquina para hacer los cambios en el menor tiempo posible (preparación interna). Para convertir la mayoría de las operaciones internas en externas es necesario que un equipo de trabajo filme y analice las operaciones actuales para su optimización (Shingo, 1985).

Algunos de los beneficios que aporta el SMED son:

- Reducir el tiempo de preparación y pasarlo a tiempo productivo.
- Reducir el tamaño del inventario.
- Reducir el tamaño de los lotes de producción.
- Producir en el mismo día varios modelos en la misma máquina o línea de producción.

Esta herramienta no solo disminuye el tiempo en las empresas, sino que también aporta ventajas competitivas para la empresa, ya que no solo existe una reducción de costos, sino que aumenta la flexibilidad o capacidad de adaptarse a los cambios en la demanda. Al permitir la reducción en el tamaño de lote colabora en la calidad ya que al no existir stocks innecesarios no se pueden ocultar los problemas de fabricación.

Justo a Tiempo

Justo a Tiempo es una filosofía industrial que consiste en la reducción de desperdicio (actividades que no agregan valor) es decir todo lo que implique sub-utilización en un sistema desde compras hasta producción.

Existen muchas formas de reducir el desperdicio, pero el Justo a Tiempo se apoya en el control físico del material para ubicar el desperdicio y finalmente, forzar su eliminación.

La idea básica del Justo a Tiempo es producir un artículo en el momento que es requerido para que este sea vendido o utilizado por la siguiente estación de trabajo en un proceso de manufactura. Dentro de la línea de producción se controlan en forma estricta no sólo los niveles totales de inventario, sino también el nivel de inventario entre las células de trabajo. La producción dentro de la célula, así como la entrega de material a la misma, se ven impulsadas sólo cuando un stock (inventario) se encuentra debajo de cierto límite como resultado de su consumo en la operación subsecuente. Además, el material no se puede entregar a la línea de producción o la célula de trabajo a menos que se deje en la línea una cantidad igual (Internet, 2015).

La figura 2 muestra un diagrama con una secuencia de actividades el cual incorpora los elementos de la organización para satisfacer una actividad y cumplir los objetivos en el tiempo establecido.

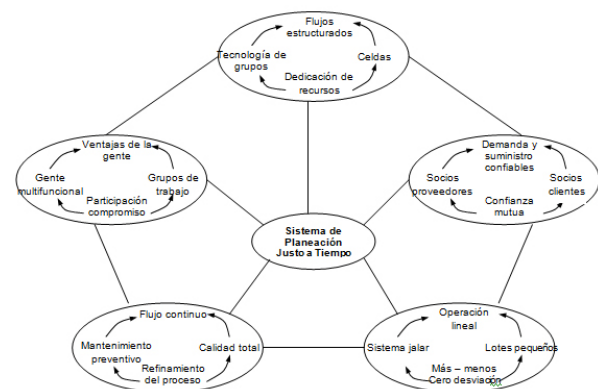


Figura 2 Sistema de planeación justo a tiempo

Kaizen

La palabra kaizen significa "mejoramiento continuo" y es una estrategia o metodología de calidad y gestión en las industrias tanto a nivel individual como colectivo. Esta metodología permite mantener y mejorar el estándar de trabajo mediante mejoras pequeñas y graduales. Esta metodología se originó en Japón en la línea del modelo de gestión Lean Manufacturing de Toyota. La técnica kaizen comprende diferentes factores (McGraw, 2001):

- Orientación y apoyo a los clientes.
- Control total de la calidad/ 6 Sigma
- Robótica
- Círculos de calidad
- Sistemas de sugerencias
- Automatización
- Disciplina en el lugar de trabajo
- T.P.M
- Kanban
- Mejoramiento de la calidad
- Justo a tiempo (J.I.T)
- Cero defectos
- Actividades en pequeños grupos de trabajo.
- Labor cooperativa y manejo de las relaciones
- Mejoramiento de la productividad
- Desarrollo de nuevos productos

Características de KAIZEN en sus métodos y disciplinas

- Requiere evaluación permanente y constante
- Requiere disciplina
- Enfatiza en el uso documentario
- Requiere estandarización
- Requiere la mejor solución
- Requiere el uso de tiempo administrativo
- Ayuda a la visualización del trabajo en grupo.

La actividad del círculo de KAIZEN (Kaizen Circle Activity)

La actividad del círculo Kaizen KCA es quizá la mejor actividad de involucramiento con grandes beneficios cuando (véase la figura 3):

- a) Refuerza la actividad de los miembros de equipo hacia: Trabajar como parte de un grupo de equipo, dirección, logística y resolución de problemas del equipo.
- b) Crea confianza entre los miembros del equipo cuando éstos se sienten que han contribuido al éxito de la compañía y listos para el próximo reto.
- c) Ataca los problemas críticos como si fueran "cientos de manos" disponibles.

Para la exitosa conclusión de los círculos de calidad, los miembros del equipo deben de ser entrenados en:

- a) Habilidades administrativas: Mantener la junta de los equipos, como hacer asignaciones, realizar actas de las juntas, preparación de presentaciones y demás.

- b) Lluvia de ideas: Cómo generar ideas que involucren a los miembros del equipo.
- c) Solución de problemas.
- d) Habilidad de presentaciones: Mostrar resultados a los gerentes.

