

## PROGRAMA DE CONTROL DE MANTENIMIENTO PROACTIVO DE EQUIPOS MECÁNICOS UTILIZADOS EN EL TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS EN ECUADOR

### Ronal Moscoso Jácome

✉ ronal.moscoso@eppetroecuador.ec  
Empresa Pública de Hidrocarburos del Ecuador EP  
PETROECUADOR - Ecuador

### Eduardo Rivas Tufiño

✉ alfonso.rivas@eppetroecuador.ec  
Empresa Pública de Hidrocarburos del Ecuador EP  
PETROECUADOR - Ecuador

### Sergio Núñez Solano

✉ sergio.nunez@ec.nestle.com  
Compañía NESTLE - Ecuador

## RESUMEN

La presente investigación se basa en conceptos del mantenimiento en los últimos años, epistemológicamente hablando el mantenimiento industrial es el conjunto de tareas preventivas, predictivas o correctivas con la finalidad de tener una máquina o un sistema de máquinas en óptimas condiciones para su funcionamiento a menor costo. El objetivo del estudio fue determinar la relación entre el mantenimiento correctivo y mantenimiento proactivo de los equipos mecánicos de transporte de hidrocarburos en el Ecuador. Se define una nueva teoría de mantenimiento llamada proactivo la cual es ejecutada por un sistema informático, que en la realidad es un software que utiliza algoritmos para la concatenación entre los mantenimientos tanto correctivo, preventivo y predictivo uniéndolos en un solo programa, dando como resultado una optimización del mantenimiento en sistemas mecánicos del transporte de hidrocarburos. La metodología utilizada es de enfoque cuantitativo; el tipo de investigación aplicada es documental y experimental, la observación in situ proporcionó información como primera fuente. Los resultados más importantes son la mejora en paradas por falla, reducción de costos, ahorro, optimización del mantenimiento en sistemas mecánicos del transporte de hidrocarburos que han dado un desarrollo sustentable a la empresa y al país.

**Palabras claves:** mantenimiento predictivo, mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo, mantenimiento proactivo y programa.

## ABSTRACT

This research is based on concepts of maintenance in recent years, epistemologically speaking industrial maintenance is the set of preventives, predictive or corrective tasks in order to have a machine or a system of machines in optimal conditions for operation at lower cost. The objective of the study was to determine the relationship between corrective maintenance and proactive maintenance of mechanical equipment for hydrocarbon transport in Ecuador. A new maintenance theory called proactive is defined which is executed by a computer system, which in reality is a software that uses algorithms for the concatenation between both corrective, preventive and predictive maintenance joining them in a single program, resulting in a optimization of maintenance in mechanical systems of hydrocarbon transport. The methodology used is quantitative approach; The type of applied research is documentary and experimental, the observation in situ provided information as the first source. The most important results are the improvement in failure stops, cost reduction, savings, maintenance optimization in mechanical systems of hydrocarbon transport that have given sustainable development to the company and the country.

**Keywords:** predictive maintenance, preventive maintenance, corrective maintenance, proactive maintenance and program

Fecha recepción: septiembre 2019  
Fecha aceptación: diciembre 2019

## 1. INTRODUCCIÓN

EP PETROECUADOR, empieza a funcionar como empresa pública de hidrocarburos en abril del 2010 bajo Decreto Ejecutivo No. 315, donde se hace mención sobre la gestión de los recursos naturales no renovables del país, la misma que debe cumplir condiciones de preservación ambiental; estas actividades refieren al transporte, refinación, almacenamiento y comercialización nacional e internacional de hidrocarburos (EP PETROECUADOR, 2018).

El presente artículo se enfoca en el sistema de mantenimiento que se aplicó en los años 2015 y 2016 a los equipos mecánicos, que intervienen en el transporte de productos limpios como la gasolina súper, gasolina extra, diésel 2, diésel Premium y jet fuel a través de poliductos, identificados como tuberías de polietileno. Además, se evidencia los resultados obtenidos en cada año y se expone las diferencias significativas cuando se aplica mantenimiento correctivo y cuando se aplica mantenimiento proactivo con la utilización de un programa informático que controla estas actividades (Moscoso, 2017).

