



**ESCUELA SUPERIOR POLITÈCNICA DE CHIMBORAZO**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE  
VARIABLES PARA REDUCCIÓN DE PARADAS DE MOTORES DE  
BOMBAS DE LA ESTACIÓN CAYAGAMA DE LA EMPRESA  
OLEODUCTO DE CRUDOS PESADOS OCP ECUADOR S.A.”**

**AUTOR: CÉSAR SAÚL MIRANDA SALINAS**

Proyecto de investigación presentado ante el Instituto de Posgrado y  
Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención  
del grado de Magister en “GESTIÓN DE MANTENIMIENTO  
INDUSTRIAL”.

**RIOBAMBA  
ENERO 2016**

# ESCUELA SUPERIOR POLITÈCNICA DE CHIMBORAZO

## CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El proyecto de investigación “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE VARIABLES PARA REDUCCIÓN DE PARADAS DE MOTORES DE BOMBAS DE LA ESTACIÓN CAYAGAMA DE LA EMPRESA OLEODUCTO DE CRUDOS PESADOS OCP ECUADOR S.A.”, de responsabilidad del Ingeniero César Saúl Miranda Salinas, ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Tribunal:

\_\_\_\_\_  
Ing. Wilian Enrique Pilco Mosquera. (Msc)  
**PRESIDENTE**

\_\_\_\_\_  
FIRMA

\_\_\_\_\_  
Ing. Julio Nolberto Pérez Guerrero. (PhD)  
**DIRECTOR**

\_\_\_\_\_  
FIRMA

\_\_\_\_\_  
Ing. Juan Rafael Pérez Pupo. (PhD)  
**MIEMBRO**

\_\_\_\_\_  
FIRMA

\_\_\_\_\_  
Ing. Marcelo Nelson Navarro Ojeda. (PhD)  
**MIEMBRO**

\_\_\_\_\_  
FIRMA

\_\_\_\_\_  
**COORDINADOR SISBIB ESPOCH**

\_\_\_\_\_  
FIRMA

Riobamba, 25 de enero del 2016

## **DERECHOS INTELECTUALES**

Yo, César Saúl Miranda Salinas, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el presente Proyecto de Investigación, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

CI. 1801935527

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, porque en Él está inspirada mi vida, a mi familia a quienes les debo el sacrificio realizado, dando en todo momento el apoyo que constituyó el motor para conseguir y alcanzar una meta más, especialmente a mi esposa Patricia, a mis hijos Daniela, Sebastián y Emilia.

Un agradecimiento especial al Instituto de Postgrado y Educación Continua de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ESPOCH y sus profesores, a la Empresa Oleoductos de Crudos Pesados y sus directivos por facilitar el tiempo e información para el desarrollo del trabajo presentado, a los profesores de la IPEC que aportaron con su conocimiento.

Finalmente, agradezco, por el gran aporte al desarrollo de la tesis, al Dr. Julio Nolberto Pérez Guerrero, como Director y a los miembros de tribunal Dr. Juan Rafael Pérez Pupo y Dr. Marcelo Nelson Navarro Ojeda.

César Saúl

## CONTENIDO

	INDICE DE FIGURAS	vii
	INDICE DE TABLAS	x
	RESUMEN	xi
	ABSTRACT	xii
1	INTRODUCCIÓN	13
1.1.	Problema de investigación	14
1.1.1	Planteamiento del problema	14
1.1.2.	Formulación del problema	17
1.1.3.	Sistematización del problema	17
1.1.4	Justificación de la investigación	18
1.2	Objetivos	24
1.2.1	Objetivo general	24
1.2.2	Objetivos específicos	24
1.3	Hipótesis	24
2	MARCO DE REFERENCIA	25
2.1	Análisis de conceptos	25
2.1.1	Mantenimiento	25
2.1.2	Monitoreo	30
2.2	Fundamentos teóricos y metodológicos del monitoreo de variables de motores de combustión	32
2.2.1	Monitoreo de condición	32
2.2.2	Funciones del monitoreo	34
2.2.3	Áreas de utilización del monitoreo	34
2.2.4	Organización del monitoreo	35
2.2.5	Metodología de las inspecciones para monitoreo	36
2.3	Técnicas de monitoreo	36
2.3.1	Técnicas aplicadas al mantenimiento predictivo	37
2.4	Conclusiones del capítulo II	47

3	MÉTODOS Y MATERIALES	48
3.1	Fundamentación de la solución	48
3.2	Modelo del sistema de monitoreo	49
3.3	Modelo para la implementación del sistema de monitoreo de variables para motores VASA 12V32LN en la estación Cayagama del Oleoducto de Crudos Pesados	51
3.4	Metodología para la implementación de un sistema de monitoreo de variables en motores Wartsila vasa12v32ln de la estación Cayagama de la empresa oleoducto de crudos pesados	53
3.4.1	I Etapa. Diagnóstico de la situación inicial de los motores Wartsila. VASA 12V32 LN de la estación Cayagama	54
3.4.2	II Etapa. Implementación del sistema de monitoreo de variables	55
3.4.3	III Etapa. Verificación y análisis de la información del sistema de monitoreo de variables	62
3.5	Conclusión del capítulo III	63
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	65
4.1	Diagnóstico de la situación inicial del monitoreo de los motores Wartsila VASA 12V32 LN de la Estación Cayagama	65
4.1.1	Análisis de paradas no programadas	66
4.1.2	Análisis de modos de falla	68
4.2	Implementación del sistema de monitoreo de variables	70
4.2.1	Elaboración de procedimientos	71
4.2.2	Difusión y entrenamiento de procedimientos e instructivos	72
4.2.3	Diseño de la captura, almacenamiento y procesamiento de datos de monitoreo de variables de motores	74
4.3	Verificación, y análisis de la información del sistema de monitoreo de variables	81
4.4	Análisis de resultados globales de la aplicación del sistema de monitoreo de variables en los motores de bombas de la estación Cayagama	84
4.4.1	Análisis comparativos de paradas no programadas	84

4.4.2	Análisis comparativo de modos de falla	87
	CONCLUSIONES	90
	RECOMENDACIONES	92
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura.1.1	Perfil geográfico de Oleoducto de Crudos Pesados OCP Ecuador	14
Figura 1.2	Imagen de los Motores de Combustión Interna Wartsila VASA 12V 32 LN montados en paralelo de la Estación Cayagama.	15
Figura 2.1	Concepción del mantenimiento en los años cincuenta	26
Figura 2.2	Cuatro generaciones del concepto de mantenimiento	28
Figura 2.3	Evolución de las técnicas de mantenimiento	29
Figura 2.4	Curva condición vs tiempo	33
Figura 2.5	Variaciones de vibración de un cojinete en el tiempo	35
Figura 2.6	Registro de vibraciones en un ciclo de trabajo Transformada tiempo-frecuencia	38
Figura 2.7	Los valores globales de vibraciones en una caja de engranajes	39
Figura2.8	Señal de espectros en el tiempo del medidor de crudo	41
Figura 2.9	Medición de temperatura con cámara infrarroja a distancia	42
Figura 2.10	Ejemplo de árbol de fallas	43
Figura 2.11	Variables de estudio	44
Figura 3.1	Diagrama de flujo del sistema de bombeo de la estación Cayagama	50
Figura 3.2	Modelo del procesos de monitoreo de variables	51
Figura 3.3	Estructura metodológica para la implementación de un sistema de monitoreo de variables en motores Wartsila vasa12v32ln de la estación Cayagama de la empresa oleoducto de crudos pesados	54
Figura 3.4	Arquitectura de toma de datos con el sistema SCADA de la Estación Cayagama	60
Figura 3.5	Pantalla general del HMI	61
Figura 3.6	Ejemplo de gráficos de Excel	62
Figura 4.1	Entrenamiento en el cuarto de control	72
Figura 4.2	Prácticas en el cuarto de control	73
Figura 4.3	Diseño de la captura, almacenamiento y procesamiento de datos de monitoreo de variables de motores	74
Figura 4.4	Hoja de datos de monitoreo de variables de un día	75
Figura 4.5	Tendencia de desviación de temperatura de gases de escape entre	80

válvulas de motor D-0201A que superó los límites del sistema de monitoreo de variables de motores

Figura 4.6	Cantidad de paradas no programadas por años	85
Figura 4.7	Promedio de paradas	86
Figura. 4.8	Costos vs paradas por cada año	87
Figura 4.9	Promedio de costos de modos de falla	89

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Descripción de las características de motores principales de la estación Cayagama	15
Tabla 2.1	Técnicas de monitoreo de variables	46
Tabla 3.1	Tiempos de entrenamiento a operadores	57
Tabla 4.1	Resumen de paradas no programadas de Cayagama desde el año 2011 al 2014	66
Tabla 4.2	Total paradas por equipo desde el año 2011 al 2014	67
Tabla 4.3	Total modos de falla producidos en los años 2012 al 2014	68
Tabla 4.4	Costos por modos de falla de los años 2012 al 2014	69
Tabla 4.5	Procedimientos elaborados para la implementación del sistema de monitoreo de variables de motores en la estación Cayagama	71
Tabla 4.6	Horas hombre y total de técnicos capacitados en la teoría del sistema de monitoreo de variables de la Estación Cayagama	72
Tabla 4.7	Personal que realizó prácticas del sistema de monitoreo	73
Tabla 4.8	Variables monitoreadas en los motores	77
Tabla 4.9	Conteo de alarmas de diferencia de temperaturas de gases de escape entre cilindros.	78
Tabla 4.10	Ejemplo de valores establecidos como alertas tempranas en la hoja de cálculo del informe semanal de monitoreo.	78
Tabla 4.11	Resumen de alertas de motores de la Estación Cayagama del año enero octubre 2015	79
Tabla 4.12	Seguimiento de acciones de alertas	81
Tabla 4.13	Resumen de paradas no programadas y costos producidos desde el mes de enero a octubre del año 2015 en la estación Cayagama.	83
Tabla 4.14	Resumen de cantidad y costos de Modos de falla de enero a octubre del año 2015	84
Tabla. 4.15	Cantidades y costos de modos de falla de los años 2012 al 2014 y del 2015	88

## RESUMEN

El objetivo fue implementar un sistema de monitoreo de variables de motores de bombas en la Estación Cayagama del Oleoducto de Crudos Pesados OCP Ecuador S.A. El diagnóstico inicial reflejó que los datos de variables no se registraban ni analizaban de manera ordenada. A partir del estudio de técnicas y conceptos, se propuso una metodología general para realizar la implementación del sistema de monitoreo de variables de motores, conformada por un diagnóstico de la situación inicial, la implementación del sistema y el análisis de la situación posterior; con esto las paradas no programadas disminuyeron en un 65 %, los costos por paradas de equipos, un 35%. Por otra parte los modos de falla, que corresponden a órdenes correctivas, aumentó al 180%; resultado que generó una mayor cantidad de órdenes de análisis por alertas del sistema, sin embargo los costos del mantenimiento correctivo disminuyeron un 35% aproximadamente respecto al promedio de los años 2012 al 2014. En conclusión, en el año 2015 se alcanzaron ahorros significativos, evitando paradas y gastos en mantenimientos correctivos en la Estación de Cayagama del Oleoducto de Crudos Pesados. Por lo que se recomienda implementar el sistema de monitoreo de variables en las otras facilidades de la empresa.

**Palabras claves:** < MOTORES DIESEL>, <MONITOREO>, <MANTENIMIENTO PREDICTIVO>, <ALERTAS TEMPRANAS>, <MODOS DE FALLA>, <ESTACIÓN CAYAGAMA>, <OLEODUCTO CRUDOS PESADOS>, <MANTENIMIENTO INDUSTRIAL>

## **SUMMARY**

The goal was to implement one variables monitoring system of pumps motors in the Cayagama stations OCP heavy crude oil pipeline Ecuador S.A. The initial diagnosis reflects that data variables were not recorded or alkalized in an ordered way. From the study of techniques and concepts , a general methodology was proposed for doing the implementation of the variables monitoring system, formed by a diagnosis of the initial situation , the implementation of the system and the subsequent analysis of the situation ; with this unscheduled stops decreased by 65 % , costs for equipment stops 35%. On the other hand failure modes which correspond to corrective orders, increased to 180%; result that generated a greater amount of orders analysis for system alerts, however corrective maintenance costs decreased to approximately 35% relative to the average of the years 2012 to 2014. In conclusion, in 2015 significant savings were reached, avoiding stops and corrective maintenance expenses in the Cayagama station of heavy crude oil pipeline. So it is recommended to implement the variable monitoring system in the other facilities of the company. .