KCA requiere de un departamento de control que lo promueva y administre. Las principales tareas administrativas son:

- a) Crear formas estándar para el apoyo de los círculos
- b) Registrar nuevos círculos
- c) Registrar los resultados de cada círculo
- d) Reportar los resultados macro y sus tendencias
- e) Capacitación.

Promover la actividad de KCA a través de:

- a) Tableros de reportes en áreas de producción y otras áreas de gran movimiento de gente, tales como las entradas a planta(s).

Los tableros deben de describir procesos y objetivos de KCA y celebrar los éxitos de los círculos.

- b) Competencias y reconocimientos en categorías tales como productividad, seguridad social, costos y temas ambientales.

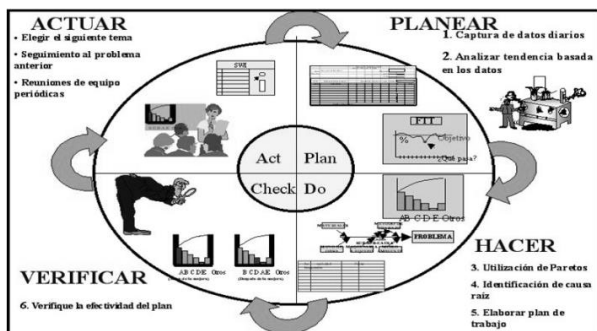


Figura 3 Círculo de Kaizen

Método Kaizen Blitz

Este método se utiliza para hallar una solución rápida a problemas que se presentan en las plantas de manufactura a través de un equipo de acción rápida, el término Blitz se refiere a un ataque rápido de problemas, normalmente se trata de problemas sencillos de solucionar, pero que afectan de manera importante a la producción, como primer paso se integran equipos de acción rápida denominados Kaizen Blitz incluyendo a trabajadores, supervisor, mecánicos, inspector, etc. El objetivo es aprovechar la larga experiencia de los operadores para que identifiquen el problema, sus causas, aporten ideas, sugerencias y participen en la implantación de las soluciones.

El ciclo de mejora Kaizen se forma de cuatro pasos: persuadir al personal a participar; motivarlos a hacer propuestas y generar ideas; revisión, evaluación y guía; reconocimiento y recomendaciones (Grazier, 1992).

La solución de problemas con equipos Kaizen Blitz debe tomar entre uno y cinco días como máximo, reconociendo al equipo de manera adecuada al final de cada solución implantada. Para problemas crónicos que llevan un largo periodo presentándose, es mejor que sean abordados por la modalidad de equipos de trabajo permanentes denominados círculos de control de calidad que pueden tardar entre tres meses y un año para la solución de problemas, donde la urgencia de solución no es importante, más bien el objetivo es la mejora continua.

Estandarización

Una definición precisa de lo que significa la estandarización, que contemple todos los aspectos de la filosofía lean, es la siguiente:

“Los estándares son descripciones escritas y gráficas que nos ayudan a comprender las técnicas y definir técnicas más eficaces y fiables de una fábrica, además nos proveen de los conocimientos precisos sobre personas máquinas, materiales, métodos, mediciones e información, con el objeto de hacer productos de calidad de modo fiable, seguro, barato y rápidamente”.

Partiendo de las condiciones corrientes, primero se define un estándar del modo de hacer las cosas; a continuación se mejora, se verifica el efecto de la mejora y se estandariza de nuevo un método que ha demostrado su eficacia. La mejora continua es la repetición de este ciclo. En este punto reside una de las claves del pensamiento Lean: “Un estándar se crea para mejorarlo”.

Jidoka

Jidoka es un término japonés, que significa automatización con un toque humano o autonomización. Esta palabra, que no debe confundirse con automatización, define el sistema de control autónomo propuesto por el sistema de manufactura esbelta. Bajo la perspectiva esbelta el objetivo radica en que el proceso tenga su propio autocontrol de calidad, de forma que, si existe una anomalía durante el proceso, este se detendrá, ya sea automática o manualmente por el operario, impidiendo que las piezas defectuosas avancen en el proceso.

Con este sistema máquinas y operarios se convierten en un inspector de calidad. No hay distinción entre empleados de la línea (que fabrican los artículos) e inspectores de calidad (que comprueban la bondad de la fabricación). Las fases de inspección, si son necesarias, se realizan dentro de la misma línea y cada operario garantiza la calidad de su trabajo.

Mantenimiento

Podemos definir el mantenimiento como la segunda rama de la conservación y se refiere a los trabajos necesarios, con el objeto de proporcionar un servicio de calidad estipulada.

El mantenimiento es la actividad humana que garantiza la existencia de un servicio dentro de una calidad esperada. Cualquier clase de trabajo que se haga en sistemas, subsistemas, equipos, máquinas, etc., para que éstos continúen o regresen a proporcionar el servicio en calidad esperada, es trabajo de mantenimiento, pues está ejecutado con ese fin. El mantenimiento se puede dividir en varios tipos como se muestra a continuación.

Mantenimiento correctivo

Es el conjunto de acciones que se desarrollan cuando ha ocurrido algún desperfecto o daño material en las instalaciones (máquinas, equipos, instalaciones, etc.) y han dejado de ofrecer la calidad o la función necesaria. Por lo general, cuando se realiza este mantenimiento el proceso de fabricación está parado, por tanto la producción disminuye y los costes aumentan. Es muy impredecible conocer el tiempo de reparación así como el gasto que deriva de la avería ya que se presenta de forma imprevista originando trastornos en la línea.