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; son aproximadamente 1300 kilómetros de poliducto, cuya capacidad de bombeo, permite transportar alrededor de 6 millones de galones diarios de combustible (EP PETROECUADOR, 2014).

La siguiente tabla muestra la extensión en Km de los poliductos que operan en el Ecuador.

Poliductos	Extensión (Km)
Esmeraldas – Quito	252,9
Shushufindi – Oyambaro – Quito	305
Quito – Ambato	111
Domingo – Pascuales	247
Libertad – Pascuales	128
Libertad – Manta	170
Tres Bocas – Pascuales	20
Tres Bocas – Fuel Oil	5,6
Tres Bocas – Salitral	5,5

Tabla 1: Extensión en Km de los oleoductos  
Fuente: (EP PETROECUADOR, 2014)  
Elaborado: Por los autores

En el año 2004, la empresa estatal en ese entonces Petroecuador, disponía de un programa de gestión de mantenimiento llamado Main Traker, Sistema AS400, al que se le encontró deficiencia a la hora de detectar oportunamente las fallas en los equipos que operan en los poliductos; causando paradas de operación, lo que conllevaba al abastecimiento irregular de los combustibles, por ende, pérdidas económicas para el Estado (Moscoso, 2017).

Actualmente la empresa trabaja con otro sistema de gestión manual de mantenimiento de equipos llamado MAXIMO, sin embargo, el problema de paradas de operación por gestión de mantenimiento correctivo persiste y peor aún, no han disminuido estas fallas; a pesar de ello, se sigue implementando una serie de tipos de mantenimiento tales como mantenimiento basado en la confiabilidad, mantenimiento predictivo, y preventivo, pero no se ha conseguido los resultados esperados. (Moscoso, 2017)

Es ineludible aplicar mantenimiento a las maquinas o equipos industriales, pues se

espera que, durante el tiempo que están en actividad los equipos, estos estén funcionando perfectamente, manteniendo una producción estable para la continua comercialización, además es una forma de mantener la seguridad del personal operativo porque se evitarían accidentes laborales. (Termowatt, 2018).

Por su parte, Newbrough, E. T. (1998) Considera que:

La eficiencia que prestan las máquinas, equipos e instalaciones depende del mantenimiento como actividad principal realizada por el personal especializado. Este mantenimiento puede ser correctivo que se realiza cuando hay pérdida de eficiencia de un equipo inesperadamente o preventivo que se realiza antes que la máquina pierda su eficiencia inesperadamente.

Desde tiempos antiguos hasta la fecha se defiende un sistema de mantenimiento industrial enfocado a la prevención y corrección de fallas mecánicas, pero a costa de un aumento significativo en el presupuesto de la empresa.

Para Monchy (2003) los diversos aspectos del mantenimiento están definidos de la siguiente manera:

Mantenimiento preventivo	Mantenimiento correctivo
Sistemático	Diagnóstico
Condicional	Reparación

Tabla 2: Diferentes aspectos del mantenimiento  
Fuente: (Monchy, 2003)  
Elaborado: Por los autores

El mantenimiento preventivo se enfoca a la ejecución de acciones e intervenciones en el equipo, mediante lubricación o limpieza a fin de evitar el reemplazo de ciertas piezas durante el tiempo de degradación, con la finalidad de limitar el desgaste; se lleva a cabo en un tiempo previo y de

manera sistemática de acuerdo a horarios predefinidos (Monchy, 2003).

El mantenimiento correctivo en cambio se basa en acciones inmediatas, cada vez que un equipo falla se realiza la reparación o restauración para que continúe la operatividad, es un problema que conduce a pérdida de tiempo y costos significativos. (Mital, Anoop, et al. 2014).

Para el Grupo América Factorial S.A.C., la gestión del mantenimiento industrial se define según el tipo y necesidad de la empresa. El propósito de la gestión de operaciones de mantenimiento es, optimizar la producción, evitar la paralización de la manufactura, reducir costos, minimizar el desperdicio de recursos, prolongar la vida útil de los equipos, entre otros.

