



El mantenimiento proactivo en equipos mecánicos de transporte de hidrocarburos en Ecuador

Proactive maintenance in hydrocarbon transport mechanical equipment in Ecuador

Ing. Ronal Elicio Moscoso Jácome, Mgs¹
ronalito@hotmail.com

Recibido: 1/12/2016, Aceptado: 1/02/2017

RESUMEN

El objetivo que se persigue es diagnosticar el mantenimiento proactivo para disminuir el mantenimiento correctivo de los equipos mecánicos de transporte de hidrocarburos en Ecuador, con un buen diagnóstico se pueden evitar daños severos y elevados costos de reparación. Además, y aún más decisiva, la incidencia de roturas de máquinas puede ser reducida, y se puede minimizar las pérdidas de producción, a su vez proporciona la información sobre la evaluar el estado (condición actual) de la máquina, reconocer los síntomas de un daño en progreso, identificar la causa y los componentes dañados y pronosticar la vida útil en servicio remanente. Los métodos permitieron determinar las falencias de estas vías de abastecimiento de combustible en todo el país, entre los que se encuentran diseño experimental, exploratorio, descriptivo, correlacional, explicativo; a su vez se utilizó la técnica de observación, entrevista y la consulta a expertos, que permitieron la interpretación de los datos y la implementación en la práctica. Entre los resultados destacan: el diagnóstico y la identificación de los daños presentados en los Poliducto, y otros equipos mecánicos lo cual reducirá el mantenimiento correctivo en el transporte de hidrocarburos; para poder aplicar posteriormente el programa correspondiente a las necesidades de cada empresa, posteriormente puede ser aplicado a diversas empresas, a la vez se considera los escenarios o campos de acción donde se ubican la organización y desenvuelve la tarea decisora, también se intenta encaminar hacia una misma dirección los criterios de actividades de los tipos de mantenimientos, con este programa se va a procurar mejorar la operación reduciendo los mantenimientos correctivos del transporte de hidrocarburos y optimizar los de recursos.

¹ Ingeniero de mantenimiento de la Escuela Politécnica de Chimborazo, Supervisor de mantenimiento Mecánico del Poliducto Esmeraldas Santo Domingo Quito Macul de Empresa Pública de Hidrocarburos del Ecuador, Magíster en Educación Superior, Ecuador.

Palabras clave: diagnóstico, mantenimiento predictivo, mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo y síntomas

ABSTRACT

The objective is to diagnose proactive maintenance to reduce the corrective maintenance of mechanical hydrocarbon transport equipment in Ecuador. With a good diagnosis, severe damage and high repair costs can be avoided. In addition, and even more decisively, the incidence of machine breaks can be reduced, and production losses can be minimized, in turn providing information on evaluating the machine's current state (condition), recognizing the symptoms of a Damage in progress, identify the cause and components damaged and forecast the service life remaining. The methods allowed determining the shortcomings of these fuel supply routes throughout the country, among which are experimental, exploratory, descriptive, correlational, explanatory design; In turn was used the technique of observation, interview and consultation of experts, which allowed the interpretation of data and implementation in practice. Among the results stand out: the diagnosis and identification of the damages presented in the Polyduct, and other mechanical equipment which will reduce the corrective maintenance in the transport of hydrocarbons; To be able to subsequently apply the program corresponding to the needs of each company, currently in Ecuador, Later it can be applied to several companies, at the same time it considers the scenarios or fields of action where the organization is located and develops the decision making task, it is also tried to move towards the same direction the criteria of activities of the types of maintenance, with this Program will seek to improve the operation by reducing the corrective maintenance of the transportation of hydrocarbons and optimizing the resources.