Keywords: <DIESEL ENGINES> <MONITORING> <PREDICTIVE MAINTENANCE>  
<EARLY WARNINGS> <FAILURE MODES> < CAYAGAMA STATION> <HEAVY  
CRUDE OIL PIPELINE> <INDUSTRIAL MAINTENANCE >

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

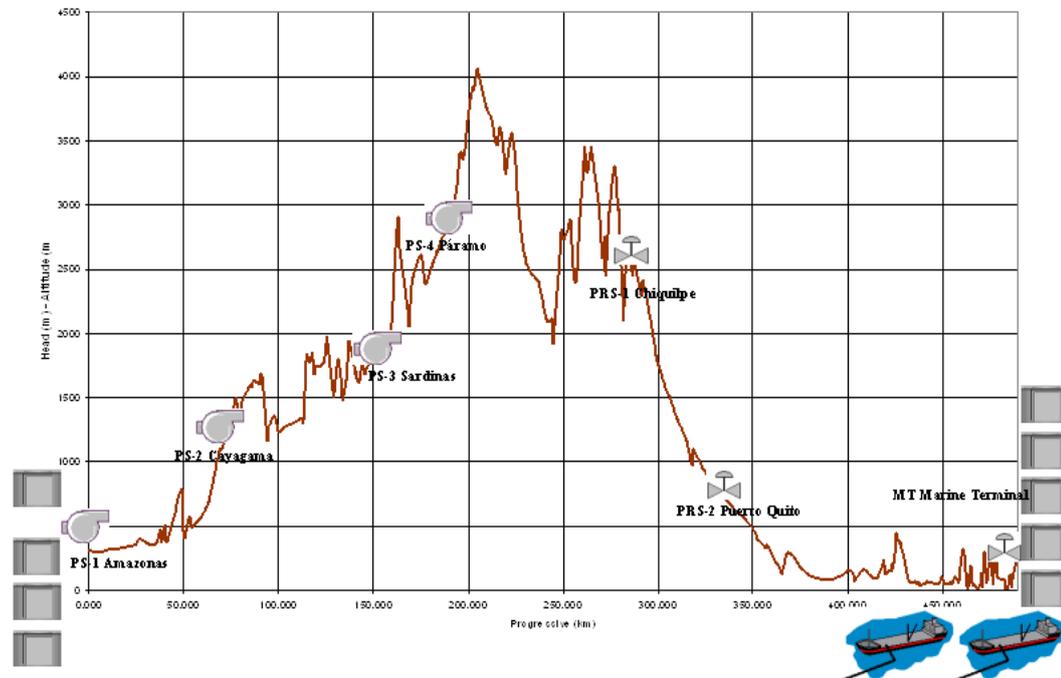
El petróleo es el producto de exportación más importante por los ingresos económicos para el País. Históricamente el precio del barril del petróleo ha sido variable, por lo que cada vez la optimización de todo el proceso de extracción, transporte y exportación es más demandante de mejorar los costos.

Dentro de las empresas que transportan Petróleo en el Ecuador una de las más importantes es el Oleoducto de Crudos Pesados OCP Ecuador S.A, que desde el inicio de sus operaciones en el Año 2003 ha permitido incrementar la producción nacional; elevando de, aproximadamente trecientos cincuenta mil (350 000) barriles diarios, a quinientos cincuenta mil (5 500 000) barriles diarios según datos de la Agencia de regulación y Control para operaciones de hidrocarburos (ARCH, Abril, 2015).

El Oleoducto de Crudos Pesados, con una capacidad de transporte de cuatrocientos cincuenta mil (450 000) barriles diarios, inicia el proceso de transporte con la recepción del crudo en el terminal Amazonas ubicado a 300 msnm; luego, debe bombear a la siguiente estación Cayagama ubicada a 69 km, a una altura de aproximadamente 1060 msnm; continúa hacia la estación Sardinias a 150 km y a una altura de 1860 msnm. Posteriormente va hacia la estación Páramo ubicada a 200 km y a una altura de 2800 msnm. A continuación pasa por el punto más alto en la cordillera de los andes a 4060 msnm, para descender a la costa pasando por dos estaciones reductoras. El crudo se recibe en el terminal de Esmeraldas a 485 km y a 250 msnm. (OCP Ecuador. S.A, 2013).

La configuración y trazado del oleoducto es uno de los más complejos del mundo, ya que partiendo de los 300 msnm alcanzan en el punto más alto de la cordillera una altura

de 4060, para luego descender hasta los 250 msnm, esto significa que es necesario una gran cantidad de energía para transportar el crudo. En la figura 1.1 se muestra el perfil del oleoducto.



**Figura.1 1.** Perfil geográfico de Oleoducto de Crudos Pesados OCP Ecuador  
Fuente: Oleoducto de Crudos Pesados OCP Ecuador (2002)

## 1.1 Problema de investigación

### 1.1.1 Planteamiento del problema

En los doce (12) años de Operación del Oleoducto de Crudos Pesados, se han producido dos (2) roturas del tubo que transporta el petróleo; además, se detectó mediante una herramienta de diagnóstico de oleoductos una falla, la cual tuvo lugar en el momento que se inició la reparación. Esto ha costado a la empresa la reparación del daño y multas sumas considerables que desmedran la utilidad de la Empresa.

El Oleoducto conformado por cuatro estaciones de bombeo, siendo la segunda estación la denominada Cayagama donde se realiza el proyecto y ésta cuenta con cinco motores diésel para accionar las bombas principales del sistema, los motores de la estación Cayagama presentan las características que se describen en la tabla 1.1.

Tabla 1.1. Descripción de las características de motores principales de la estación Cayagama .

N.- de motor	Denominación del motor	Fabricante	Modelo	Potencia	N.- de cilindros
1	D-0201A	Wartsila	VASA 12V32 LN	4300 hp	12 en V
2	D-0201B				
3	D-0201C				
4	D-0201D				
5	D-0201E				

Elaborado por: Miranda César (2015)

Los cinco motores de la estación Cayagama son de similares características y se encuentran ubicados en paralelo como se puede observar en la figura 1.1.



Figura 1.2. Imagen de los Motores de Combustión Interna Wartsila VASA 12V 32 LN montados en paralelo de la Estación Cayagama.

Elaborado por: Miranda César (2015)

Dentro del sistema de bombeo de la empresa Oleoductos de Crudos Pesados la estación Cayagama, es una de las que estadísticamente reporta la mayor cantidad de paradas no programadas. Esto se debe fundamentalmente, en gran parte, a las fallas de los motores principales del sistema de bombeo, ciento cuatro (104); reportadas debido a paradas no programadas en el bombeo desde el año 2012 al año 2014.

Realizado el análisis del total de los trabajos correctivos ejecutados en los años 2012 al 2014, se obtuvo que el año 2012 representa un 25% del total de los mantenimientos llevados a cabo, en comparación con el año 2013; donde, apenas alcanzó el 14% de los mantenimiento correctivos. En el año 2014 nuevamente reporta el 25%, del total analizado. Las causas fundamentales de las fallas en los sistemas del motor fueron: Alta temperatura de los cilindros, desviación de las temperaturas de gases de escape. Atascamiento de bombas de inyección, falsa señal de sensores varios, mala calibración de las válvulas, altas presiones del cárter, desviación de parámetros en general. Además, la repetición de órdenes de trabajo por errores humanos.

Esto, en costos significó pérdidas económicas, debido a cada parada, estimadas éstas por el departamento de operaciones, en un monto de dos mil (2000) dólares americanos. La causa fue el consumo de combustible al arranque del Oleoducto en todas las estaciones. Las ciento cuatro (104) paradas suman una cantidad considerable; y si a esto se suman los costos de reparación por daños, la cantidad resulta mayor.

Un análisis de estos problemas muestran que las paradas no programados se pueden disminuir si se cuenta con un sistema de monitoreo de variables de los motores principales para alertar las posibles fallas en su estado incipiente. En la estación Cayagama se han detectaron fallas solo cuando ocurrieron los paros no programado. Esto, lógicamente, podría acarrear consecuencias lamentables por daños catastróficos.

(Améndola. 2006) Manifiesta en su publicación “Aplicación de la confiabilidad en la gestión de proyecto en paradas de plantas químicas”, que exista una gran diferencia de costos de paradas de planta entre la industria petrolera Latinoamericana comparado con otras a nivel mundial, y muchos de los factores que influyen en los altos costos son

entre otros la falta de planificación y las paradas repentinas, Se puede mejorar aplicando controles y herramientas con las que se evita paradas repentinas y se planifique de mejor manera la paradas programadas .

De lo anterior, el problema real es que, a pesar de que la Empresa cuenta con un sistema de gestión de mantenimiento, y los motores posean un sistema de control de variables, donde se han establecido valores de alarmas (dadas por el fabricante), los paros no programados han persistido durante los años de operación (12 años). Por tal motivo, los motores han sufrido daños que no fueron alertados por las alarmas establecidas en el control de los motores. Por otra parte, no se cuenta en la Empresa con un sistema de monitoreo que genere alertas tempranas a través de un reporte que se ejecute en forma automática. Para el caso de los motores, se ingresan datos manuales y no se realiza análisis de esos datos. En conclusión, la investigación se direcciona en ese sentido para contribuir a disminuir paros no programadas y mejorar la operación de motores de la estación Cayagama.

### ***1.1.2 Formulación del problema.***

De la problemática antes relacionada se puede plantear la interrogante siguiente:

¿En qué medida afecta las paradas de bombeo la ausencia de un eficiente sistema de monitoreo de variables en los motores Wartsila VASA 12V 32 LN, de bombas principales?

### ***1.1.3 Sistematización del problema***

¿Cómo se encuentra la situación actual del monitoreo de variables de motores Wartsila VASA 12V 232 LN en la estación Cayagama?

¿Cómo se controlan las variables para alertar desviaciones y detectar fallas incipientes, a través del monitoreo de variables para reducir los paros de los motores de bombeo?

¿Cómo se validará el sistema de monitoreo implementado en la estación Cayagama del Oleoducto de Crudos Pesados OCP Ecuador S.A.?

#### ***1.1.4 Justificación de la investigación***

La historia moderna del petróleo inicia alrededor de 1855. Según menciona el libro “La Historia del Petróleo” (Yergin Daniel , 1992), donde dice que en el año 1854, un grupo empresarial encargó a Benjamín Silliman, un científico de la Universidad de Yale, que estudie las propiedades del “aceite de piedra.

El mundo actual se caracteriza por el alto consumo de energía. Por tal motivo, los países ejecutan importantes proyectos, tanto para generar su propia energía, con los recursos disponibles, como también para abastecer de materia prima a países que carecen de la misma. Según datos (US Energy Information Administration, 2014), 130 países participan como productores de petróleo de la economía mundial. En un mercado mundial que alcanza una producción de 89.3 millones de barriles de crudo diarios (OPEP, 2012). El petróleo crudo requiere ser transportado desde los lugares de producción hasta los puertos de embarque.

El petróleo crudo utiliza sobretodo dos medios de transporte masivo: los oleoductos de caudal continuo y los barcos petroleros de gran capacidad. En la actualidad hay en el mundo más de 1.500.000 kilómetros de tubería destinadas al transporte de crudos y de productos terminados (OPEP, 2014); de los cuales, el 70% se utiliza para gas natural, el 20% para crudos y el 10% restante para productos terminados.

El estudio de varios sistemas de oleoductos, (Druzhba de Rusia, Caño Limón-. Coveñas de Colombia, SOTE Ecuador, etc.), determina que la mayor parte de ellos utilizan equipos de bombeo con motores de combustión para poder llegar con el producto hasta los puntos de refinación o de embarque (Rumiche Francisco A, 2005); por lo que los equipos de bombeo constituyen una parte medular dentro de todo el sistema. Por lo antes mencionado, en la actualidad se requiere de grandes inversiones para mantener

operativos los equipos y se busca optimizar además los costos para generar utilidad del transporte.