Se puede generar mantenimiento correctivo contingente o programable. El primero se refiere a las actividades que hay que hacer en forma inmediata, debido a que algún equipo que estaba proporcionando servicio vital ha dejado de hacerlo por cualquier causa y tenemos que actuar en forma emergente y en el mejor de los casos bajo un plan contingente. Mientras que el segundo se refiere a las actividades a desarrollar en los equipos o máquinas que estaban proporcionando un servicio trivial y este aunque necesario es mejor programar su atención por cuestiones económicas.

De esta forma pueden compararse éstos trabajos con el resto de los programas de mantenimiento o preservación. La figura 4 muestra la aplicación del mantenimiento correctivo y como es su proceso de fallas con respecto al tiempo.

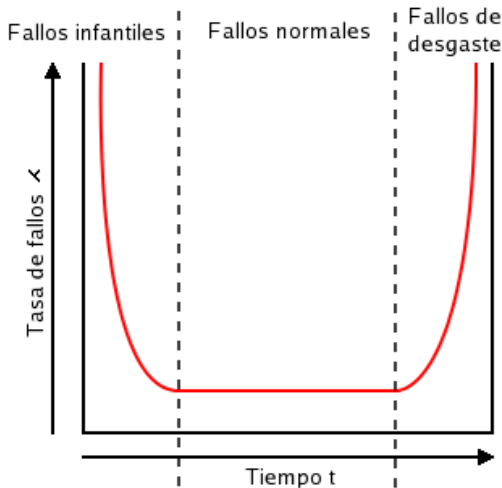


Figura 4 Gráfica de mantenimiento correctivo

Mantenimiento preventivo

Este mantenimiento también es denominado “mantenimiento planificado”, tiene lugar antes de que ocurra una falla o avería, se efectúa bajo condiciones controladas sin la existencia de algún error en el sistema. Se realiza a razón de la experiencia y pericia del personal a cargo, los cuales son los encargados de determinar el momento necesario para llevar a cabo dicho procedimiento; el fabricante también puede estipular el momento adecuado a través de los manuales técnicos. Presenta las siguientes características (Internet, 2015):

Se realiza en un momento en que no se está produciendo, por lo que se aprovecha las horas ociosas de la planta.

Se lleva a cabo un programa previamente elaborado donde se detalla el procedimiento a seguir y las actividades a realizar, a fin de tener las herramientas y repuestos necesarios.

Cuenta con una fecha programada, además de un tiempo de inicio y de terminación preestablecido y aprobado por la directiva de la empresa.

Está destinado a un área en particular a ciertos equipos específicamente. Aunque también se puede llevar a cabo un mantenimiento generalizado de todos los componentes de la planta.

Permite a la empresa contar con un historial de todos los equipos, además brinda la posibilidad de actualizar la información técnica de los equipos.

Permite contar un presupuesto aprobado por la directiva.

Esto se representa con la figura 5 en comparación con el mantenimiento correctivo y como la aplicación de este produce un cambio en las fallas de cualquier equipo.

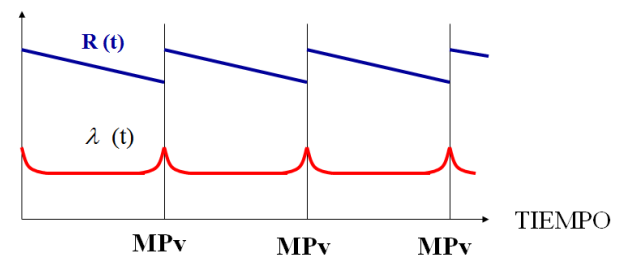


Figura 5 Gráfica de mantenimiento preventivo

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 (temperatura, 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 en ocasiones, de fuertes conocimientos matemáticos, físicos y/o técnicos (Aguilera, 2011).

El sustento tecnológico de este mantenimiento consiste en la aplicaciones de algoritmos matemáticos agregados a las operaciones de diagnóstico, que juntos pueden brindar información referente a las condiciones del equipo. Tiene como objetivo disminuir las paradas por mantenimientos preventivos, y de esta manera minimizar los costos por mantenimiento y por no producción.

Técnicas utilizadas para la estimación del mantenimiento predictivo (Internet, 2015):

Analizadores de Fourier (para análisis de vibraciones)

Endoscopia (para poder ver lugares ocultos)

Ensayos no destructivos (a través de líquidos penetrantes, ultrasonido, radiografías, partículas magnetitas, etc.)

Termovisión (detección de condiciones a través de calor desplegado).

Medición de parámetros de operación (viscosidad, voltaje, corriente, potencia, presión, temperatura, etc.).

Mantenimiento Productivo Total (TPM)

El TPM es una filosofía de vida que se implementó originalmente en las empresas japonesas para afrontar la recesión económica que se estaba desarrollando en la década de los 70 y la competencia que se avecinaba de occidente. El TPM busca agrupar a toda la cadena productiva con miras a cumplir objetivos específicos y cuantificables.