Keywords: diagnosis, predictive maintenance, preventive maintenance, corrective maintenance and symptoms

Introducción

El momento crucial en que vive la sociedad precisa de una certera orientación de las influencias sobre cada empresa en desarrollo y en este caso específico es necesario garantizar, el correcto funcionamiento de la empresa EP Petroecuador que se encarga de la explotación, refinación, transporte y comercialización de hidrocarburos directamente o por contratos de asociación con terceros asume la exploración y explotación de los yacimientos de hidrocarburos en el territorio nacional y mar territorial.

La necesidad de satisfacer las expectativas y demandas sociales imponen cambios en la aplicación de los mantenimientos para lograr el correcto funcionamiento de la empresa; se han aplicado una serie de tipos de mantenimientos tales como mantenimiento basado en la confiabilidad, mantenimiento predictivo, mantenimiento preventivo; además se contaba con programa de mantenimiento que daba problemas con la gestión del mantenimiento que no han disminuido el mantenimiento correctivo y por tal motivo no se han reducido las paradas de operación.

Se han implantado programa que recogen las medidas necesarias, así como los objetivos y metas para lograr una mejora en la operación de transporte de hidrocarburos en el Ecuador las cuales no han dado los resultados esperados.

Para Newbrough (2010), el mantenimiento:

Es la actividad humana que conserva la calidad del servicio que prestan las máquinas, instalaciones y edificios en condiciones seguras, eficientes económicas, puede ser correctivo si las actividades son necesarias debido a que dicha calidad del servicio ya se perdió y preventivo si las actividades se ejecutan para evitar que disminuya la calidad de servicio" (Newbrough, 2010, p. 25).

El análisis de las investigaciones que se han realizado ha determinado una serie de programa de gestión de mantenimiento, las cuales tratan de mejorar la operatividad del transporte de hidrocarburos a niveles óptimos, para que no existan paradas de operación por mantenimientos correctivos. Con la aplicación de un software amigable que cumpla con las condiciones de programación para ser la plataforma en la que se va a trabajar la programación y la base de datos se reducirá tiempos entre mantenimientos.

Desarrollo

Desde hace muchos años la empresa EP Petroecuador es la más grande del país, encargada del transporte de productos limpios (gasolina súper, gasolina extra, diésel 2, diésel Premium, y jet fuel a lo largo del país, en las actuales condiciones y por los constantes cambios industriales la demanda de combustible se ha elevado a niveles críticos que la empresa los ha ido resolviendo a lo largo del tiempo.

En el año 2014 se contaba con un programa de gestión de mantenimiento (Main Traker, sistema AS400) el cual daba muchos problemas en la actualidad se ha implantado un nuevo sistema de gestión del mantenimiento (MÁXIMO) con una inversión considerable de dinero USD 2'000.000 al año, el problema de paradas de operación por gestión de mantenimiento no se han disminuido, en el año 2015 han existido 360 horas de paradas de operación por mantenimientos correctivos en diferentes equipos mecánicos, esto ha conllevado a una pérdida de recursos tanto económicos como llegar al límite del porcentaje aceptable para normal abastecimiento de combustibles en el país, por lo cual se propone la evaluación del nuevo programa de mantenimiento para saber en qué está fallando el nuevo programa si es posible corregir estos problemas o se buscaría un nuevo programa para que solucione los problemas para mejorar la operación del transporte de hidrocarburos y poder garantizar al país el normal abastecimiento de combustibles.

Mantenimiento se considera a "Cualquier actividad como comprobaciones, mediciones, reemplazos, ajustes y reparaciones necesarias para mantener o reparar una unidad funcional de forma que esta pueda cumplir sus funciones". (Enciclopedia Culturalia, 2013) Rutinas recurrentes necesarias para mantener unas instalaciones (planta, edificio, propiedades inmobiliarias, etc.) en las condiciones adecuadas para permitir su uso de forma eficiente, tal como está designado.

Históricamente el mantenimiento ha evolucionado a través de tres generaciones, ha seguido una serie de etapas cronológicas que se han caracterizado por una metodología específica. Es conveniente destacar; que el alcanzar una etapa más avanzada no significa necesariamente que se abandonen por completo las metodologías anteriores, aun perdiendo peso, siguen complementando a las más actuales (Rosales, 2016).