Las tareas de mantenimiento se basan principalmente en las actividades de conservación, revisión y reparación de los equipos, para lo cual se establecen estrategias de mantenimiento clásico como:

Tipos de Mantenimiento	Característica
Correctivo	Corregir defectos y solucionar fallas.
En Uso	Limpieza, inspección visual, toma de datos, lubricación, entre otros.
Preventivo	Actividades programadas con anterioridad, localización de vulnerabilidades.
Predictivo	Recopilar y analizar información para tareas preventivas.
Periódico	Rutina de tareas predefinidas.
Cero horas	Renovar piezas del equipo y ponerlo de fábrica.
De Verificación	Revisión del funcionamiento de piezas sustituidas.
De Calibración	Revisión y ajuste de parámetros de los equipos.
Integrado	Trabajo en equipo, integración de los departamentos de la empresa.

Tabla 3: El mantenimiento industrial clásico  
Fuente: (IntegraMarkets, 2018)  
Elaborado: Por los autores

Trujillo (2002) considera que lo más importante con respecto a las actividades de mantenimiento es; extender la vida de los equipos mecánicos para lo cual propone una técnica de mantenimiento proactivo que encapsula al mantenimiento preventivo y predictivo.

Mantenimiento proactivo es una filosofía de mantenimiento, dirigida fundamentalmente a la detección y corrección de las causas que generan el desgaste y que conducen a la falla de la maquinaria. Una vez que las causas que generan el desgaste han sido localizadas, no se debe permitir que éstas continúen presentes en la maquinaria, ya que, de hacerlo, su vida y desempeño, se verán reducidos (Moscoso, 2017).

Estamos en una era tecnológica, donde los programas informáticos se han convertido en herramientas esenciales para la empresa, porque optimizan el control de procesos, fortalecen la gestión empresarial, brindan apoyo fundamental en la toma de decisiones, reducen los costos y sobre todo incrementan la productividad. (Provedatos, 2019).

Nuevas técnicas de mantenimiento. – así mismo a la par con la tecnología surgen nuevos conceptos y paradigmas entorno al mantenimiento industrial; las 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, se han convertido en bases para el mantenimiento industrial (Trujillo, 2014).

En concordancia a lo expuesto, es fundamental identificar y reconocer el tipo de programa informático a implementarse, el mismo que debe estar aliado a los

requerimientos de la empresa; en este sentido en el Poliducto más importante de Ecuador, Esmeraldas - Quito, lugar donde se realizó la investigación; se identificó como principal problema, la ausencia de una herramienta informática eficaz, capaz de controlar las actividades necesarias del mantenimiento que se realiza a los equipos mecánicos utilizados en el transporte de hidrocarburos, lo que propicio experimentar con la teoría de mantenimiento proactivo mediante un programa informático, que supervise estas actividades.

Para implementar y ejecutar la teoría de mantenimiento proactivo con el programa informático Trendline 2 (plataforma de supervisión de mantenimiento) junto con el equipo de detección Detector II, se conoció en primera instancia las fallas más comunes que se dan en los equipos mecánicos del oleoducto, siendo estas: físicas y funcionales. A la par se estableció y ejecuto acciones de control y verificación de actividades de mantenimiento en el área eléctrico-mecánica de todos los equipos y elementos que intervienen en el bombeo de combustibles, como: turbinas de gas, de vapor, hidráulicas, motores eléctricos, bombas, ventiladores, motores de combustión internas, chumaceras, correas mecánicas, entre otras.

Las actividades de mantenimiento que realiza el personal operativo, son las siguientes:

- 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.
- Reparación de contactores 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 (Moscoso, 2017).

Las actividades de mantenimiento que realiza la empresa se reducen a mantenimiento preventivo y correctivo.