Uno de los objetivos que se busca cumplir en el TPM es la reducción de las pérdidas. En TPM se destacan seis grandes pérdidas: Pérdida por avería en los equipos, pérdida debidas a preparaciones, pérdidas provocadas por tiempo de ciclo vacío y paradas cortas, perdidas por funcionamiento a velocidad reducida, pérdidas por defecto de calidad, recuperaciones y reprocesado, pérdidas en funcionamiento por puesta en marcha del equipo. El TPM busca integrar a todas las áreas de la empresa desde el nivel más bajo hasta la gerencia o ramas administrativas. El TPM involucrando a los niveles más bajos de la cadena productiva, busca que estos se den cuenta cuán importante es el proceso y cómo sus esfuerzos llevan al cumplimiento de las metas, asignándoles responsabilidades para lograr la obtención de las metas establecidas. Para poder llevar acabo aplicación del TPM se toman en cuenta 8 puntos clave también llamados pilares como se muestra en la figura 6.



Figura 6 Los pilares del TPM

El Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM) desarrolló un método en siete pasos cuyo objetivo es lograr el cambio de actitud indispensable para el éxito del programa. Los pasos para desarrollar es cambio de actitud son los siguientes:

Fase 1. Aseo inicial

En esta fase se busca limpiar la máquina de polvo y suciedad, a fin de dejar todas sus partes perfectamente visibles. Se implementa además un programa de lubricación, se ajustan sus componentes y se realiza una puesta a punto del equipo (se reparan todos los defectos conocidos).

Fase 2. Medidas para descubrir las causas de la suciedad, el polvo y las fallas.

Una vez limpia la máquina es indispensable que no vuelva a ensuciarse y a caer en el mismo estado. Se deben evitar las causas de la suciedad, el polvo y el funcionamiento irregular (fugas de aceite, por ejemplo), se mejora el acceso a los lugares difíciles de limpiar y de lubricar y se busca reducir el tiempo que se necesita para estas dos funciones básicas (limpiar y lubricar).

Fase 3. Preparación de procedimientos de limpieza y lubricación.

En esta fase aparecen de nuevo las dos funciones de mantenimiento primario o de primer nivel asignadas al personal de producción: Se preparan en esta fase procedimientos estándar con el objeto que las actividades de limpieza, lubricación y ajustes menores de los componentes se puedan realizar en tiempos cortos.

Fase 4. Inspecciones generales.

Conseguido que el personal se responsabilice de la limpieza, la lubricación y los ajustes menores, se entrena al personal de producción para que pueda inspeccionar y chequear el equipo en busca de fallos menores y fallos en fase de gestación, y por supuesto, solucionarlos.

Fase 5. Inspecciones autónomas.

En esta quinta fase se preparan las gamas de mantenimiento autónomo, o mantenimiento operativo.

Se preparan listas de chequeo (check list) de las máquinas realizadas por los propios operarios, y se ponen en práctica. Es en esta fase donde se produce la verdadera implantación del mantenimiento preventivo periódico realizado por el personal que opera la máquina.

Fase 6. Orden y Armonía en la distribución.

La estandarización y el procedimiento de actividades es una de las esencias de la Gestión de la Calidad Total (Total Quality Management, TQM), que es la filosofía que inspira tanto el TPM como el JIT. Se busca crear procedimientos y estándares para la limpieza, la inspección, la lubricación, el mantenimiento de registros en los que se reflejarán todas las actividades de mantenimiento y producción, la gestión de la herramienta y del repuesto, etc.

Fase 7. Optimización y autonomía en la actividad.

La última fase tiene como objetivo desarrollar una cultura hacia la mejora continua en toda la empresa: se registra sistemáticamente el tiempo entre fallos, se analizan éstos y se proponen soluciones. Y todo ello, promovido y liderado por el propio equipo de producción (Internet, 2015).

RCM

RCM (Reliability Centred Maintenance - Mantenimiento Centrado en Fiabilidad o Confiabilidad) es una metodología utilizada para determinar sistemáticamente, que debe hacerse para asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo requerido por el usuario en el contexto operacional presente. Un aspecto clave de la metodología RCM es reconocer que el mantenimiento asegura que un activo continúe cumpliendo su misión de forma eficiente en el contexto operacional.

La definición de este concepto se refiere a cuando el valor del estándar de funcionamiento deseado sea igual, o se encuentre dentro de los límites del estándar de ejecución asociado a su capacidad inherente (de diseño) o a su confiabilidad inherente (de diseño).

Es una filosofía de gestión del mantenimiento, en la cual un equipo multidisciplinario de trabajo, se encarga de optimizar la confiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definido, estableciendo las actividades más efectivas de mantenimiento en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema.

RCM, se llama Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, porque reconoce que el mantenimiento no puede hacer más que asegurar que los elementos físicos continúen consiguiendo su capacidad incorporada o confiabilidad inherente.

Un plan de mantenimiento definido por RCM es una herramienta importante para lograr el objetivo de muchas empresas, que quieren una apropiada disponibilidad y un adecuado gasto, que garantice el nivel apropiado de mantenimiento programado, el uso racional de materiales consumibles y el mínimo empleo de materiales nocivos.

Seis-Sigma

El término sigma; es una letra griega que simboliza la desviación estándar, se utiliza en estadística aplicada a la producción como un indicador de la dispersión o variabilidad esperada de los productos o componentes producidos en un proceso. Entre mayor sea su valor, indicará que hay una variación mayor entre productos o componentes producidos en el proceso y viceversa.

Fue desarrollada por Motorola en la década de los años 1980.