Las empresas de transporte de petróleo están bajo constante presión para maximizar el uso del oleoducto, cumplir con exigentes programas de entregas, reducir los costos de operación y mantenimiento, y asegurar a la vez conformidad con los reglamentos ambientales y seguridad de la operación.

Los oleoductos tienen múltiples fuentes, almacenamiento intermedio y puntos de entrega, todos vinculados a través de una configuración compleja de segmentos que contienen estaciones de bombeo o estaciones de compresores, estaciones de válvulas, estaciones de medición y terminales. La operación eficiente y segura de estos recursos requiere un monitoreo estricto y gran capacidad de control, dado que se requiere alta confiabilidad y una reducción del tiempo improductivo para poder cumplir con los programas de entrega, además de no causar impacto ambiental.

En el mundo se reporta un número importante de accidentes o catástrofes ambientales, como consecuencias de fallas del sistema. Entre los más notables se mencionan a continuación:

Según (Albán, 2009), en su tesis “PROPUESTA DE INTERVENCIÓN EN DERRAMES DE HIDROCARBUROS EN BASE A ESTUDIOS DE CASO EN EL SOTE DESDE LAGO AGRIO A PAPALLACTA” menciona que: *Por más de 30 años el Sistema de Oleoducto Trans-ecuatoriano ha sufrido una serie de derrames de crudo, que han afectado al suelo, agua, biota y población localizada a lo largo del trazado; hasta el año 2004 se han derramado 714.255 barriles de crudo de éste se ha recuperaron hasta el 80% del volumen total; PETROECUADOR posterior al derrame ha procedido a remediar los suelos contaminados mediante lavado y remediación microbiana.*

El incendio en plataforma petrolera en golfo de México. “El incendio se registró en el área de deshidratación y bombeo de la plataforma Abkatun-A-. Permanente en la sonda de Campeche. Ocasionó la muerte de cuatro personas y 16 heridos”. (PEMEX, 2015).

La fuga de petróleo del Oleoducto Norperuano contaminó y afectó sensiblemente los ríos de la región. “Las condiciones de operación pudieron advertir que existía una avería; la misma que fue confirmada a 39 kilómetros de la Estación 1 – Saramuro, en la zona de construcción del canal flotante, donde la tubería está sumergida bajo el agua”. (PETROPERU, 2014).

Estos accidentes producen serios daños al medio ambiente ya que los contaminantes de los compuestos del crudo son tremendamente tóxicos. A largo plazo, el derrame provoca daños en el sistema reproductivo y de alimentación de todos los organismos del ecosistema.

Además cada crudo tiene compuestos químicos muy tóxicos como el benceno, que es cancerígeno. El daño al medio ambiente para muchos actores como Greenpeace no tiene precio o es incalculable.

Estudios de los accidentes antes relacionados (Rumiche Francisco A, 2005), arrojan que solo en los Estados Unidos, se registró un total de 492 incidentes en el sistema nacional de tuberías de transporte de gas natural y líquidos peligrosos en un año, incluyendo petróleo; generando pérdidas económicas de alrededor de 800 millones de dólares y causando la muerte de 19 personas.

Las fallas se atribuyen a diferentes factores; entre los más preponderantes están presentes:

Fallas de diseño o construcción: una falla instantánea puede ocurrir tempranamente durante el ciclo de vida de la estructura por errores de diseño, construcción o materiales utilizados defectuosos.

Fallas de operación: los técnicos encargados de operar el equipo fallan por falta de conocimiento del funcionamiento del equipo, por quitar seguridades del equipo, alterar parámetros, consideradas también como fallas humanas.

Fallas por mantenimiento; se dan por la utilización de repuestos o partes no adecuadas o por el mal ensamble de las mismas.

En el caso de los oleoductos las fallas ocasionadas en una estación llevan a que se produzcan paradas súbitas imprevistas en las demás estaciones; lo cual acarrea un sinnúmero de eventos no deseados. Uno de ellos es llamado golpe de ariete, que junto a la cavitación, son los principales causantes de averías en tuberías e instalaciones hidráulicas, (V. Streeter, 1999).

Por otro lado en el Comité de Ductos y Terminales de ARPEL, (Manual de referencia ARPEL para la gestión de la integridad de ductos 1ª edición. MAYO 2011) se analizó que son muy necesarios contar con procedimientos para el control y análisis de los datos de operación, con ello aplicar las presiones que correspondan a cada oleoducto, también recomiendan controlar las fluctuaciones de parámetros operativos durante el servicio, tomado en cuenta las características del crudo o líquido transportado.

El control de los procesos operativos, (Manual de referencia ARPEL para la gestión de la integridad de ductos 1ª edición. MAYO 2011), es importante para evitar fallas por operaciones mal ejecutadas, en ello hacen énfasis en el entrenamiento que debe recibir el personal operativo debe dirigirse a completar el perfil requerido y sus competencias. Por otro lado es menester contar con los registros en el tiempo de las variables operacionales para predecir fallas y dar alertas.

Por errores humanos se han causado diferentes fallas, por ello algunas industrias aplican la gestión de evaluación de desempeño, resumiendo lo que manifiesta, (M. Alles, 2006), la vinculación del desempeño a los objetivos organizacionales, compromete a los colaboradores y se esfuerzan por no cometer errores, si califica a una persona como competente, su comportamiento adecuado y alineado a las políticas y objetivos de la organización harán que su desempeño sea valorado positivamente.

Dentro de las causas de estas fallas revisten especial atención las causadas por problemas de operación y mantenimiento.

Para garantizar la operación y el mantenimiento se emplean diferentes técnicas y las mejores prácticas de mantenimiento. La tendencia a nivel mundial es llegar a tener en las plantas estructurado un sistema de monitoreo de las variables de los equipos; el cual se basa en una serie de acciones que se toman y las técnicas que se aplican con el objetivo de detectar fallas y defectos de maquinaria en las etapas incipientes, para no tener eventos que se manifiesten en paradas del proceso o fallas catastróficas. Evitando daños al medio ambiente o en los peores casos muertes.

Para evitar los fallos las empresas adoptan sistemas de monitoreo y mejora continua. Se puede mencionar el caso de TOYOTA, el cual es adoptado por muchas empresas, como ejemplo de buenas prácticas (LEAN); basada en 14 principios, organizados en 4 conceptos fundamentales.

Modelo Térmico para sistema de monitoreo y protección de grandes motores. Un factor importante dentro de las predicciones de fallas, es determinar en línea los valores de variables de temperatura que alcance los elementos el motor (estator y Rotor). El desarrollo del modelo es simple para calcular ese calentamiento. El modelo evalúa los arranques de operación con carga variable etc. Por medio de los valores de corriente de las fases del motor, se calcula el calentamiento acumulado.” (Valenzuela Latorre, 1987).

En general, las investigaciones muestran que estos sistemas y técnicas dependen, para ser eficiente, de sistemas de vigilancia y monitoreo que proporcionen datos; para ello es necesario poseer un muy buen sistema de monitoreo de variables que permitan hacer diagnóstico y pronóstico del estado general de los equipos y proyectar cuanto tiempo se tiene disponible para operar con seguridad sin afectar a las personas o al medio ambiente. Además, dado que las instalaciones por lo general están distantes de centros de provisión de materiales o repuestos se han realizado múltiples investigaciones de técnicas como la de monitoreo de variables o monitoreo de la condición.

Los sistemas de monitoreo en la actualidad, constituyen rubros altos pero necesarios que son adquiridos en grandes empresas que tienen altos presupuestos, no se puede

asimilar en forma directa en la empresa objeto de ésta investigación por lo que se requiere desarrollar herramientas metodológicas prácticas y manejables con los recursos e instrumentación que se dispone para adecuar a la organización, por lo explicado constituye un referente para investigar un sistema de monitoreo adaptable a los recursos disponibles en la empresa.

Como menciona (Amendola, Dirección y Gestión de Paradas de Planta, 2011) Que las buenas prácticas establecidas metodológicamente con técnicas de confiabilidad contribuyen a evitar pérdidas económicas por ahorro de tiempo y repuestos, debido a una planificación estructurada de paradas programadas.

Por otro lado como se vio anteriormente, existe en la empresa el problema de paradas no programadas por falta de un sistema de monitoreo que requiere una solución inmediata, para que no afecten los indicadores de gestión de la Empresa y poder alcanzar las metas propuestas. Lo antes relacionado muestra que el trabajo se justifica tanto en el orden metodológico como práctico.

*Justificación práctica.* Con la aplicación de la investigación, se proponen soluciones prácticas que resuelven de forma inmediata el control de fallas y especialmente las paradas imprevistas presentadas en los equipos de bombeo de crudo de la Estación Cayagama y con ello contribuir a disminuir las paradas no programadas; con ello mejorar los resultados globales de la Empresa en lo referente a confiabilidad y disponibilidad de equipos. Además, con los resultados de la investigación se formularán las recomendaciones para optimizar el plan de mantenimiento en general y de este modo se espera reducir los costos de operación y mantenimiento.

*Justificación metodológica.* Para lograr los objetivos de estudio, se propone un sistema de monitoreo de variables novedoso, diseñado a partir del empleo de los datos generados en los motores, utilizando técnicas como el monitoreo de variables, sistematización de la recolección de datos, gestión de éstos, análisis y detección de desviaciones de parámetros operativos con los equipos en servicio. Este sistema

constituye además un referente para que se empleen en otras empresas con sistemas similares.

## **1.2 Objetivos**

### ***1.2.1 Objetivo general***

Implementar un sistema de monitoreo de variables para reducir paradas de los motores principales de la estación Cayagama de la Cía. Oleoducto de Crudos Pesados S.A

### ***1.2.2 Objetivos específicos***

1. Conocer los principales conceptos, variables, equipos y normas del monitoreo.
2. Diseñar el sistema de monitoreo de variables
3. Diagnosticar la situación de partida del sistema de monitoreo de variables de los equipos principales de bombeo de la Estación Cayagama.
4. Controlar las variables y alertar desviaciones para detectar fallas en su estado incipiente en los motores del sistema de bombeo y reducir paros de los motores de bombas.
5. Validar el sistema de monitoreo implementado en la estación Cayagama del Oleoducto de Crudos Pesados OCP Ecuador S.A.

## **1.3 Hipótesis**

La elaboración e implementación de un sistema de monitoreo de variables, tomando en consideración las técnicas, los medios y los sistemas de monitoreo para su aplicación en motores Wartsila VASA 12V32 LN, reducirán significativamente las paradas de bombeo de la estación Cayagama, y con ello mejorará la operación de la planta.

## CAPITULO II

### 2 MARCO DE REFERENCIA

En el presente capítulo, en correspondencia con el problema de la investigación y los objetivos, se realiza el estudio y análisis de conceptos relacionados como son: el mantenimiento, el monitoreo, y las principales teorías, metodologías, métodos y técnicas vinculados a la temática.

#### 2.1 Análisis de conceptos

##### 2.1.1 *Mantenimiento*

Siendo el monitoreo de variables parte del mantenimiento, para el estudio de su evolución se debe analizar la historia del mantenimiento como tal; así, se pueden enumerar las diferentes etapas que el mundo ha vivido, desde las primeras acciones de mantener equipos hasta llegar a lo que actualmente están enfocadas las industrias en éste campo.

El Mantenimiento como la función de conservar activos o equipos surge por los años cincuenta (50) en Norteamérica y en Francia. Al mismo tiempo se conocía como "entretenimiento" (ver fig.2.1). El desarrollo del mantenimiento ha hecho que su concepto sufra cambios; antes, se consideraba como la función simple de arreglar y reparar y, se denominó "Entretenimiento". Actualmente se denomina como el conjunto de funciones para revisar los equipos, prevenir fallos, reparar si se producen daños; y, está direccionado en optimizar costos (Cruz, 2011).