El objetivo del estudio ha sido determinar la relación entre el mantenimiento correctivo y mantenimiento proactivo de los equipos mecánicos de transporte de hidrocarburos en el Ecuador, mediante la aplicación de una plataforma de supervisión de mantenimiento se comprueba, la hipótesis planteada; que determina la existencia de diferencias significativas en los mantenimientos correctivos del año 2015 (sin presencia de mantenimientos proactivos) con respecto al año 2016 (con presencia de mantenimientos proactivos). (Moscoso, 2017)

La utilización de nuevos paradigmas de mantenimiento en la industria petrolera ecuatoriana en combinación con la tecnología da como resultado, procesos más eficientes que aumentan la productividad, ahorro de tiempo y presupuesto en mantenimientos correctivos. La utilización de Trendline 2 favorece el control de los mantenimientos a realizarse en el oleoducto, porque al intercambiar datos con el Detector II (instrumento de mantenimiento predictivo); este monitorea, evalúa, realiza un análisis de los datos y los grafica para que el personal encargado del mantenimiento tome una decisión acertada cuando programe nuevas actividades.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Poliducto Esmeraldas-Quito; se utilizó metodología con enfoque cuantitativo. El tipo de investigación aplicada es la documental y experimental, se obtuvo información de los resultados históricos del año 2015; además se realizó la observación directa a las operaciones con equipos in situ.

La población está determinada por todos los mantenimientos semanales durante los años 2015 y 2016; la muestra se definió por los mantenimientos realizados durante 96 semanas, los cuales fueron distribuidos en 48 semanas sin mantenimientos proactivos y 48 semanas con mantenimientos proactivos y programa Trendline 2.

Como técnica de investigación, se aplicó la encuesta a los operadores de mantenimiento.

La investigación planteó como hipótesis general demostrar que existe diferencia significativa en los mantenimientos correctivos del año 2015 (sin presencia de mantenimientos proactivos) con respecto al año 2016 (con presencia de mantenimientos proactivos) y para su comprobación se realizó las siguientes actividades:

- Determinación de las paradas por mantenimiento correctivo del año 2015
  - Determinación de las paradas por mantenimientos correctivos del año 2016 con el nuevo programa.
  - Evaluación de los resultados del nuevo programa con relación al año anterior
- Identificación de las fallas que

se producen cuando realizan las actividades de transporte de hidrocarburos y durante la manipulación de los sistemas de mantenimiento implementados (Moscoso, 2017).

### 3. RESULTADOS

El mantenimiento proactivo se aplicó en el año 2016, debido a que en el 2015 el trabajo estaba basado escasamente en mantenimientos preventivos y predictivos, porque no han sido considerados fundamentales en el desarrollo formal de los procesos.

En la tabla No. 4 se muestran los resultados obtenidos en el año 2015 distribuidos en 48 semanas que corresponden a 12 meses, sin la aplicación del mantenimiento proactivo ni utilización de Trendline 2:

t (meses)	Mantenimiento Correctivo	Tiempo de Parada (minutos)	Tiempo Total por paradas de mantenimiento	Mantenimiento Preventivo Planificado	Mantenimiento Preventivo Ejecutado	Tiempo de Mantenimiento Preventivo (minutos)	Mantenimiento Predictivo	Tiempo por Orden de Trabajo de Mantenimiento Predictivo (minutos)	Mantenimiento Proactivo	P-401	P-402	P-403
1	19	108	509	40	40	2700	1	1330	0	6	7	6
2	7	75	240	40	40	2521	1		0	2	2	3
3	7	132	282	40	40	2700	1	540	0	3	2	2
4	7	100	176	40	40	2400	1	450	0	2	2	3
5	12	122	511	40	40	2834	1	230	0	4	5	3
6	8	105	275	40	40	2520	1	180	0	2	3	3
7	12	123	415	40	40	2483	1	20	0	5	3	4
8	7	195	372	40	40	2300	1	32	0	3	3	1
9	1	84	52	40	40	3219	1	340	0	1	0	0
10	3	179	179	40	40	2394	1	221	0	0	2	1
11	4	137	184	40	40	2400	1	335	0	1	1	2
12	4	97	201	40	40	3140	1	12	0	1	0	3
91	1457	3396	480	480	31611			3690	0	30	30	31

Tabla 4: Tiempos de paradas - mantenimiento correctivo sin el programa  
Fuente: (Moscoso, 2017)  
Elaborado por: Los Autores