El ingeniero Bill Smith estudió y reportó que si un producto fallaba durante la producción y se reparaba, otros defectos quedaban ocultos y se presentaban cuando el cliente usaba el producto, ocasionando quejas y reclamaciones. Por otra parte, si el producto no fallaba durante la producción, tampoco fallaba con el cliente. Éste fue el fundamento básico que motivó el desarrollo de procesos muy capaces que no generaban productos defectuosos, con ayuda de métodos estadísticos desarrollados desde la década de los años 1920 y otros métodos especiales conformados en una metodología denominada Six Sigma (Internet, 2015).

Una oportunidad está representada por la inspección de alguna característica del producto, tal como una dimensión o una cualidad que pudiera ser encontrada fuera de especificaciones y representar un defecto o error. Se puede clasificar la eficiencia de un proceso con base en su nivel de sigma:

- 1 sigma= 690,000 DPMO = 31% de eficiencia
- 2 sigma= 308,538 DPMO = 69% de eficiencia
- 3 sigma= 66,807 DPMO = 93,3% de eficiencia
- 4 sigma= 6,210 DPMO = 99,38% de eficiencia
- 5 sigma= 233 DPMO = 99,977% de eficiencia
- 6 sigma= 3.4 DPMO = 99,99966% de eficiencia

Análisis de los conceptos de manufactura esbelta

Para poder establecer un concepto claro de las técnicas de manufactura esbelta primero se realizó una investigación en distintas fuentes de información y se determinó las aportaciones y beneficios que han traído a la industria especialmente en Japón ya que actualmente muchas empresas están adoptando estas filosofías por sus resultados positivos.

Cada una de las técnicas ha sido desarrollada para mejorar la producción con el objetivo de garantizar calidad, ahora se pretende adaptar estas técnicas al proceso de mantenimiento buscando obtener beneficios tales como:

- La creación de nuevas y mejores metodologías.
- Una mejor organización de los recursos (equipos, herramientas, personal, repuestos, refacciones, etc.)
- Eliminar las mudas (todo lo que no genere valor) del proceso de mantenimiento.
- Eliminar y predecir fallas en los equipos.
- Mejorar el tiempo de respuesta.
- Fomentar el trabajo en equipo.
- Obtener lo que se necesita en el tiempo establecido.
- Estandarizar los procesos y buscar la mejora continua.

Por esta razón se hace un análisis de cómo estas técnicas pueden influir en el área de mantenimiento, aportando beneficios y calidad a la producción, generando ganancias a toda la empresa.

Definición de las técnicas de manufactura esbelta empleadas en mantenimiento

A continuación se describen las técnicas de manufactura esbelta aplicadas solo en el área de mantenimiento, definiendo las ventajas y alcances, lo cual permite el desarrollo de nuevas metodologías que contribuyen en el alcance de los objetivos y permitirá aumentar la calidad de mantenimiento.

Metodología 5'S

Con la aplicación de las 5'S se podrán clasificar todos los elementos que intervienen en mantenimiento desde las máquinas y equipos hasta el personal incluyendo los recursos necesarios (herramientas, refacciones, consumibles, equipos de medición etc.) esto permitirá eliminar las mudas (todo lo que no genera valor) lo que permitirá tener un lugar de trabajo más eficiente.

Esta técnica establece las bases para ordenar cada uno de los elementos involucrados y disponer de ellos de una forma adecuada además sugiere que se realice una limpieza constante del área de trabajo para realizar las actividades con mayor seguridad y las posibles fallas se hagan visibles.

Todos estos factores contribuyen a desarrollar nuevas metodologías según los alcances de la empresa de tal forma que si una metodología da buenos resultados la técnica sugiere estandarizar el proceso, estableciendo una forma de hacer las cosas.

Por último, tener disciplina de todos los involucrados permitirá llevar a cabo las acciones establecidas de manera constante obteniendo los resultados esperados.

Técnica Kaizen Blitz

Esta técnica propone reunir e involucrar al personal que está relacionado con los diferentes equipos como son: operadores, mecánicos, supervisores o aquellos que realizan alguna actividad, el objetivo es, que cada uno de ellos comparta ideas, experiencias y soluciones para enfrentar las fallas, esto permitirá hacer una recopilación de las ideas y propuestas del personal para determinar las acciones a tomar cuando exista algún problema. De tal manera que las medidas de prevención generen un mejor ambiente de trabajo.

Todo esto permite crear grupos de trabajo los cuales incorporan los procesos, equipos, personal y herramientas como se muestra en la figura 7. Partiendo desde una buena organización, el kaizen blitz se centran en la calidad de cada uno de estos para llevar a cabo un proceso fiable con buenos resultados.

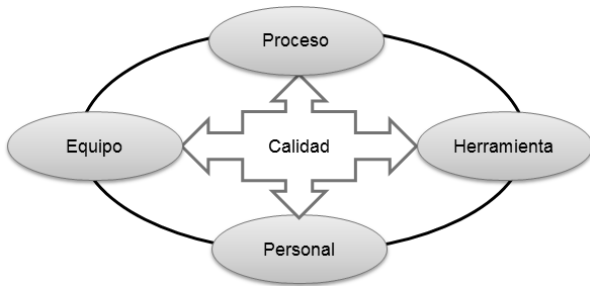


Figura 7 Círculo de trabajo de la técnica Kaizen Blitz

Técnica Jidoka

En el área de mantenimiento esta técnica pretende crear una relación entre las máquinas y operarios haciéndolos inspectores de calidad, con esto se promueve el surgimiento de la autonomación que define el sistema de control autónomo. De esta manera se crea una nueva definición del personal con relación a las actividades enfocadas a los equipos y crea un nuevo nivel de jerarquía.