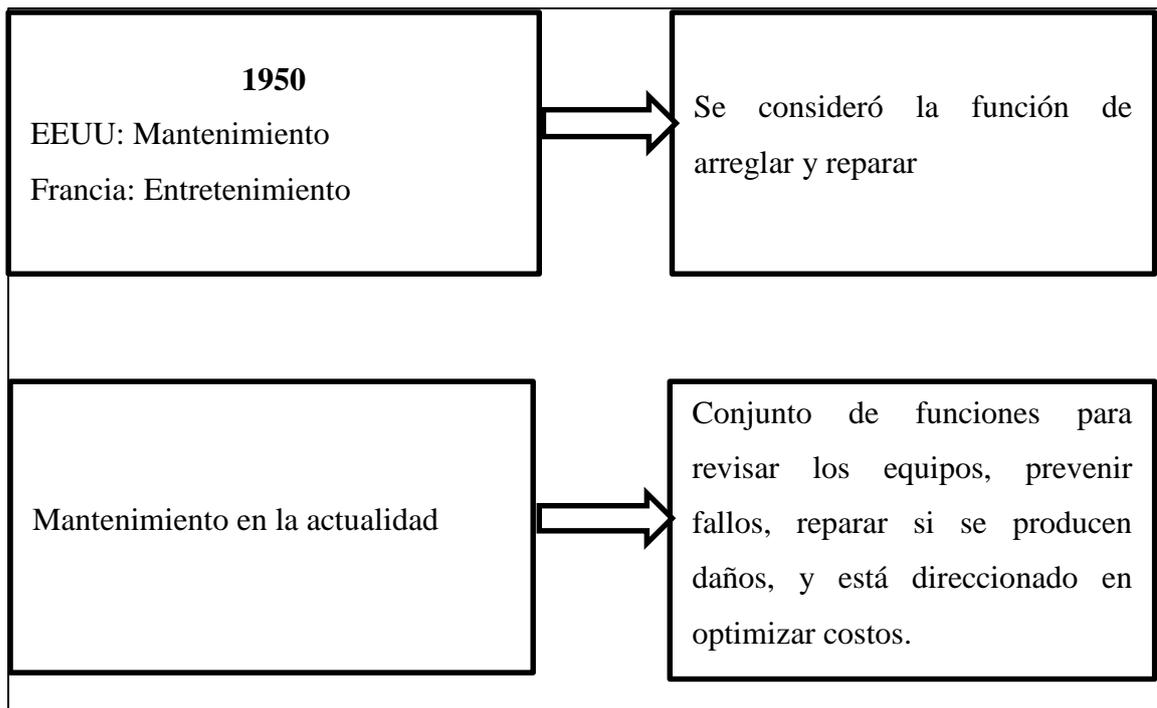


Figura 2.1. Concepción del mantenimiento en los años cincuenta  
Elaborado por: Miranda César (2015)

Las industrias sin embargo requieren, para que el servicio de mantenimiento se ajuste a sus necesidades, alineadas con las políticas y objetivos empresariales establecidos, adoptar determinadas actitudes con respecto al mantenimiento, tales como: a) actitud extremadamente responsable en centrales nucleares e industrias aeronáuticas, b) actitud responsable en industrias de proceso y c) actitud poco responsable en empresas donde los costos de paros no programados son bajos.

La evolución del mantenimiento se da en cuatro generaciones, (ver figura 2.2). En ellas se destaca además de la evolución de las actividades, la evolución del concepto de mantenimiento.

- *Primera Generación de mantenimiento.* Esta etapa es la más extensa en el tiempo; abarca desde finales del siglo XVIII y comienzo del XIX (considerado como la revolución industrial), hasta después de la segunda Guerra Mundial; incluso en algunas industrias aún mantienen las prácticas de mantenimiento atribuidas a esta

generación que son nada más que Mantenimiento Correctivo cuyo propósito es sólo arreglar las averías.

- *Segunda Generación de mantenimiento.* Esta etapa tiene su desarrollo entre la segunda Guerra Mundial y finales de los años setenta donde se descubre la relación entre la edad de los equipos y la probabilidad de fallo. Se da inicio a los cambios preventivos y periódicos de elementos en los equipos, lo que se conoce como Mantenimiento Preventivo.
- *Tercera Generación de mantenimiento.* Esta etapa considerada como el inicio del monitoreo como parte del mantenimiento, tiene lugar desde principios de los años 80. Comienzan a ejecutarse estudios de causa-efecto para investigar el origen de los problemas. Se denomina Mantenimiento Predictivo o detección temprana de síntomas incipientes para ejecutar acciones antes de que las consecuencias produzcan daños mayores. Da inicio a que la participación en la detección de fallos sea un equipo conformado también por el personal de producción y operaciones, quienes son los primeros que dan las alertas para la detección de fallos.
- *Cuarta Generación de mantenimiento.* Inicia en los primeros años de los noventa ('90). Las actividades de mantenimiento se integran a la gestión de calidad total, cuya finalidad es ejecutar o gestionar el mantenimiento de manera adecuada, enfocado en aumentar la disponibilidad de activos para reducir costos y aumentar las utilidades. Además, el mantenimiento basado en riesgo también pertenece a esta generación. Esta generación se caracteriza por dirigir la atención a la utilidad que genere el activo; para que mantenga la disponibilidad que requiera, pero a un costo mínimo. Por los cambios del enfoque, las personas relacionadas al mantenimiento requieren asimilar estos cambios. Se da inicio a la utilización de herramientas de ingeniería como: el cálculo de fiabilidad, identificar las tareas preventivas. Todo ello orientado a reducir costos de mantenimiento



Figura 2.2. Cuatro generaciones del concepto de mantenimiento

Fuente: El mantenimiento como fuente de rentabilidad (<http://web.ing.puc.cl/power/alumno06/OED/mantenimiento.htm>)

*Mantenimiento.*- Según Newbrough es la actividad humana que conserva la calidad del servicio que prestan las máquinas, instalaciones y edificios en condiciones seguras, eficientes y 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. Así mismo, Olivares lo define como la disciplina cuya finalidad consiste en mantener las máquinas y equipos en estado de operación; lo que incluye: servicio, pruebas, inspecciones, ajustes, reemplazo, reinstalación, calibración, reparación y reconstrucción. Otra definición importante es la de la Real Academia de la lengua española y, dice que constituyen un conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que las instalaciones, edificios, industrias, etc., puedan seguir funcionando adecuadamente.

Como se observará en la figura 2.3, a partir de la década de los años noventa (90), un componente esencial en el mantenimiento es el monitoreo de la condición, y desde el año dos mil (2000) en adelante, a más del monitoreo de la condición, suma otro componente importante que es el mantenimiento predictivo.

## Evolución de las Técnicas de Mantenimiento



Figura 2.3. Evolución de las técnicas de mantenimiento

Fuente: El mantenimiento como fuente de rentabilidad (<http://web.ing.puc.cl/power/alumno06/OED/mantenimiento.htm>)

Dos conceptos importantes vinculados al mantenimiento son la confiabilidad y la disponibilidad de equipos.

- *Confiabilidad*, según la norma UNE EN 60300-2:2004, es un término colectivo utilizado para describir la Disponibilidad de un producto y los factores que la condicionan, a saber: Fiabilidad, Mantenibilidad y Logística de Mantenimiento. Por otro lado según MIL-STD-721C *Definitions of Terms For Reliability and Maintainability*, es la duración o la probabilidad de un desempeño sin fallos bajo declarada condiciones. Confiabilidad según el Estándar ISO/DIS 14224 – 2004 Es la capacidad de un activo o componente para realizar una función requerida bajo condiciones dadas para un intervalo de tiempo dado.
- *Disponibilidad*. Según la norma UNE EN 60300-2:2004 de un elemento representa su capacidad para encontrarse en un estado capaz de desarrollar su función requerida bajo unas condiciones determinadas en un instante dado. Según el Estándar (ISO 14224, 2006) Disponibilidad es la capacidad de un activo o componente para estar en un estado para realizar una función requerida bajo condiciones dadas en un instante dado de tiempo o durante un determinado intervalo de tiempo, asumiendo que los recursos externos necesarios se han proporcionado.

Del análisis de los conceptos anteriores, el autor considera que, mantenimiento es el conjunto de tareas realizadas en los activos o equipos para mantener, restablecer o recuperar la condición operativa y su funcionalidad, considerando el propósito para lo que fue diseñado y luego adquirido por el usuario final.

### **2.1.2 Monitoreo**

Monitoreo es un término cuyo origen se encuentra en monitor, un aparato que toma imágenes de instalaciones filmadoras o sensores y que permite visualizar algo en una pantalla. El monitor, por lo tanto, ayuda a controlar o supervisar una situación. Esto permite inferir que monitoreo es la acción y efecto de monitorear, el verbo que se utiliza para nombrar a la supervisión o el control realizado a través de un monitor.

Por extensión, el monitoreo es cualquier acción de este tipo, más allá de la utilización de un monitor. (M. Rodríguez ,2011) lo define también, como la observación del curso de uno o más parámetros para detectar eventuales anomalías. Por otro lado el criterio de (L. Sexto, 2010) lo define como que es un proceso continuo y sistemático en el cual se verifica la eficiencia y la eficacia de un proyecto, programa etc., que permite identificar logros y debilidades y en consecuencia, se recomiendan medidas correctivas para optimizar los resultados esperados.

Del estudio de la evolución del mantenimiento, también se establece que el monitoreo tiene cuatro etapas que han evolucionado en conjunto con el mantenimiento, donde el hombre, a lo largo del tiempo, ha realizado esfuerzos desarrollando técnicas para controlar los equipos, motivado especialmente por la pro actividad que caracteriza al ser humano; es decir, anticiparse a una degradación del equipo basado en la experiencia e información del usuario final éstas etapas son:

- *Primera etapa del monitoreo.* Se desarrollaron herramientas de monitoreo que mostraban el estado de los elementos a través de un código universal de colores: verde significaba que todo está funcionando bien; amarillo la detección de algún

problema temporal que no afecta la disponibilidad, sin embargo se deben realizar ajustes para no perder la comunicación; naranja anunciaba que el problema se ha hecho persistente y requiere pronta atención para evitar afectaciones a la disponibilidad, finalmente el rojo alertaba que el dispositivo se encontraba fuera de servicio en este momento y requiere acciones inmediatas para su restablecimiento.

- *Segunda etapa del monitoreo.* La siguiente generación de herramientas hace lo que se llama análisis a profundidad con el fin de evaluar el estado de los componentes dentro del dispositivo, de manera que se puedan buscar los parámetros de ajuste y que, de la misma forma en que se aprieta una tuerca en un engranaje de una máquina, y los valores que se modifiquen permitan elevar los niveles de servicio del equipo. En esta etapa se implementan las consolas de control.
- *Tercera etapa del monitoreo.* En esta etapa se aplican los análisis enfocados en servicios y se cuenta con mayores niveles de información sobre los equipos, se tienen elementos adicionales de análisis, como una base de datos, un servidor, enlace de comunicaciones, con una interdependencia ya que todos participan en un mismo servicio. Esta generación ya entrega información acerca de la salud de un equipo.
- *Cuarta etapa del monitoreo.* En ésta etapa se pueden crear indicadores de los equipos y personalizarlos de acuerdo a la necesidad de la organización, además se pueden seleccionar las variables que se requieren para correlacionar y mostrar gráficamente los estados para que se analice como se encuentran las unidades de negocios. Dentro de esta generación se utilizan las plataformas tecnológicas que también se desarrollan para concentrar los datos, analizarlos y tomar decisiones para la mejor y pronta solución de posibles problemas en su estado incipiente. Algunos lo llaman “Análisis de Punta a Punta”. De aquí se puede determinar al monitoreo como herramienta eficaz para diagnosticar y pronosticar los fallos de los equipos.

- *Variables operacionales.* Es importante señalar que en la cuarta generación se habla de Variables operacionales, que son medidas de un valor determinado como la temperatura de agua de enfriamiento de un equipo, la presión de aceite lubricante de un motor, y otras medidas, que representan estados del equipo en un tiempo de operación. De ahí que se pregunte por ejemplo: ¿cuántas veces alcanza un valor determinado como crítico en un determinado tiempo de operación?

La competencia actual del sector empresarial ha dificultado los ingresos para que sobrevivan en el mercado, por lo que se busca permanentemente mejorar la disponibilidad de sus activos al menor costo (Amendola, Modelos Mixtos de Confiabilidad, 2002), esto ha obligado a las empresas a desarrollar nuevas herramientas para gestión de sus procesos productivos , tratando de aumentar la utilización y vida útil de sus equipos, para ello se ha visto con buenos ojos por parte de los empresarios invertir en herramientas tecnológicas como el monitoreo para asegurar una disponibilidad óptima de los equipos y maximizar costos , claro está que no se descuida la seguridad de las personas y el ambiente..