En la tabla se evidencia un total de 91 mantenimientos correctivos anuales, en 3396 minutos, tiempo total de parada por

mantenimiento. Se muestra además el número de mantenimientos preventivos ejecutados con un total de 480 realizados en un tiempo de 31611 minutos. Por mantenimiento predictivo se observan 12 mantenimientos con un tiempo total de 3690 minutos. En este periodo no se realiza mantenimiento proactivo.

t (meses)	Mantenimiento Correctivo	Tiempo de Parada (minutos)	Tiempo Total por paradas de mantenimiento	Mantenimiento Preventivo Planificado	Mantenimiento Preventivo Ejecutado	Tiempo de Mantenimiento Preventivo (minutos)	Mantenimiento Predictivo	Tiempo por Orden de Trabajo de Mantenimiento Predictivo (minutos)	Mantenimiento Proactivo	P-401	P-402	P-403
1	6	191	290	48	44	2376	2	450	2	2	2	2
2	7	181	328	48	50	2700	2	420	2	0	2	5
3	6	185	265	48	48	2592	2	453	2	3	1	2
4	4	140	224	48	48	2592	2	186	2	2	2	0
5	4	175	175	48	48	2592	2	466	2	2	1	2
6	4	124	170	48	48	2592	2	868	2	1	2	1
7	1	40	40	48	48	2592	2	60	2	0	1	0
8	1	59	59	48	48	2592	2	88	2	1	0	0
9	2	108	108	48	48	2592	2	185	2	0	2	0
10	1	56	56	48	48	2592	2	533	2	1	0	0
11	2	85	85	48	48	2592	2	95	2	0	0	1
12	2	101	101	48	50	2592	2	197	2	1	0	1
40	1445	1901		576	30996			4001	24	13	13	14

Tabla 5: Tiempos de paradas - mantenimiento correctivo con el programa  
Fuente: (Moscoso, 2017)  
Elaborado por: Los Autores

En la tabla 5 se muestran los resultados obtenidos en el año 2016 igualmente distribuidos en 48 semanas que corresponden a 12 meses, con la aplicación del mantenimiento proactivo utilizando Trendline 2:

Como se observa en la tabla 5, se realizaron 40 mantenimientos correctivos en un tiempo total de parada de 1901 minutos; 576 mantenimientos preventivos ejecutados en un tiempo total de 30996 minutos. Por mantenimiento predictivo se observan 24 mantenimientos con un tiempo total de 4001 minutos. En este periodo se aplican 24 mantenimientos proactivos.

En la figura 1 se emplea un diagrama de cajas para resumir los datos de las tablas 4 y 5 de los periodos 2015 y 2016 respectivamente.

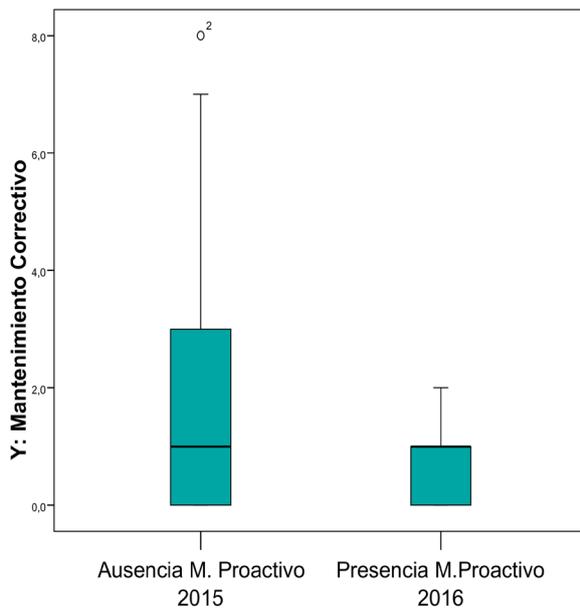


Figura 1. Mantenimientos Correctivos  
Fuente: (Moscoso, 2017)  
Elaborado por: Los Autores

En la figura 1 se puede observar que los mantenimientos correctivos del año 2016 no llegan a alcanzar a la media de los mantenimientos correctivos del año 2015.