Esto proporciona un mejor control de las actividades y un personal calificado en la toma de decisiones de esta manera se podrá obtener un mejor tiempo de respuesta, evitando los tiempos muertos, aprovechando los recursos disponibles y contribuyendo con la calidad y desempeño de las actividades.

De esta manera el operador podrá realizar algunas tareas de mantenimiento y si no está capacitado para esto sabrá que es lo que debe hacer, sus decisiones contribuyen a garantizar el funcionamiento de los equipos, prevenir fallas y agilizar el tiempo de respuesta del personal calificado.

Técnica Andon

Para establecer esta técnica en el área de mantenimiento, se sugiere usar un sistema de colores que indican una alarma cuando se requiere aplicar un mantenimiento. Una forma visible de plasmar esto es en una gráfica, la cual depende de las actividades respecto al tiempo, como se describe en el siguiente ejemplo.

Una máquina es sometida a 16hrs de trabajo continuo. Cuando dicha máquina está en operación se aprecia un indicador de color verde, cada 4 meses se le da mantenimiento preventivo el cual es indicado por un color amarillo. Una temporada se genera una demanda mayor de producto lo que obliga que se retrase el mantenimiento preventivo. Tomando en cuenta los estándares de calidad de mantenimiento, la gráfica demuestra el retraso del mantenimiento preventivo con un color naranja con lo que además predice la posibilidad de que la máquina falle. Con el debido control y el reporte de actividades se podrá visualizar si hubo mantenimientos correctivos los que se indican con color rojo, como se muestra en la figura 8.

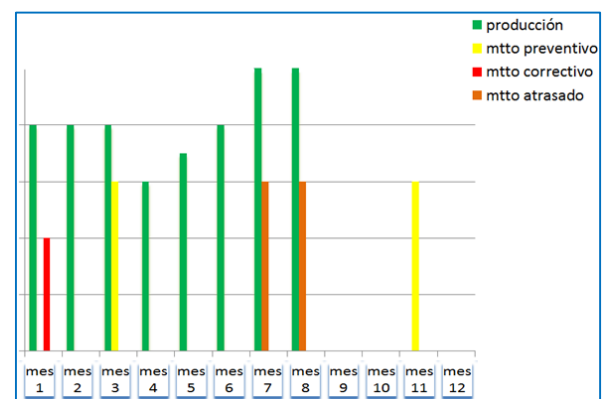


Figura 8 Indicador visual de mantenimiento preventivo

De esta manera serán visibles las actividades necesarias que requieren los equipos lo que permitirá agilizar el tiempo de respuesta y desempeñar las actividades que garanticen el buen funcionamiento de las máquinas aumentando la productividad.

Técnica Kanban

Esta técnica es aplicada usando tarjetas de señal con las que se podrá informar acerca de los recursos que serán necesarios cuando se tenga que ofrecer un servicio de mantenimiento ya sea preventivo o correctivo, estas señales deben ser apreciadas por aquellos que estén involucrados en la realización de las tareas como: almacén, técnicos, ingenieros, especialistas etc. con lo cual se podrá optimizar el tiempo.

Con el surgimiento de alguna tarea de mantenimiento, se genera una señal para aquellos que este involucrados un ejemplo de esto puede ser el mantenimiento preventivo de un equipo. Ya que se tiene la fecha establecida para realizar la actividad se genera una tarjeta de señal (puede ser una orden de trabajo), la cual debe llegar a los técnicos que realizaran el trabajo, con las especificaciones adecuadas, también llegara al personal de almacén para que pueda suministrar los recursos (herramientas, equipos de medición, repuestos, refacciones, etc.), a los operadores para que estén conscientes y tomen precauciones, facilitando el cumplimiento de la tarea.

Método de cambios rápidos SMED

Para visualizar mejor esta técnica se toma como ejemplo un mantenimiento preventivo como puede ser, la lubricación de un equipo. Cuando se hace dicha actividad esta técnica sugiere registrar como se hace y los recursos necesarios (personas, herramientas, tiempo, consumibles, etc.) de tal manera que se puedan quitar actividades para reducir el tiempo o añadir otras para complementar la metodología como pueden ser: limpieza, ajuste, checklist etc. con el fin de aumentar la calidad del mantenimiento y prevenir fallas.

Al registrar el método empleado se podrá determinar los pasos y actividades, eliminando aquellas que son innecesarias, además de esto será posible definir cuantas personas son necesarias, que herramientas se usaran y prevenir los repuestos todo con el fin saber con mayor exactitud el tiempo que demora la actividad.

Al implementar esta técnica será posible crear un estándar en las actividades además de conocer con certeza los recursos necesarios. Siempre se haciendo mejoras en las actividades para optimizar el proceso.

Justo a tiempo

El objetivo de esta técnica es cumplir con lo necesario en el tiempo justo, en mantenimiento esto ayudara a organizar las tareas para satisfacer las necesidades de la planta siempre buscando determinar el tiempo necesario de cada actividad y así cumplir con la planeación establecida.

La técnica se basa en una buena gestión con la cual se pretende eliminar las pérdidas ocasionadas por acciones innecesarias y siempre buscando la mejora continua. Para visualizar esto se toma como ejemplo el siguiente caso.