Del estudio de los conceptos de monitoreo, el autor establece que monitoreo es un conjunto de técnicas y métodos, que permite a un especialista utilizar datos de variables y pronosticar una falla justo a tiempo para evitar daño de uno o varios componentes de una máquina. De esta manera los componentes pueden ser reemplazados de forma planificada justo antes de fallar, evitando daños catastróficos, minimizando tiempos de reparación y evitando paros no programados de las máquinas, así como también maximizando al vida útil de los componentes.

## **2.2 Fundamentos teóricos y metodológicos del monitoreo de variables de motores de combustión**

### ***2.2.1. Monitoreo de condición***

Es la medición de variables físicas representativas de la condición del equipo, cuyo objetivo es indicar la cercanía de un potencial modo de falla con consecuencias graves

para la máquina, operación, ambiente o seguridad. En general, consiste en estudiar parámetros asociados a la evolución de fallos, analizar tendencias de comportamiento y establecer el tiempo de vida útil antes de que ese fallo pueda alcanzar una relevancia importante.

Una de las características más notables del monitoreo de condición es que no debe alterar el funcionamiento normal de los procesos; la inspección de los parámetros se puede realizar de forma periódica o continua; es decir, se realiza un conjunto de acciones para vigilar los parámetros o variables de los equipos y gestionarlas con el fin de detectar desviaciones de un estándar definido.

Según (KNEZEVIC, 1996) las tareas de mantenimiento por condición se ejecutan con el objetivo de alcanzar a visualizar en el tiempo la condición interna de elementos y sistemas de equipos, para determinar las acciones que se tomaran en un tiempo dado para corregir desviaciones

En la figura 2.4 se muestra la curva P-F, que grafica la condición de un equipo vs el tiempo. Como se puede observar, ésta curva muestra cómo un fallo comienza y prosigue el deterioro hasta un punto en el que puede ser detectado (el punto P de fallo potencial). A partir de allí, si no se detecta y si no se toman las medidas oportunas, el deterioro continúa hasta alcanzar el punto F de fallo funcional:

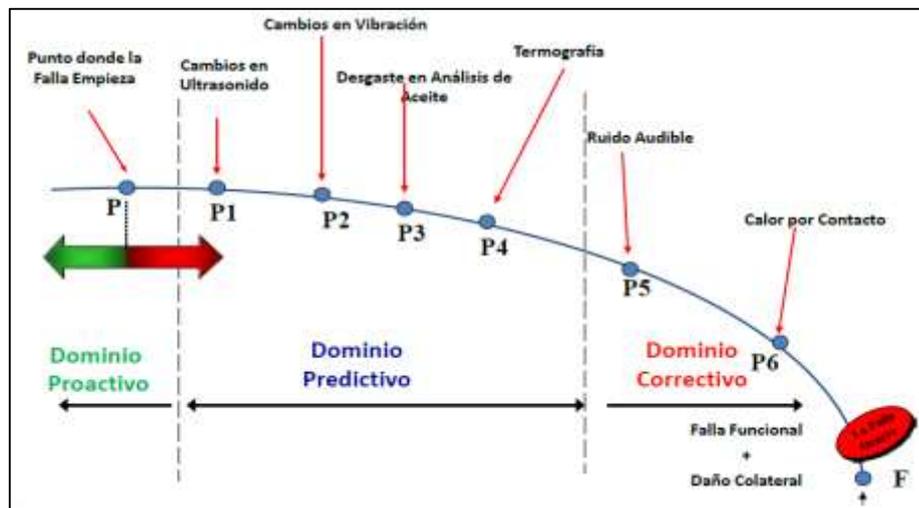


Figura 2.4 Curva condición vs tiempo  
Fuente: Curso de monitoreo de la condición en OCP

### ***2.2.2 Funciones del monitoreo***

Las funciones del monitoreo son varias y de acuerdo a las necesidades se simplifican o se aumentan las más relevantes son.

- Medir señales dinámicas en el dominio del tiempo.
- Analizar las señales dinámicas con respecto a un estándar definido: presión, temperatura, vibraciones, sonidos, etc.
- Inspeccionar y evaluar las señales.
- Realizar y evaluar tendencias e indicadores de las condiciones de operación equipos: rpm, presión, temperatura, flujo, viscosidad del producto, potencia, eficiencia.
- Reportar condiciones operacionales. Si éstas indican posibles defectos, será necesario monitorear uno o varios parámetros mencionados anteriormente.
- Registro de datos en tiempo real.
- Notificación de alarmas.
- Conteo histórico para cada tipo de falla.
- Protección de fallas: sobrecarga, sobre corriente.
- Diagnóstico y pronóstico de fallas
- Registro del control del motor.
- Registro de Código de falla
- Valores de los parámetros
- Registrar los estatus del motor para el análisis de la operación del dispositivo
- Predecir el tiempo para el disparo (antes de ocurrir la falla).

### ***2.2.3 Áreas de utilización del monitoreo***

Los equipos a los que actualmente se les pueden aplicar las distintas técnicas de control de estado con probada eficacia, pertenecen a prácticamente a toda la industria y, son los

siguientes: máquinas rotativas, motores eléctricos, equipos estáticos, sistemas eléctricos, instrumentación.

Los parámetros utilizados para el control de estado de los equipos son aquellas magnitudes físicas susceptibles de experimentar algún tipo de modificación repetitiva en su valor. Cuando varía el estado funcional de la máquina; existen muchos parámetros que se pueden utilizar con este fin, siempre que se cumplan las condiciones expresadas:

- Que sea sensible a un defecto concreto
- Que se modifica como consecuencia de la aparición de alguna anomalía
- Que se repite siempre de la misma forma

#### ***2.2.4. Organización del monitoreo***

La organización de la técnica de monitoreo y variables establece la medición de parámetros para identificar la relación del ciclo de vida, a continuación se mencionan algunos ejemplos de los parámetros relacionados con el estado de la maquina: Vibración de cigüeñales, temperatura de gases de escape de motores de combustión, presión de descarga de una bomba.

Para el monitoreo, primero se debe establecer una base de datos histórica, definiendo la variable a monitorear y que ésta se relacione con el estado de un componente. Esto se realiza mediante la toma de datos, con frecuencias periódicas y estableciendo límites de los cuales la variable al salir se conoce que el componente está fuera de su estado óptimo. Ver figura 2.5.

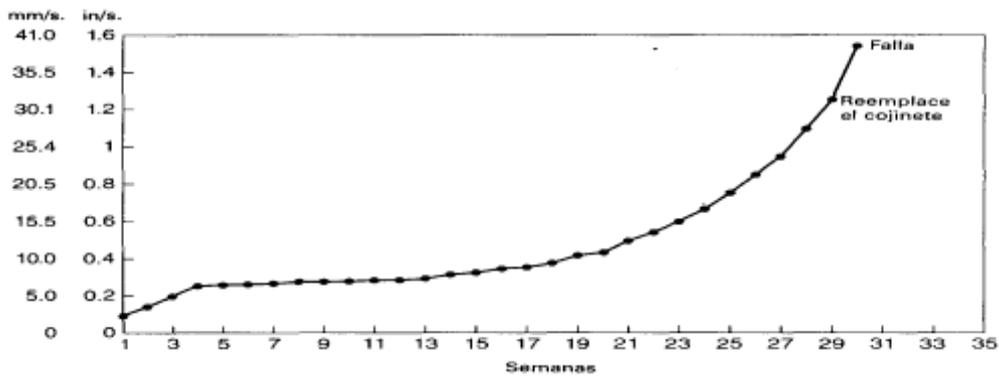


Figura 2. 5. Variaciones de vibración de un cojinete en el tiempo  
Fuente: Franco Irene (2004)

### 2.2.5. Metodología de las inspecciones para monitoreo

Cuando en una empresa o industria se ha determinado que es factible la realización de mantenimiento predictivo a una máquina o unidad, el siguiente paso es seleccionar o determinar las variables operativas, también denominadas variables físicas, que se pretende controlar; las cuales representen la condición o el estado de los elementos de la máquina. La metodología de las inspecciones tiene como objetivo el estudio y revisión a detalle de las técnicas más conocidas en la industria, en lo que a monitoreo de la condición se refiere. De ésta manera se obtienen herramientas sólidas para seleccionar las técnicas adecuadas para los motores, comprendiendo así que la finalidad del monitoreo es llegar a conocer una indicación o alerta de la condición mecánica o también llamado “estado de salud de la máquina”; con ello se mejora la programación del mantenimiento, obteniendo como resultado altos niveles de seguridad y reducción de costos.

En sus inicios, históricamente al monitoreo se lo relacionaba o se le conocía como la medición de una variable física asociada o representativa de la condición de la máquina, cuyo valor dado se compara con un valor determinado como normal; lo que indica el estado de la máquina y éste puede ser determinado como bueno o deteriorado.

En la actualidad éstas técnicas han sufrido grandes cambios, logrando su automatización y extendiéndose en varios campos; llegando a considerar en algunas industrias al monitoreo como la adquisición, procesamiento y almacenamiento de datos

los cuales al ser gestionados sirven para proteger, vigilar, diagnosticar y pronosticar las condiciones de una máquina.

### **2.3. Técnicas de monitoreo**

Un estudio de mantenimiento predictivo (Franco, 2004) manifiesta que las nuevas tecnologías aplicadas en la industria son de alta tecnología como las comunicaciones, automatización, electrónica industrial, etc., por lo que se requiere de personal calificado para el manejo de las nuevas tecnologías. Por lo tanto se ha desarrollado técnicas que ayuda al monitoreo de equipos con el concepto de no solo tomar datos sino de procesar y analizar los datos recolectados.

- *Técnicas directas.* En las que se inspeccionan directamente los elementos sujetos a fallo: entre ellas cabe mencionar la inspección visual (la más usada), inspección por líquidos penetrantes, por partículas magnéticas, el empleo de ultrasonidos, análisis de materiales, la inspección radiográfica, etc.
- *Técnicas indirectas.* Mediante la medida y análisis de algún parámetro con significación funcional relevante. Entre estos parámetros, el más usado es el análisis de vibraciones, aunque también existen numerosos parámetros que cada vez son más utilizados conjuntamente con el análisis de vibraciones, como puede ser el análisis de lubricantes, de ruidos, de impulsos de choque, medida de presión, de temperatura, etc.

#### ***2.3.1 Técnicas aplicadas al mantenimiento predictivo***

El monitoreo como acción predictiva, se aplica inobjetablemente para dar cumplimiento a la programación de inspecciones con frecuencias rígidas, de ésta manera se cumple con uno de los objetivos del predictivo que es detectar el estado del equipo y la determinación de efectuar o no intervenciones para corregir desvío, dependiendo del pronóstico que se realice al analizar la tendencia. Las tareas se cumplirán por frecuencia o de manera continua en los equipos. Una de las mayores ventajas que presenta el monitoreo es que puede llevar un elemento al máximo de su vida útil esto debido a que

las fallas en su mayoría no se presentan de forma repentina sino que en muchos casos es posible detectar cuando se da inicio a la misma y todo esto requiere que se realice un análisis especializado (Mantenimiento centralizado en la confiabilidad, 2010; Amándola, 2005; Moubray, 2005; Torres, 2005).

Se han desarrollado varias técnicas de monitoreo aplicadas para el mantenimiento predictivo, algunas de ellas conocidas desde la primera generación del monitoreo y otras que se han desarrollado en la última década, entre las técnicas más destacadas mencionamos las siguientes.

*Monitoreo por análisis de vibraciones.* Los estudios de las vibraciones mecánicas se dan con mucho interés desde la llamada segunda generación de mantenimiento donde dentro del mantenimiento industrial se da inicio al Mantenimiento Preventivo y Predictivo, el fin que persigue desde entonces es lograr alertas interpretando las vibraciones de las máquinas para determinar los elementos en riesgo de sufrir daños a mediano plazo.