La Primera Generación de mantenimiento. La primera generación cubre el período hasta la II Guerra Mundial. En esos días la industria no estaba muy mecanizada, por lo que los períodos de paradas no importaban mucho. La maquinaria era sencilla y en la mayoría de los casos diseñada para un propósito determinado. Esto hacía que fuera confiable y fácil de reparar. Como resultado, no se necesitaban sistemas de mantenimiento complicados y la necesidad de personal cualificado era menor que ahora (Rosales, 2016).

La Segunda Generación de mantenimiento. Durante la Segunda Guerra Mundial las cosas cambiaron drásticamente. Los tiempos de la Guerra aumentaron la necesidad de productos de toda clase mientras que la mano de obra industrial bajó considerablemente. Esto llevó a la necesidad de un aumento de mecanización. Hacia el año 1950 se habían construido equipos de todo tipo y cada vez más complejos. Las empresas habían comenzado a depender de ellos (Rosales, 2016).

La Tercera Generación de mantenimiento. Desde mediados de los años setenta, la contribución de la industria aérea y una nueva concepción de los equipos han llevado a que el proceso de cambio en las empresas se dé a velocidades más altas. Los cambios pueden clasificarse bajo los títulos de: Nuevas expectativas, nuevas investigaciones y nuevas técnicas (Rosales, 2016).

Nuevas expectativas de mantenimiento. El crecimiento continuo de la mecanización significa que los períodos improductivos tienen un efecto más importante en la producción, costo total y servicio al cliente.

Esto se hace más claro con el movimiento mundial hacia los sistemas de producción justo a tiempo, en el que los reducidos niveles de inventario en curso hacen que pequeñas averías puedan causar el paro de toda una planta. Esta consideración está creando fuertes demandas en la función del mantenimiento.

Una automatización más extensa significa que hay una relación más estrecha entre la condición de los equipos y la calidad del producto. Al mismo tiempo, se están elevando continuamente los estándares de calidad. Esto crea mayores demandas en la función del mantenimiento (Morocho, 2010).

Otra característica en el aumento de la mecanización es que cada vez son más serias las consecuencias de las fallas de una instalación para la seguridad y/o el medio ambiente. Al mismo tiempo los estándares en estos dos campos también están mejorando en respuesta a un mayor interés del personal directivo, los sindicatos, los medios de información y el gobierno (Cuatrecasas, 2010; Cuadrado, 2012).

Finalmente, el costo del mantenimiento todavía está en aumento, en términos absolutos y en proporción a los gastos totales. En algunas empresas, es ahora el segundo gasto operativo de costo más alto y en algunos casos incluso el primero. Como resultado de esto, en solo treinta años lo que antes no suponía casi ningún gasto se ha convertido en la prioridad de control de costo más importante (Rosaler, 2010; Schenck, 2010).

Nuevas Investigaciones de mantenimiento. Mucho más allá de las mejores expectativas, la nueva investigación está cambiando las creencias más básicas acerca del mantenimiento. En particular, se hace aparente ahora que hay una menor conexión entre el tiempo que lleva un equipo funcionando y sus posibilidades de falla.

La visión acerca de las fallas en un principio era simplemente que cuando los elementos físicos envejecen tienen más probabilidades de fallar, mientras que un conocimiento creciente acerca del desgaste por el uso durante la Segunda Generación llevó a la creencia general en la "curva de la bañera". Sin embargo, la investigación hecha por la Tercera Generación ha revelado que en la práctica actual no sólo ocurre un modelo de falla sino de diferentes maneras.