Se tiene programado el mantenimiento de un equipo el cual consiste en reemplazar una pieza. Se tiene contemplado que equipo tenga un paro de varios días y la pieza no está en almacén, a pesar de conocer todas las especificaciones y los proveedores dicha pieza tardara en llegar y estar disponible más de lo esperado. Por tal razón se hace una reorganización de las actividades siempre con el objetivo de que la maquina esté operando en el tiempo establecido.

TPM

Para el desarrollo de esta técnica es fundamental involucrar y fomentar el trabajo en equipo para mejorar la eficiencia, la calidad y la seguridad.

De esta manera el personal de mantenimiento siempre estará en busca de la eficiencia en los procesos y de cómo mejorar el desempeño de sus tareas.

Al hablar de trabajo en equipo se debe considerar la aportación de todo el personal para definir un buen proceso en el cumplimiento de las tareas, es decir, que no se reduzca al personal de mantenimiento ni a producción sino a todo aquel que pueda aportar ideas que ayuden en la gestión y organizar todos los tipos de mantenimiento de tal forma que se pueda precisar las acciones necesarias, elaborando una metodología que cumpla con los objetivos establecidos y garantizando el correcto funcionamiento de las máquinas y equipos para tener la producción esperada.

Uso de software para la gestión de mantenimiento.

El modelo de mantenimiento desarrollado se incorpora el uso de un software como el MP, el cual permite un mejor control de las actividades y una buena administración de los recursos.

Cabe mencionar que un software no es capaz de garantizar buenos resultados si no se usa adecuadamente, por tal razón se encuentra al margen ya que es fundamental la aplicación de buenas metodologías en las que pueda basarse, visto de otra manera, el software permitirá llevar a cabo una buena gestión del mantenimiento, solo si el personal está dispuesto a trabajar y entregar resultados según lo planeado, atender las fallas como se tenga previsto, capturar los datos de manera adecuada y actualizar cada una actividades programadas. Entre las ventajas que tiene el software se encuentran:

Ayudar a programar las actividades de mantenimiento además de llevar un registro de cada una de ellas lo que permitirá hacer grupos de trabajo para realizar las actividades y determinar exactamente las tareas del personal.

Permitirá llevar un inventario de las herramientas, equipos, consumibles, repuestos, refacciones, personal etc. los cuales son necesarios para cumplir las tareas de mantenimiento, esto permite saber si los recursos están disponibles para cumplir con el plan de actividades.

Se crea una base de datos de todos los recursos, de tal manera que estén disponibles para todo aquel que tenga autorización.

El registro de las actividades permitirá hacer un análisis de fallas con el objetivo de tomar las medidas necesarias para cumplir con los objetivos y tener confiabilidad en los procesos.

Modelo de mantenimiento propuesto empleando técnicas de manufactura esbelta

Después de definir los conceptos (técnicas de manufactura esbelta) y como intervienen en el mantenimiento se presenta un diagrama (figura 9) del modelo de mantenimiento propuesto señalando los factores que intervienen y el proceso que sigue con el cual se pretende mejorar los procesos y aumentar la calidad con el uso de metodologías más eficientes.

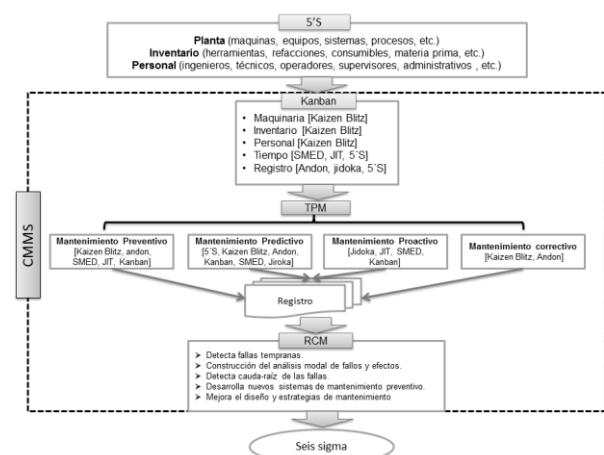


Figura 9 Modelo de mantenimiento usando técnicas de manufactura esbelta

Este diagrama muestra las técnicas de manufactura esbelta aplicadas en la administración de procesos y recursos de mantenimiento. El diagrama hace referencia a los puntos claves de mantenimiento y las técnicas que son aplicadas con el fin de aumentar la productividad de la empresa lo que contribuye a mejorar la calidad.

Después de analizar la aplicación y ventajas de cada una de las técnicas en el área de mantenimiento, se toman en cuenta diferentes campos de aplicación, es decir, una o varias técnicas pueden ser aplicadas para para obtener una metodología en puntos críticos de mantenimiento.

El modelo incorpora la filosofía RCM la cual se sustenta en el registro de los elementos y actividades que se llevan a cabo. El campo dentro del área punteada representa el alcance del software, con el cual se podrá llevar a cabo la gestión de los recursos involucrados. Por último se hace mención de la calidad, ya que es el objetivo principal de las metodologías.

El modelo de mantenimiento empleando técnicas de manufactura esbelta muestra a grandes rasgos la aplicación y utilidad de estas técnicas en el área de mantenimiento, cabe señalar que es una propuesta y este debe ser adaptado a las necesidades de la empresa. Para cumplir con los objetivos y metas planeadas.

Su aplicación se puede realizarse el factor que se desea mejorar, definiendo así las técnicas que mejor se adecuen para el logro de resultados.