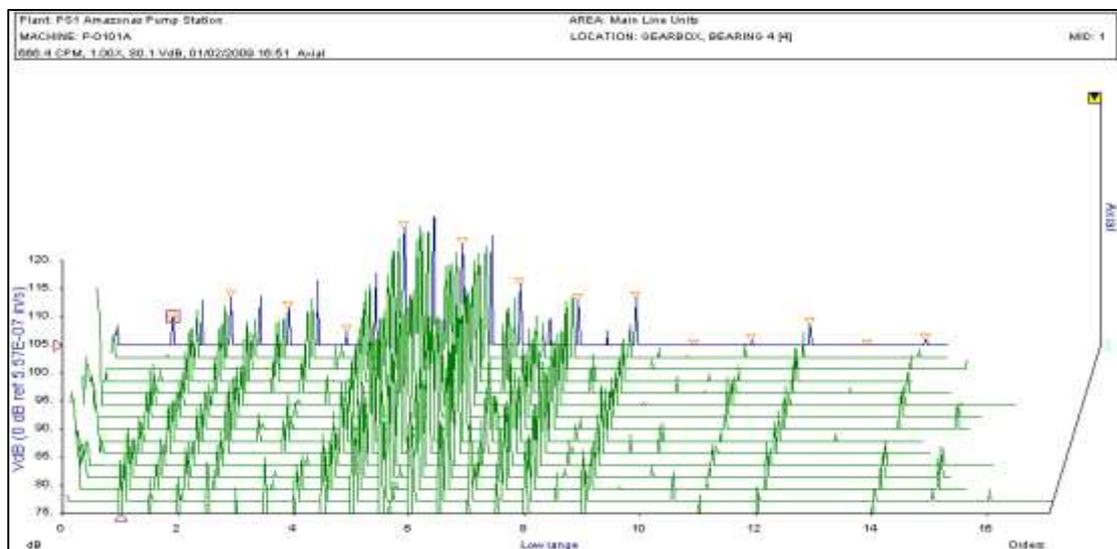


Figura 2.6. Registro de vibraciones en un ciclo de trabajo Transformada tiempo-frecuencia

Fuente: Monitoreo equipo instalado en OCP

Para el mantenimiento lo que interesa principalmente es que el monitoreo de vibraciones prevenga de daños a equipos, alertando cuando los espectros y amplitudes de los gráficos varíen con respecto a una base patrón establecida. Además de la

determinación de las causas por las que la máquina vibra, establecer las medidas correctivas a ejecutar para dar solución al problema que representan. En la figura 2.6 se muestra un registro de vibraciones en un ciclo de trabajo Transformada tiempo-frecuencia, donde se analiza el histórico para determinar incrementos en los valores.

Las vibraciones mecánicas de las máquinas, tienen un sinnúmero de consecuencias; entre las principales se encuentran: desgaste de materiales, aumento de ruidos en el ambiente laboral, y las más temidas son los daños por fatiga de los materiales, entre otras; además los parámetros de vibraciones, como se muestra en la figura 2.7, son, frecuencia, desplazamiento, velocidad y aceleración.

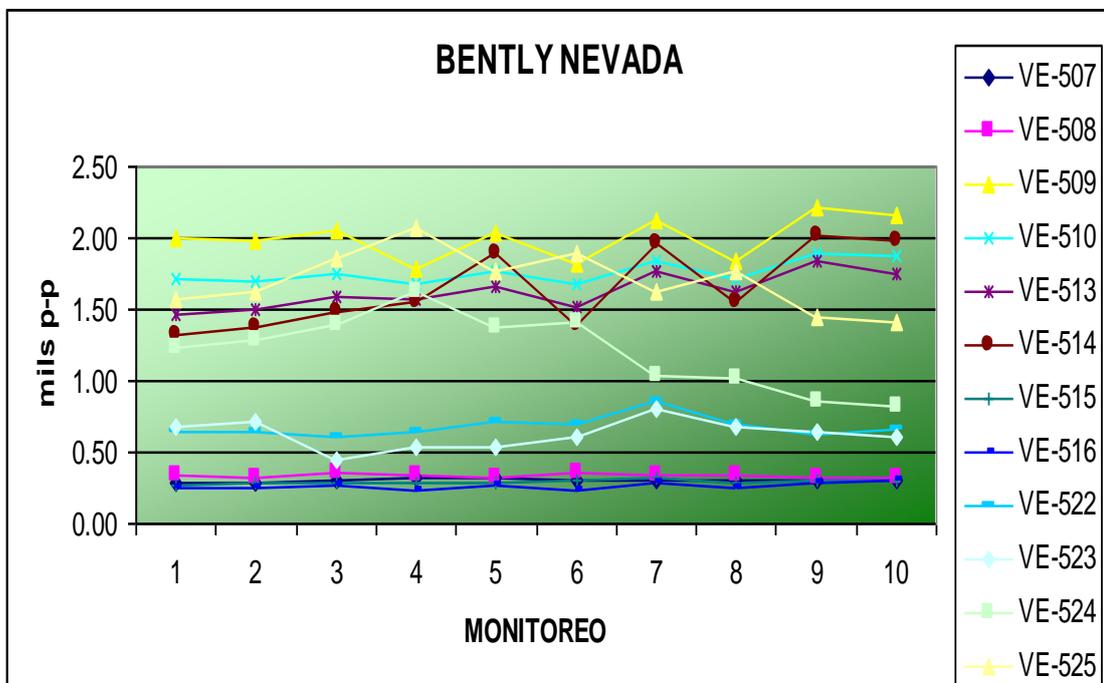


Figura 2.7. Los valores globales de vibraciones en una caja de engranajes

Fuente: Monitoreo equipo instalado en OCP

Los equipos o maquinarias cuando se encuentran en servicio presentan vibraciones consideradas normales de trabajo, sin embargo cuando aumenta el valor de lo establecido como normal se atribuye a varios factores, tales como: desequilibrio, equipo no alineado, excentricidad fuera del rango, rodamientos y cojinetes en mal estado, engranajes o transmisiones sin lubricación, etc.

*Monitoreo por análisis de lubricantes.* Otra técnica de monitoreo utilizada en gran medida es el análisis de aceite lubricante, el cual en el funcionamiento de los motores o máquinas juega un papel determinante en el buen funcionamiento y conservación de sus elementos. El aceite lubricante tienen como función formar una película entre los elementos rotativos protegiendo y evitando que entren en contacto directo, la falta de lubricación provoca desgaste, aumento de las fuerzas de rozamiento, incremento de temperatura; esta provoca dilataciones e incluso fusión de materiales y atascamientos de piezas móviles.

De lo anterior mencionado, se establece que el propio nivel de lubricante puede ser un parámetro de control funcional. Pero incluso manteniendo un nivel adecuado del aceite en de un equipo en operación sufre degradación de sus propiedades lubricantes y puede contaminarse, tanto externamente con polvo, agua, etc., como internamente con partículas de desgaste, formación de lodos, gomas y lacas. El monitoreo del estado mediante análisis físico-químicos de muestras de aceite tomadas de los equipos en servicio y el análisis de partículas de desgaste contenidas en el aceite llamado ferrografía, pueden alertar de fallos incipientes en los equipos lubricados.

Los resultados de un análisis de aceite lubricante muestran: elementos de desgaste, conteo de partículas, determinación de la limpieza, contaminantes, aditivos, condiciones del lubricante, viscosidad, de esta manera la técnica del análisis de aceite constituyen un aporte importante en el mantenimiento contribuyendo a:

- Reducir pérdidas de producción por desperfectos mecánicos.
- Reducir el desgaste de las máquinas y sus componentes.
- Reducir horas hombre dedicadas al mantenimiento.
- Reducir consumo de lubricantes.

*Monitoreo por análisis por ultrasonido.* Estudiando ésta técnica, se encontró que algunos años atrás, pocos especialistas de mantenimiento y operación de motores confiaban en el ultrasonido como herramienta del monitoreo de condición, a pesar que el ultrasonido de baja frecuencia tiene aplicaciones en la confiabilidad y mantenimiento,

esto en la actualidad ha cambiado debido a que se utiliza al ultrasonido para el análisis inicial de fallas. En la figura 2.8 se muestra el espectro de reporte de ultrasonido de un equipo de medición.

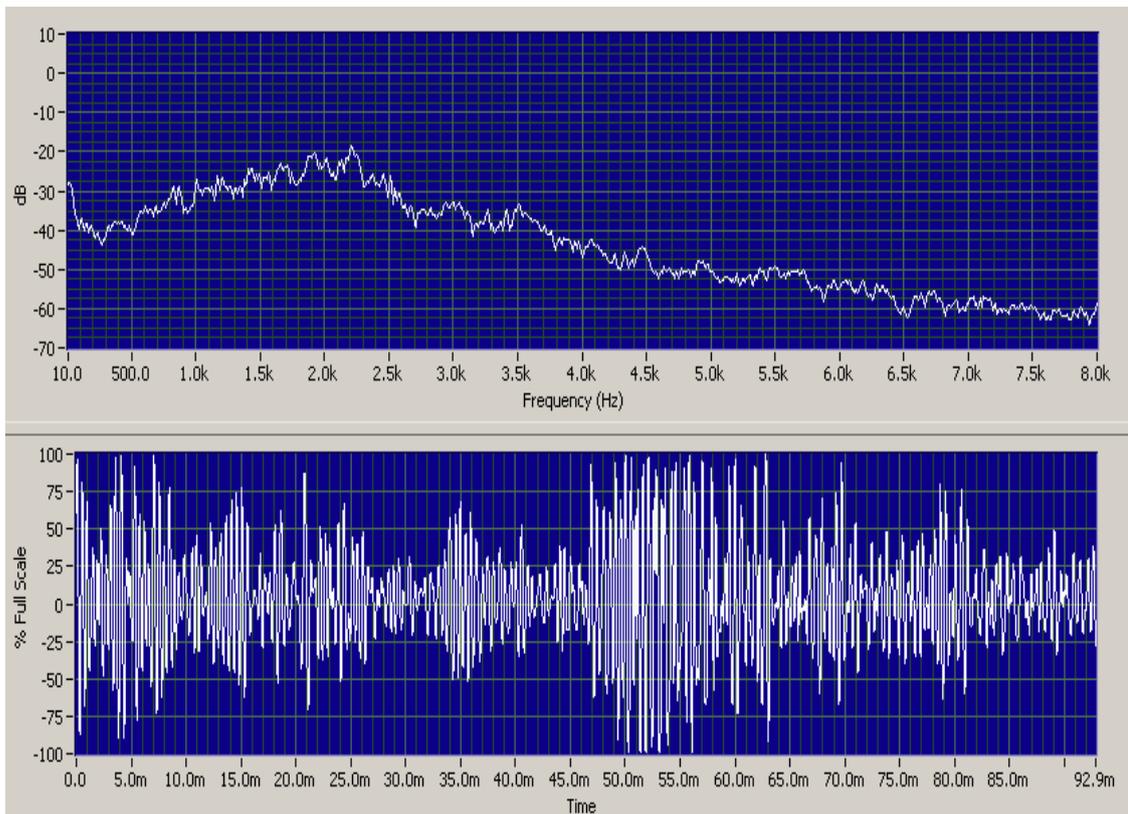


Figura 2.8. Señal de espectros en el tiempo del medidor de crudo

Elaborado por: Miranda César tomado de Análisis de ultrasonido de O.C.P (2015)

*Termografía.* Es una técnica de monitoreo la cual tiene como característica medir temperaturas de objetos o elementos a distancia, es decir la persona que lo realiza no tiene contacto con el equipo. Se utilizan cámaras con infrarrojo, lo que permite obtener una fotografía con rangos de colores para diferenciar los valores de temperatura del objeto. Según (FRANCOR, 2014) en la publicación de termografía infrarroja en el mantenimiento predictivo, define que: “La termografía infrarroja es una técnica muy útil que nos permite medir la radiación infrarroja que generan los objetos dependiendo de la temperatura a la que se encuentren. La medición se hace a distancia con los equipos energizados o en operación y no interrumpe su funcionamiento”. Ésta técnica

ayuda a ubicar puntos calientes en circuito eléctricos, que permiten identificar fallas como se muestra en la figura 2.9



Figura 2.9 Medición de temperatura con cámara infrarroja a distancia

Fuente: (FRANCOR, 2014) Publicación termografía infrarroja en el mantenimiento predictivo

*Análisis por árbol de fallas.* Considerada como una técnica que tiene un método para determinar causas de los eventos no deseados de una manera deductiva, centrada en un acontecimiento en particular. Se considera que se desarrolla por los años sesenta para la verificación de la fiabilidad de diseño de un cohete. Se ha desarrollado ampliamente en el campo químico y nuclear.