Nuevas técnicas de mantenimiento. Se está dando un aumento intenso en los nuevos conceptos y técnicas del mantenimiento. Se cuentan ahora decenas de ellos, y surgen más cada vez. Estos incluyen:

- Técnicas de monitoreo de condición
 - Sistemas expertos
 - Técnicas de gestión de riesgos
 - Modos de fallas y análisis de los efectos

- Análisis de confiabilidad y mantenibilidad

El problema que enfrenta el personal del mantenimiento hoy en día no es sólo el aprender cuáles son esas nuevas técnicas, sino también el ser capaz de decidir cuáles son útiles y cuáles no lo son para sus propias compañías (García, 2012). Si se elige adecuadamente, es posible que se mejore en la práctica el mantenimiento y a la vez se contenga e incluso se reduzca el costo mismo. Si se elige mal, se crean más problemas que a la vez harán más graves los existentes.

Tipos de mantenimiento

En las operaciones de mantenimiento podemos diferenciar las siguientes definiciones (Tsuchiya, 2001; Yamashita (s/f)):

Mantenimiento de conservación: es el destinado a compensar el deterioro sufrido por el uso, los agentes meteorológicos u otras causas. En el mantenimiento de conservación pueden diferenciarse:

- Mantenimiento correctivo: que corrige los defectos o averías observados.
- Mantenimiento correctivo inmediato: es el que se realiza inmediatamente de percibir la avería y defecto, con los medios disponibles, destinados a ese fin.
- Mantenimiento correctivo diferido: al producirse la avería o defecto, se produce un paro de la instalación o equipamiento de que se trate, para posteriormente afrontar la reparación, solicitándose los medios para ese fin.

1. Mantenimiento preventivo: como el destinado a garantizar la fiabilidad de equipos en funcionamiento antes de que pueda producirse un accidente o avería por deterioro. En el mantenimiento preventivo podemos ver:

- Mantenimiento programado: como el que se realiza por programa de revisiones, por tiempo de funcionamiento, kilometraje, etc.
- Mantenimiento predictivo: que realiza las intervenciones prediciendo el momento que el equipo quedara fuera de servicio mediante un seguimiento de su funcionamiento determinando su evolución, y por tanto el momento en el que las reparaciones deben efectuarse.
- Mantenimiento de oportunidad: que es el que aprovecha las paradas o periodos de no uso de los equipos para realizar las operaciones de mantenimiento, realizando las

revisiones o reparaciones necesarias para garantizar el buen funcionamiento de los equipos en el nuevo periodo de utilización (Uruen, 2015, p.48).

2. Mantenimiento de actualización: cuyo propósito es compensar la obsolescencia tecnológica, o las nuevas exigencias, que en el momento de construcción no existían o no fueron tenidas en cuenta pero que en la actualidad si tienen que serlo (Morochó, 2010).

El mantenimiento predictivo. Se puede conceptualizar el Mantenimiento de la siguiente manera:

- El Mantenimiento Correctivo, soluciona los problemas que han ocurrido intempestivamente, es costoso e impredecible.
- El Mantenimiento Preventivo, busca cumplir los requerimientos de catálogo o recomendaciones para garantizar un funcionamiento adecuado. Son recomendaciones de estudios que determinan la vida útil de un elemento por ejemplo el número de horas de un rodamiento, y que manejan supuestos de ciertas condiciones de trabajo o de montaje
- El Mantenimiento Predictivo, es el conjunto de actividades programadas para detectar fallas de los equipos en base a ensayos de medición de manera que se toma acciones correctivas directas y necesarias para solucionar un problema que empieza a manifestarse, con los equipos en operación y sin perjuicio de la producción, usando aparatos de diagnóstico y pruebas no destructivas.

La filosofía de este tipo de mantenimiento se basa en que normalmente las averías no aparecen de repente, tienen una evolución. Un defecto con el tiempo puede causar una grave avería.