#### 4. DISCUSIÓN

En base a los resultados obtenidos se considera el mantenimiento proactivo como una variable dicotómica (Ausencia/Presencia) que actúa en los dos periodos 2015 y 2016 con incidencia significativa.

En el periodo 2015 los datos demuestran un número elevado de mantenimientos correctivos, durante este tiempo la empresa ejecutó mantenimientos correctivos y preventivos clásicos que elevaban el presupuesto por costo de mantenimiento,

lo que incidió negativamente en el proceso de producción y comercialización de los hidrocarburos.

Durante el periodo 2016 se aplica la técnica de mantenimiento proactivo con el programa Trendline 2, donde se obtiene como resultado mantenimientos correctivos inferiores con respecto al año 2015. El programa de mantenimiento permitió reducir los mantenimientos correctivos en el transporte de hidrocarburos en un 56%.

Entorno a lo mencionado, se comprueba que el programa es de gran utilidad para EP PETROECUADOR porque mejora la operatividad del transporte de hidrocarburos, reduce los costos de mantenimiento, optimiza recursos materiales y humanos, ayuda a tomar decisiones acertadas en el control del mantenimiento.

#### 5. CONCLUSIONES

- Se ha hecho una validación por el personal técnico operativo de la EP PETROECUADOR en el Poliducto Esmeraldas-Quito que tiene un tramo de 252,9 Km; se verificó y concluyó, que el programa de mantenimiento proactivo redujo considerablemente en un 56% el número de mantenimientos correctivos durante el año 2016 incidiendo positivamente en el presupuesto anual de la empresa porque se redujo el costo y tiempo de las tareas de mantenimiento.
- La filosofía del mantenimiento proactivo en combinación con la tecnología en el mantenimiento industrial, busca que los equipos mecánicos estén funcionando al 100%. Además de prolongar la vida

útil de los máquinas y elementos que intervienen en el transporte de hidrocarburos como son: turbinas de gas, de vapor, hidráulicas, motores eléctricos, bombas, ventiladores, motores de combustión internas, chumaceras, correas mecánicas, entre otras.

## 6. FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

1. EP PETROECUADOR. (2014). Transporte de derivados a través de poliductos. Quito: EP PETROECUADOR.
2. EP PETROECUADOR. (2018). Informe de Gestión – Rendición de Cuentas 2018. Quito.
3. IntegraMarkets. (2018). Gestión y Planificación del Mantenimiento Industrial (2 ed.). Lima, Perú. doi:ISBN: 9781370710768
4. Mital, A., Anoop, D., Subramanian, A., & Mital, A. (2014). Diseño y Mantenimiento. Clencia Directa, II. doi:doi.org/10.1016/B978-0-12-799945-6.00008-9
5. Monchy, F. (2003). Mantenimiento, métodos y organizaciones. Paris: ISBN 2-10 -007816-5.
6. Moscoso, R. E. (2017). Programa de control del mantenimiento proactivo y correctivo en equipos mecánicos del transporte de hidrocarburos en el Ecuador (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.
7. Newbrough, E. T. (1998). Administración de Mantenimiento Industrial: organización, motivación y control en el mantenimiento industrial (1 ed.). México: Diana.
8. Provedatos. (10 de noviembre de 2019). Software de Gestión empresarial. Obtenido de ¿Por qué contar con un sistema para optimizar los procesos de mi empresa?: <https://www.provedatos.com/importancia-sistema-gestionar-optimizar-procesos-empresa/>
9. Termowatt. (28 de Marzo de 2018). Blog y noticias sobre la Industria. Obtenido de Termowatt - Energy facility service: <https://www.termowatt.com/blog-actualidad/82-cuales-son-los-tipos-de-mantenimiento-industrial>
10. Trujillo, G. (26 de agosto de 2002). El Mantenimiento Proactivo como una herramienta para extender la vida de sus equipos. Obtenido de <http://www.mantenimientomundial.com/notas/lubproact.pdf>
11. Trujillo, G. (Septiembre de 2014). 3er. Congreso Mexicano de Confiabilidad y Mantenimiento. Monitoreo de Condición – Una estrategia de Integración de Tecnologías. Mexico.