Para investigar un accidente o falla, se realiza un modelo de gráficos (Ver Figura 2.10) donde se muestran varias combinaciones de fallas de elementos. En esta técnica también se considera errores humanos

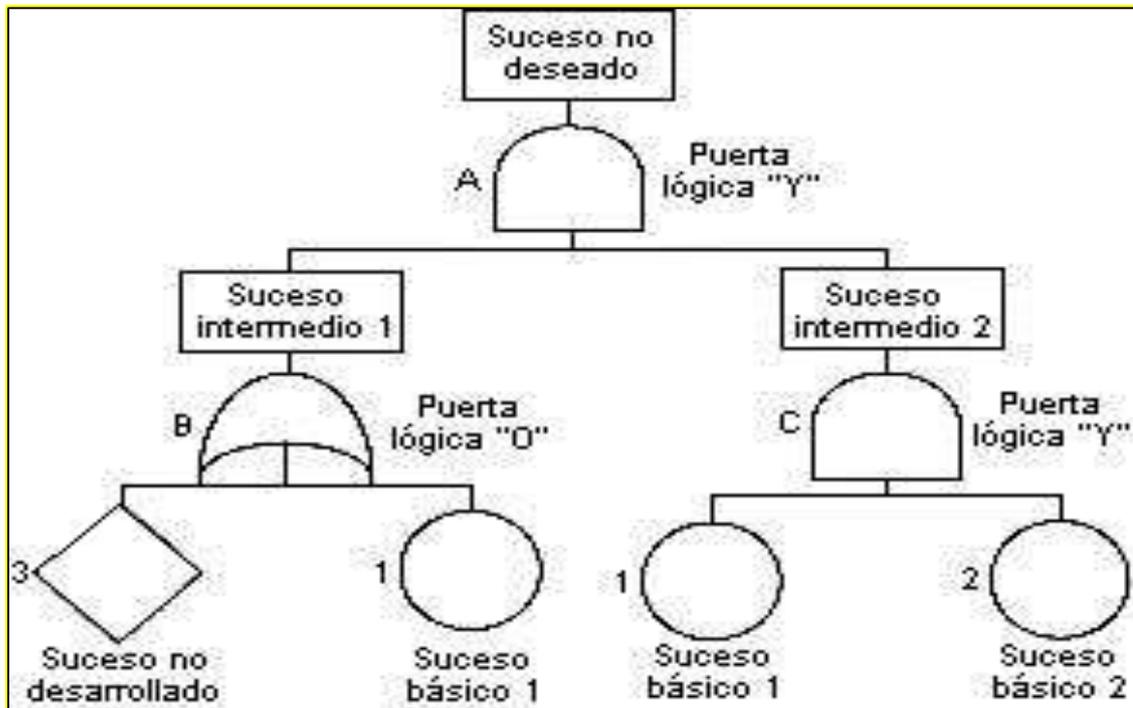


Figura 2.10. Ejemplo de árbol de fallas

Fuente: (Piqué Tomás, 2003). Análisis probabilístico de riesgos: Metodología del "Árbol de fallos y errores"

*Análisis de modos de falla efectos (AMEF).* El análisis de modos de falla y efectos, es una técnica que analiza las fallas en forma secuencial a partir de establecer la función del equipo investigado, de ahí identifica los modos de fallo que pudieran ocurrir, las causas y la afectación al proceso productivo. Esta técnica está normada en el país como (NTE INEN-IEC 60812, 2014). Según (Moubray, 2004). Se define un modo de falla, como la forma en la que un activo pierde su habilidad para desempeñar su función, entrando en el estado de falla: falla funcional.

Según (Aguilar, Torres, & Magaña, 2010), *un modo de falla podemos definirlo como la forma en la que un activo pierde la capacidad de desempeñar su función, o en otras palabras, la forma en que un activo falla. A cada modo de falla le corresponde una acción de mitigación o prevención, entro del proceso de Administración del Riesgo estas*

*acciones pueden ser orientadas a desviaciones del proceso, factores humanos, etc., o bien, como en este caso, donde el objetivo del FMECA es diseñar un plan de mantenimiento, a cada modo de falla le corresponderá una tarea de mantenimiento.*

El objetivo de la utilización de esta técnica es identificar los procesos o áreas que pudieran tener mayor cantidad de fallos; partiendo de la definición de la función requerida de un equipo que, por ejemplo, la función de una bomba sería: “Bombear 200 litros por minuto a una presión de 200 psi desde el tanque 1 hasta el tanque 2.

*Monitoreo de variables operativas.* En la operación de motores se utiliza el término monitoreo de parámetros operativos y se ejecuta a las magnitudes físicas medibles en unidades predeterminadas, como por ejemplo: presión, temperatura; que son los parámetros que se miden en línea y dan información del estado operativo del equipo y dependiendo de las instalaciones, se obtienen valores operativos instantáneos; con lo que es posible dar alerta del inicio de un daño en los equipos. (Tavares, 2000), define al Mantenimiento Predictivo o Previsivo como: “*Servicios de seguimiento del desgaste de una o más piezas o componentes de equipos prioritarios, a través del análisis de síntomas o estimativa hecha por evaluación estadística, con el objetivo de predecir el comportamiento de esas piezas o componentes y determinar el punto exacto de falla.*

En su gran mayoría el monitoreo se ha orientado al análisis de aceite y vibraciones como técnicas que ayudan a diagnosticar fallos; sin embargo son los parámetros operativos (ver figura 2.11) del motor, como la presión y temperatura de sistemas de agua, aceite lubricante, combustible, los que dan información al instante, si se posee un sistema de monitoreo instalado.

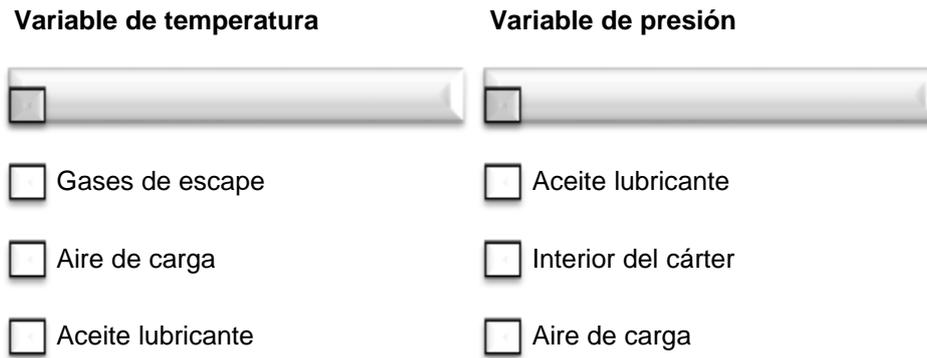


Figura 2.11. Variables de estudio

Elaborado por: Miranda César (2015)

En la Tabla 2.1. Técnicas de monitoreo de variables se explican las ventajas y desventajas que se tiene en la aplicación de cada una.

Las técnicas y herramientas están direccionadas a evitar las paradas de planta en la diferentes industria las cuales deben ser programadas y tratar de evitar las paradas repentinas o no programadas, según (Amendola, Dirección y Gestión de Paradas de Planta, 2011) , *“Un proyecto de parada de planta es un plan de actividades tendientes a ejecutar trabajos que no pueden ser realizados durante la operación normal de la planta de proceso y principalmente están orientados hacia el reemplazo de partes o componentes por vencimiento de su vida útil, inspección de equipos, incorporación de mejoras o modificaciones y correcciones de fallos.”*

Como menciona (VALENZUELA Latorre, M. Aníbal, 1987). En su publicación Modelo Térmico para sistema de monitoreo y protección de grandes motores, en la actualidad se han reducido los costos de los microprocesadores, sistemas de comunicación, se tiene mejores capacidades tecnológicas, y en general mejores equipos para el desarrollo de sistemas de monitoreo, control y protección de grandes motores, lo que permite que ya en algunas industrias se implemente sistemas para predecir o alertar fallas en línea.

De las técnicas estudiadas, cuyas ventajas y desventajas se muestran en la tabal 2.1, las que mayor desarrollo han experimentado están: el monitoreo de vibraciones, de análisis

de aceite y, últimamente se aplica la termografía infrarroja; sin embargo, en cuanto al monitoreo de variables como magnitudes de presión y temperatura de los motores de combustión, hay pocos trabajos desarrollados y aún no se establece una técnica exclusiva para una u otra variable determinada y por lo tanto existe un campo de desarrollo para realizar estudios en ese sentido.

Tabla 2.1. Técnicas de monitoreo de variables

TÉCNICAS DE MONITOREO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>Monitoreo de vibraciones</b>	Reduce costos de mantenimiento al detectar desequilibrios dinámicos de la maquinaria, irregularidad del motor, errores de montaje, desgastes en la maquinaria debido a falla de rodamientos y cojinetes, problemas de alineación.	No se realiza en cualquier parte de la maquinaria, puede mostrar datos errados, necesita de equipos costosos.
<b>Monitoreo de análisis de aceite</b>	Detecta tempranamente problemas antes que se conviertan en fallas mayores. Ahorra en cambios prematuros de aceite y revisiones innecesarias. Acorta los tiempos de reparación; usando los resultados del laboratorio el personal de mantenimiento va directo al núcleo del problema. Es posible programar con la debida antelación la disponibilidad de repuestos	Se debe disponer de un laboratorio y los equipos son de costos elevados. Los resultados pueden demorar según donde se encuentre el laboratorio.
<b>Análisis por ultrasonido</b>	Los datos ultrasónicos pueden proporcionar una alarma inmediata en el campo o pueden analizarse posteriormente. Se hace indispensable especialmente en la detección de fallas existentes en equipos rotantes que giran a velocidades inferiores a las 300 RPM, donde la técnica de medición de vibraciones se transforma en un procedimiento ineficiente.	Se limita a mecanismos rotantes, fugas de fluido, pérdidas de vacío, y arcos eléctricos. Equipos costosos
<b>Monitoreo Termo gráfico</b>	Mediante la implementación de un programa de inspecciones termo gráficas es posible minimizar el riesgo de un fallo eléctrico y/o sus consecuencias, a la vez que también representa una herramienta para el control de calidad de las reparaciones que se realicen al sistema.	Es más utilizado en sistemas eléctricos y poco aplicables en motores de combustión.
<b>Análisis por árbol de fallas</b>	La ventaja principal de los análisis de árbol de falla son los datos valiosos que producen que permiten evaluar y mejorar la fiabilidad general del sistema. También evalúa la eficiencia y la necesidad de redundancia.	Una limitación del análisis de árbol de fallas es que el evento no deseado que se está evaluando tiene que ser previsto y todos los factores contribuyentes a la falla tienen que ser anticipados. Este

		esfuerzo puede llevar mucho tiempo y puede ser muy caro. Y finalmente, el éxito en general del proceso depende de la habilidad del analista involucrado
<b>Análisis AMEF.</b>	Se debe identificar las áreas o ensambles que son más susceptibles de fallo. Ayuda también a eliminar debilidades o complicaciones excesivas del diseño, y a identificar los componentes que pueden fallar con mayor probabilidad.	Esta técnica es útil para evaluar soluciones alternativas a un problema pero no es fácil de usar con precisión en nuevos diseños.
<b>Monitoreo de variables operativas</b>	Se revisa los datos en líneas, se grafica tendencias en tiempo real, además debido a las características de facilidad de uso y conectividad de los sistemas disponibles es posible integrar toda la instrumentación de campo y diseñar el sistema de monitoreo rápidamente y a un bajo costo.	Errores en la toma de datos dan alarmas falsas, Poca información Poco desarrollados

Elaborado por: Miranda César (2015)

## 2.4 Conclusiones del capítulo II

1. Se realiza el estudio de los conceptos relacionados al tema, lo que permite conocer profundamente el tema y desarrollar procedimientos adecuados con términos estudiados y definidos de manera clara y concisa.
2. En el presente capítulo, como resultado del estudio se precisaron los principales métodos que constituyen la base teórica metodológica, para implementar un sistema de monitoreo de variables de los motores de bombas principales que permitirá dar solución, a problemas detectados como son las paradas no programadas de los motores. Destacan como metodología el monitoreo por condición, funciones del monitoreo, áreas de utilización del monitoreo, etc.
3. Se analizaron las distintas técnicas de monitoreo, las cuales sirven como sustento teórico y guía para identificar la problemática de no disponer de un sistema de monitoreo y determinar los fallos de motores por esa causa. Entre las principales técnicas se analizaron: el monitoreo de vibraciones, análisis de aceite, variables operativas.