Objetivo del mantenimiento predictivo. El mantenimiento predictivo es la aplicación de la tecnología en el proceso de la detección temprana para verificar y detectar cambios de condiciones de la maquinaria y consecuentemente persigue los siguientes objetivos:

- Conocer la condición de la maquinaria de tal manera que se pueda determinar su operación de manera segura eficiente y con economía.
- Detectar las condiciones del equipo sin pérdida de tiempo reduciendo los paros del mantenimiento tradicional como el mantenimiento preventivo, abrir para inspeccionar.
- Monitorear y hacer el seguimiento al comportamiento y tendencia del equipo detectado con problemas, para que este siga trabajando sin riesgo para la operación, el equipo y el personal y llevarlo a una reparación planeada.
- Reducir los costos debido al uso máximo de los componentes que son diseñados para el desgaste y no a un cambio en una fecha determinada.
- Mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos.
- Detectar problemas en la maquinaria.
- Evitar fallos catastróficos.
- Pronóstico de utilidad.

Métodos de diagnóstico. Una parte fundamental para el desarrollo del Mantenimiento Predictivo es el empleo en forma consistente de los métodos de diagnósticos de máquinas, se pueden evitar daños severos y elevados costos de reparación. Además, y aún más decisiva, la incidencia de roturas de máquinas puede ser reducida, y se puede minimizar las pérdidas de producción. El diagnóstico de máquinas, entendido

como una herramienta de mantenimiento proporciona la información necesaria para:

- Evaluar el estado (condición actual) de la máquina,
- Reconocer los síntomas de un daño en progreso,
- Identificar la causa y los componentes dañados,
- Pronosticar la vida útil en servicio remanente.

En forma general, existen varios métodos que están disponibles para el diagnóstico de máquinas, como son:

- Medida y Análisis de vibraciones,
- Medida y Análisis de ruido,
- Métodos de medida de Desplazamiento, expansión y Flujo,
- Análisis de lubricantes Ejemplo: Técnicas Espectroscópicas, Ferrografía, radioisótopos,
- Ensayos ópticos Ejemplo: Endoscopia, Observación con Microscopio, Inspección Visual,
- Ensayos no destructivos END de Materiales. Ejemplo: ultrasonidos, rayos x, Tintas Penetrantes, Partículas Magnéticas otras,

Utilizando los métodos de diagnóstico de máquinas, midiendo los síntomas de falla, y evaluando los valores globales, se determinará sí:

- La máquina puede continuar en operación sin tomar acción alguna. Debería tomarse alguna acción de mantenimiento, y en qué momento en el tiempo (pronóstico de la reserva de daños).
- Deberá ejecutarse un estudio analítico para definir las causas de un daño en progreso, o la máquina debe ser parada de inmediato para evitar un daño inminente.

Básicamente en estos métodos podemos escoger cuatro formas de evaluación:

- Evaluación por comparación de los valores medidos con valores límite recomendados por una Guía o Norma Técnica.
- Evaluación por comparación de los valores obtenidos con valores límite recomendados por el fabricante de la máquina.
- Evaluación en base a la experiencia ganada por el operador en esa misma máquina o en máquinas similares.
- Evaluación de la variación de los valores medidos a lo largo del tiempo
- La corrección de los fallos se realiza cuando ya este se ha detectado y puede causar una parada catastrófica para la producción.

Ventajas

- Reduce los tiempos de parada,
- Permite seguir la evolución de un defecto en el tiempo,
- Optimiza la gestión del personal de mantenimiento,
- Alta en la confiabilidad,
- Alta en la disponibilidad,
- Prolonga la vida útil de los equipos,
- Reducción del número de accidentes,
- Disminuye el inventario de repuestos,
- La verificación del estado de la maquinaria, tanto realizada de forma periódica como de forma accidental, permite confeccionar un archivo histórico del comportamiento mecánico,

- Conocer con exactitud el tiempo límite de actuación que no implique el desarrollo de un fallo imprevisto,
- Toma de decisiones sobre la parada de una línea de máquinas en momentos críticos,
- Confección de formas internas de funcionamiento o compra de nuevos equipos,
- Permitir el conocimiento del historial de actuaciones, para ser utilizada por el mantenimiento correctivo,
- Facilita el análisis de las averías,
- Permite el análisis estadístico del sistema.