Resultados

Con la investigación realizada fue posible definir las ventajas de las técnicas de manufactura esbelta conocer los grandes que a traído a toda la industria.

Con lo cual se establecieron las filosofías y alcances en el área de mantenimiento con el objetivo de mejorar los procesos y aumentar la calidad, eliminando aquellas actividades que no generan valor.

De esta forma se logró obtener un modelo de mantenimiento con la adaptación de técnicas de manufactura esbelta lo que plantea una metodología viable para el cumplimiento de los objetivos.

El modelo además integra el uso de un software para la administración y gestión del mantenimiento lo que permitirá estandarizar diversas actividades y definir la forma más correcta de hacer las cosas.

Este modelo intenta proyectar estas metodologías en el área de mantenimiento de cualquier empresa. Con la aplicación de estas técnicas se pretende alcanzar una mejor organización de los recursos para poder generar una mayor confiabilidad de los equipos, con el objetivo de obtener una productividad exitosa y alcanzar una calidad seis sigma.

Es importante señalar que el concepto esbelto, intenta generar una nueva cultura de la mejora basada en la comunicación y el trabajo en equipo. Busca continuamente nuevas formas de hacer las cosas de manera más ágil, flexible y económica. Su finalidad consiste en la combinación de distintos elementos, técnicas y aplicaciones surgidas por el estudio y análisis de las tareas que se realizan a los equipos de la planta.

Conclusiones

El proyecto, modelo de mantenimiento usando técnicas de manufactura esbelta, contribuye en gran importancia a la administración del mantenimiento y el uso de los recursos de la empresa.

La información recabada y analizada permitió un análisis de las mejoras posibles del área de mantenimiento, con esto se promueve la aplicación de metodologías que garanticen el cumplimiento de los objetivos establecidos por la empresa, la eliminación de recursos que no generan valor al proceso y el aumento de la calidad.

Este modelo contribuye a alcanzar una calidad seis sigma, que inicia desde la administración de los recursos hasta la aplicación de métodos para visualizar un proceso confiable de cómo hacer las cosas.

El uso de un software es un enorme recurso que actualmente se puede emplear sin embargo cabe mencionar, que solo es un apoyo, la forma de cumplir con los objetivos de la empresa recae en el personal, es por eso que se debe difundir y capacitar a los trabajadores en las metodologías y de esta manera conseguir una mejora constante.

Referencias

- Aguilera Nieves Antonio. (2011). Gestión del mantenimiento de instalaciones de energía eólica. Editorial Vértice. p. 79.
- Breyfogle III, Forrest W. (1999). Implementing Six Sigma. John Wiley & Sons, Inc. Nueva York. p.10.
- Grazier, Peter B. (1992). Japan Human Relations Association, Kaizen Teian 1. Productivity Press, EUA. Portland, Oregon, EUA. pp. 99-123.
- Harry, Mikel, Schroeder, Richard. (2000). Six Sigma. Doubleday – Random House. Nueva York. pp. 9-11.
- Hernandez Matiaz Juan C. y Vizán Idolpe Antonio. (2013). Lean Manufacturing conceptos, técnicas e implantación. Madrid, España. p. 55.
- Lu, David J. (1989). Kanban: Just In Time at Toyota. Productivity Press. Portland, Oregon, EUA. p. 27.
- McGraw, Jim. (2001). “La mecánica de un alto en los pits”. Mecánica Popular, edición México 54-07, editorial Televisa, México, pp. 29.
- Nachi-Fujikoshi Corporation and Japan Institute of Plant Maintenance. (1990). Training for TPM: A Manufacturing Success Story. Productivity Press. Portland, Oregon, EUA. pp. 27 -31.
- Nakajima Seiichi. (1988). Introduction to TPM, Productivity Press. Cambridge, Massachusetts, EUA. pp. 1- 5.
- Ohno, Taiichi. (1998). Toyota Production System: Beyond Large Scale Production. Productivity Press. Portland, Oregon, EUA. pp. 27-32.
- Shingo, Shigeo. (1985). A Revolution in Manufacturing: The SMED System. Productivity Press. Cambridge Massachusetts, EUA. p. xix.
- Womack, Jones and Roos. (1990). The Machine That Changed The World. Macmillan. Nueva York, EUA, pp. 1-13.
- Internet:<http://www.monografias.com/trabajo/s82/lean-manufacturing-manufactura-esbelta/lean-manufacturing-manufactura-esbelta2.shtml>
- Internet:<http://www.monografias.com/trabajo/s82/herramientas-lean-manufacturing/herramientas-lean-manufacturing.shtml#ixzz3VNQIm0An>
- Internet:<http://www.monografias.com/trabajo/s14/manufact-esbelta/manufact-esbelta.shtml#control#ixzz3X9NECC00>
- Internet:<http://www.monografias.com/trabajo/s14/manufact-esbelta/manufact-esbelta.shtml#justo#ixzz3XFFiLnq2>

Internet:<http://principiosdemantenimientousb.wikispaces.com/file/view/TEMA+PR%C3%81CTICO+DEL+MANTENIMIENTO+EN+EL+SECTOR+INDUSTRIAL.pdf>

Internet:http://www.sinais.es/Recursos/Cursos-ibraciones/intro/tipos_mantenimiento.html

Internet:<http://www.mpssoftware.com.mx/#>

Internet:http://es.wikipedia.org/wiki/Lean_manufacturing

Internet:<http://www.mantenimientopetroquimica.com/tpm.html>