Desventajas

- Costo de inversión en los equipos es alto,
- Costo de inversión en el servicio es alto,
- Ocupa personal especializado y exclusivo,
- Gran cuidado y calibración de equipos.

Al realizar un estudio de observación y valoración de las partes más afectadas en la empresa dentro del proceso productivo se observan los Poliductos, estos son redes de tuberías destinados al transporte de hidrocarburos o productos terminados.

Los poliductos transportan una gran variedad de combustibles procesados en las refinерías: keroseno, naftas, gas oíl, entre otros. Que son entregados en las terminales de recepción o en estaciones intermedias ubicadas a lo largo de la ruta. Un poliducto puede contener cuatro o cinco productos diferentes en distintos puntos de su recorrido EP PETROECUADOR cuenta con una red de poliductos ubicados estratégicamente e interconectados entre sí, que atraviesan las tres regiones del Ecuador Continental a través de 9 diferentes líneas, abastecen a todos los sectores sociales y productivos del país. Aproximadamente 1300 kilómetros de poliducto, cuya de bombeo, permite transportar alrededor de 6 millones de galones diarios de combustible.

Mantenimiento del Poliducto

- Mantenimiento de línea: se encarga del cuidado de la parte externa del poliducto consta con cuatro patrullas militares que se encargan del recorrido diario para precautelar y evitar robos de combustible en la línea de tubería.

Actividades

- Control de crecimiento de vegetación (desbroce),
- Reparación del revestimiento de tubería, bayonetas, full-raps,
- Corrección y reposición de marcos H, reparación, limpieza y pintura de puentes,
- Limpieza de alcantarillas, cunetas y drenajes,
- Mantenimiento de letreros y puntos de señalización,
- Mantenimiento de válvulas y canastillas,
- Mantenimiento y cuidado del derecho de vía,
- Construcción de obras de protección,
- Mantenimiento Eléctrico-mecánico,
- Mantenimiento programado, correctivo y predictivo de todos los equipos y accesorios que intervienen en el bombeo de combustibles tanto en la estación de bombeo como en la reductora en Ambato.

Las actividades que realizan son:

- Mantenimiento de equipos cada 500, 1000, 2000, 6000, 12000, y 24000 horas de funcionamiento,

- Overhaul completo de motores de combustión incrementadores de velocidad y bombas centrífugas,
- Reparaciones de contadores de flujo Smith meter, compresores de aire, bombas booster, bombas de trasiego, bombas horizontales, y la reparación de todas las válvulas que componen el sistema.

Debemos aclarar que la capacidad de transporte varía y depende del tamaño de la tubería, entre más grande sea el diámetro, mayor la capacidad.

Con la aplicación de ese programa se podrá configurar un conjunto de materiales, haciendo listados de las partes correspondiente a ingeniería y a manufactura y actualizándolas de "entregadas" a "mantenidas" y finalmente a "utilizadas".

Otra función es la planificación de proyectos logísticos, como por ejemplo la identificación de los elementos críticos de una lista que deben ser llevados a cabo (inspección, diagnóstico, localización de piezas y servicio) y el cálculo de tiempos de respuesta. Otras tareas que este programa puede gestionar son:

- Planificación de proyectos,
- Gestión de la ejecución de proyectos,
- Gestión de activos (partes, herramientas e inventario de equipos),
- Gestión del conocimiento en temas como: Histórico de mantenimiento,
- Número de serie de partes y material.

Los equipos críticos, son aquellos que al fallar pueden afectar la seguridad del personal, el entorno ambiental, provocar un paro de la producción o incrementar el costo de mantenimiento.

El objetivo es priorizar el esfuerzo de mantenimiento, enfocado a la satisfacción del cliente, favoreciendo y promoviendo el aprovechamiento de los recursos del área en las actividades de mayor valor. Para determinar la criticidad dentro de la planta es necesario asignar valores a la máquina o equipo de cero a diez a cada ítem en consideración.

Al llegar a este punto estamos ya en condiciones de tomar decisiones para un buen desempeño de la industria, teniendo en cuenta la información de cada uno de los equipos, su historial, su criticidad, etc. (Chung, 2013).

Son parámetros que hay que tener en cuenta para la planificación del mantenimiento y gestión de recursos, materiales, repuestos, entre otros; esto hace que a partir del estudio y la programación podamos desarrollar el mantenimiento adecuado sin tener mayores afectaciones en la industria, lo que propicia un servicio más eficiente y eficaz, un mayor ahorro del presupuesto designado, con el cumplimiento de las medidas de seguridad a los trabajadores, al medio ambiente y la toma de decisiones en cada una de las fallas que se puedan presentar y prever.

Conclusiones

Con los métodos y mediciones modernos para el diagnóstico de máquinas, el estado actual de las máquinas puede ser medido, evaluado, y mejorado. La máquina controlada deberá operar sin inconvenientes hasta la próxima inspección programada. En el intervalo de operación entre inspecciones, las máquinas podrán funcionar sin ninguna medida precautoria adicional o ser vigiladas en su

comportamiento.

Con el conocimiento para valorar el estado de las máquinas y el diseño de un programa de mantenimiento proactivo en equipos mecánicos, se reducirá el mantenimiento correctivo en el transporte de hidrocarburos.

Referencias bibliográficas

- Acevedo Borrego, A. (2010). El modelo conceptual de las 4 dimensiones para la resolución de problemas. *Industrial Data*, 13(2), 015-024. <https://doi.org/10.15381/idata.v13i2.6179>
- Asociación Española para la Calidad. (2016). Mantenimiento. Obtenido de <http://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/mantenimiento>
- Cuadrado, E. (2012). Mantenimiento Industrial. Riobamba s/n.
- Cuatrecasas, L. (2010). *Total Productive Maintenance*. Barcelona: Gestión 2000.
- Chung, A. (2013). Modelo prospectivo a la Universidad Pública al 2040. *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial*, 16(2): 86-91.
- Enciclopedia Culturalia. (21 de enero de 2013). Mantenimiento. Obtenido de <https://edukavital.blogspot.com/2013/01/definicion-de-mantenimiento.html> leppetroecuador.ec.
- García, J. (2010). *Análisis de Vibraciones*. Cali: Ed. Mac-Graw-Hill / Interamericana de editores, s.a.
- García, S. (2012). TPM - Total Productive Maintenance. Obtenido de <http://www.mantenimientopetroquimica.com/tpm.html>.
- Morocho, M. (2010). *Administración del mantenimiento*. Ecuador: Docucentro.
- Newbrough, E. P. (2010). *Administración de mantenimiento industrial*. México. Obtenido de *Administración de mantenimiento industrial*. Edición 12ª. México.
- Rosales, D. (agosto de 2016). Mantenimiento mecánico. Obtenido de <http://dmrrmanteniminetomecanico.blogspot.com/2016/08/evolucion-elmantenimiento-mecanico.html>
- Rosaler, R. (2010). *Manual del ingeniero de planta*. Ed. Mac-Graw Hill / Interamericana de editores, S.A.
- Schenck, C. (2010). Diagnóstico de máquinas, equilibrado en el sitio. USA
- Tsuchiya, K. (2001). Mantenimiento Productivo Totales Para Todos.
- Uruén, A. (2015). Mantenimiento Industrial. Obtenido de <http://www.proased.com/index.php/industria/mantenimiento-industrial/>
- Yamashita, T (s/f). Introducción al Mantenimiento Productivo Total.