## **CAPÍTULO III**

### **3. MÉTODOS Y MATERIALES**

El presente capítulo, corresponde a la elaboración o propuesta de la metodología para la implantación del sistema de monitoreo. Requiere de la aplicación de métodos de investigación teóricos y estadísticos para elaborar una estrategia que aborde el problema de la investigación, cuyo objetivo es implementar un sistema de monitoreo de variables de motores para reducir paradas no programadas en la Estación Cayagama. Los motores de combustión interna a los cuales se aplica la investigación pertenecen a la marca Wartsila modelo VASA 12V32 LN, que accionan las bombas principales del estación Cayagama para bombear crudo como parte del sistema de bombeo del Oleoducto de Crudos Pesados.

#### **3.1 Fundamentación de la solución**

El objeto de investigación es el sistema de monitoreo de motores de la Estación Cayagama del Oleoducto de Crudos Pesados, cuyo problema esencial está relacionado

con las pérdidas económicas por paradas no programadas de los equipos de bombeo por falla de motores Wartsila modelo VASA 12V32 LN.

- El Autor considera el supuesto, que la implementación de un sistema de monitoreo de variables de los motores en la estación Cayagama del Oleoducto de Crudos Pesados. Constituido por un modelo teórico del proceso de monitoreo y una metodología de monitoreo, es la estrategia adecuada para la solución del problema, por lo siguiente:
- Se inicia con el análisis teórico a partir de la modelación del sistema, lo que facilita su conceptualización y con ello llegar a conclusiones válidas sobre los componentes e interacciones críticas, las cuales constituyen el insumo principal para sintetizar la metodología de monitoreo.
- Establece un procedimiento estandarizado de monitoreo de variables operativas para gestionar los datos recolectados de una manera adecuada como guía para detectar desviaciones en su estado inicial.
- Da cumplimiento con lo requerido para una mejor vigilancia y seguimiento de los motores; estableciendo alertas para equipos que requieren mayor atención, puesto que la información se sistematiza y guarda un histórico por equipo.
- Utiliza los métodos y herramientas recomendables en normas según el análisis del marco teórico.
- Compromete a una adecuada capacitación del personal técnico involucrado en la operación y el mantenimiento.
- Relaciona de una mejor manera al equipo de operaciones con el de mantenimiento por la información adecuada y a tiempo que genera.
- Detecta desviaciones mínimas, ya que el técnico operador establece sus valores de alerta.

### **3.2 Modelo del sistema de monitoreo**

En función del análisis de las particularidades de la empresa y su actual funcionamiento, en la figura 3.1 se muestra el diagrama de bloque del proceso que se realiza en la

estación Cayagama. Para con ello establecer el modelo del proceso de monitoreo de los motores de bombas principales.

Un pronunciamiento en su libro de instrumentación y control de Procesos (Maraña, 2005) menciona que un proceso primero debe comprenderlo antes de controlarlo, también menciona que automatización es *“Acción por la cual se ejecuta un proceso de producción sin la intervención del operador de forma permanente de mantenimiento, como de calibración y respuesta”*.

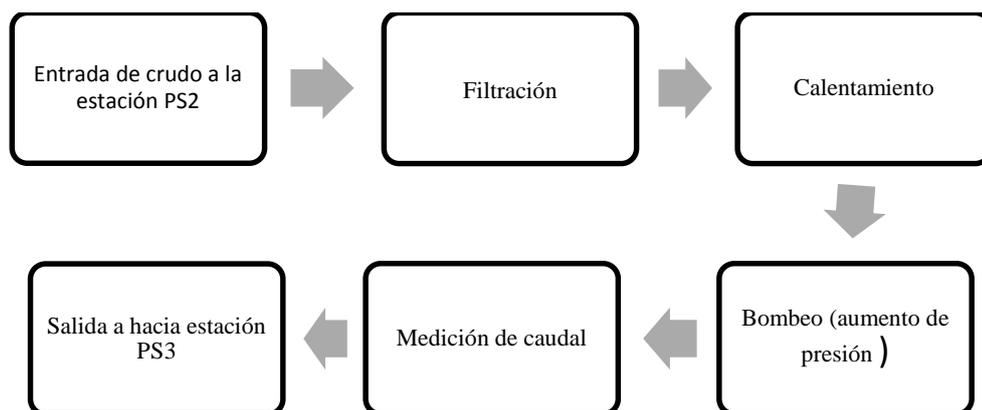


Figura 3.1. Diagrama de flujo del sistema de bombeo de la estación Cayagama.  
Elaborado por: Miranda César (2015)

Según la norma (ISO 9001, 2005) define proceso como: *“un conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada en resultados”*. Se procede a elaborar el modelo del proceso, con el propósito de poder diseñar adecuadamente el sistema de monitoreo. Se parte del supuesto de que este es un sistema socio técnico, dinámico y complejo.

- Es socio técnico ya que lo integran personas y equipos tecnológicos.
- Es dinámico ya que sus características están variando constantemente en el tiempo.

- Y complejo porque intervienen muchos elementos que requieren de una preparación académica, destrezas, habilidades y experiencia en el campo tratado.

Para la construcción del modelo se propone lo que establece la norma ISO 9001; puesto que las actividades de la metodología son agrupadas y secuenciales. Esto se considera como proceso, y del proceso se espera resultados para concentrar y conducir a la organización hacia:

- Delimitar de manera sistemática las actividades que componen el proceso.
- Identificar la interrelación con otros procesos.
- Definir las responsabilidades respecto al proceso.
- Analizar y medir los resultados de la capacidad y eficacia del proceso.
- Centrarse en los recursos y métodos que permiten la mejora del proceso.

Con lo explicado en los párrafos que anteceden, se determina que el enfoque basado en procesos de la norma ISO 90001, hace énfasis en la manera más eficiente de alcanzar los resultados deseados, agrupando actividades entre sí, las cuales deben permitir una transformación de las entradas en salidas deseadas; tomando en consideración que la transformación dentro del proceso debe aportar valor y al mismo tiempo se ejerce un control de las actividades del proceso.

### **3.3 Modelo para la implementación del sistema de monitoreo de variables para motores VASA 12V32LN en la estación Cayagama del Oleoducto de Crudos Pesados**

A partir del análisis del sistema realizado en el epígrafe anterior y los fundamentos metodológicos abajo relacionados es posible planificar la estrategia que se aplica para efectuar la implementación del sistema monitoreo, utilizando las herramientas y metodologías de investigación, estableciendo métodos y estrategias adecuadas para que las paradas no programadas producidas por las fallas en los motores Wartsila VASA 12V32LN de la estación Cayagama PS2, tengan en mínimo impacto en las equipos por ende se disminuirían las pérdidas económicas y de funcionalidad de las mismas.

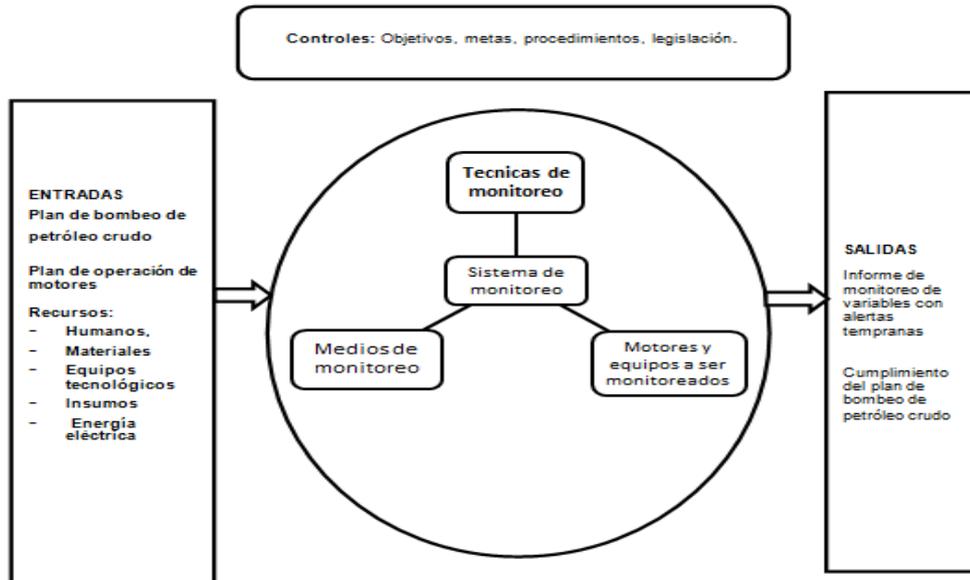


Figura 3.2. Modelo del procesos de monitoreo de variables  
Elaborado por: Miranda César (2015)

- Las técnicas aplicadas han sido validadas, basadas en normas para implementar sistemas de monitoreo.
- Metodologías estándar, normas internacionales ISO 9000, ISO14224, ISO 17359, especializadas en implementación de calidad y referidas para implementar sistemas de monitoreo
- Otras metodologías utilizadas son: el mantenimiento basado en la condición, técnico de mantenimiento predictivo, técnico de recopilación de datos de confiabilidad para industrias de gas y petróleo referidas en la norma ISO 14224
- Además se realizaron consultas en campo a los técnicos con experiencia en la operación de los motores.
- Realiza análisis de fallas de la base de datos del sistema de mantenimiento del Oleoducto de Crudos Pesados.
- Aplica las recomendaciones de la guía de la norma ISO 17359.
- Además, se utiliza la metodología de investigación de Hair, Bush y Ortinau, 2004., adaptada en la que establecen 4 etapas para la investigación: Primero: determinación del problema de la investigación, Segundo: establecimiento del diseño apropiado, tercero la ejecución del diseño y cuarto comunicación de resultados.

En la figura 3.3 se muestra la metodología para la implementación de un sistema de monitoreo de variables en motores Wartsila modelo VASA 12V32 LN de la estación Cayagama de la empresa Oleoducto de Crudos Pesados, conformada por cuatro etapas prácticas que dan sentido lógico, siendo un aporte para generar resultados positivos en el proceso de implementación del monitoreo. Esta metodología es:

- Sistémica porque todos los elementos para el monitoreo de variables forman parte de un sistema y sus interrelaciones, con lo cual se construye el modelo donde para las variables se establece comparaciones con valores definidos que nos permite tomar decisiones para mejorar los resultados del estudio
- Interactiva porque se interactúa con todos los elementos del sistema para generar aprendizaje de lo que se hace que comúnmente se denomina aprender haciendo.
- Dinámica porque provee la base estructural que se aplica a la implementación del monitoreo, para visualizar en el tiempo los cambios que se producen del problema a resolver que son las paradas no programadas, basados en un profundo estudio histórico de los datos que se posee como base, para gestionar las medidas de control y luego tomar medidas y de ésta manera resolver la situación anómala.
- E integral, ya que todo el personal que forman parte de la Estación Cayagama se integra para definir un camino a seguir, que favorece a su desarrollo y consecución de objetivos planteados por la dirección, como son la disminución de paradas no programadas. De ésta manera, se logra el compromiso de todos asumiendo retos y buscando oportunidades de mejora, de manera que el trabajo sea mas eficaz y eficiente.

### **3.4 Metodología para la implementación de un sistema de monitoreo de variables en motores Wartsila vasa12v32ln de la estación Cayagama de la empresa oleoducto de crudos pesados.**

Para la implementación de un sistema de monitoreo de variables en motores de bombas de la estación Cayagama, de la empresa Oleoducto de Crudos Pesados, se desarrolló una estructura metodológica basada en los estudios del marco teórico y la propia experiencia autor, para asegurar que la implementación del sistema propuesto sea de manera ordenada y secuencial. En la figura 3.3 se muestra la estructura metodológica desarrollada.

Los aspectos esenciales de cada etapa se desarrollaron de acuerdo a la figura 3.3. La descripción de los métodos y herramientas que le corresponde a cada etapa y sus componentes, se inicia con el diagnóstico de la situación inicial del monitoreo de variables de motores de la estación Cayagama.

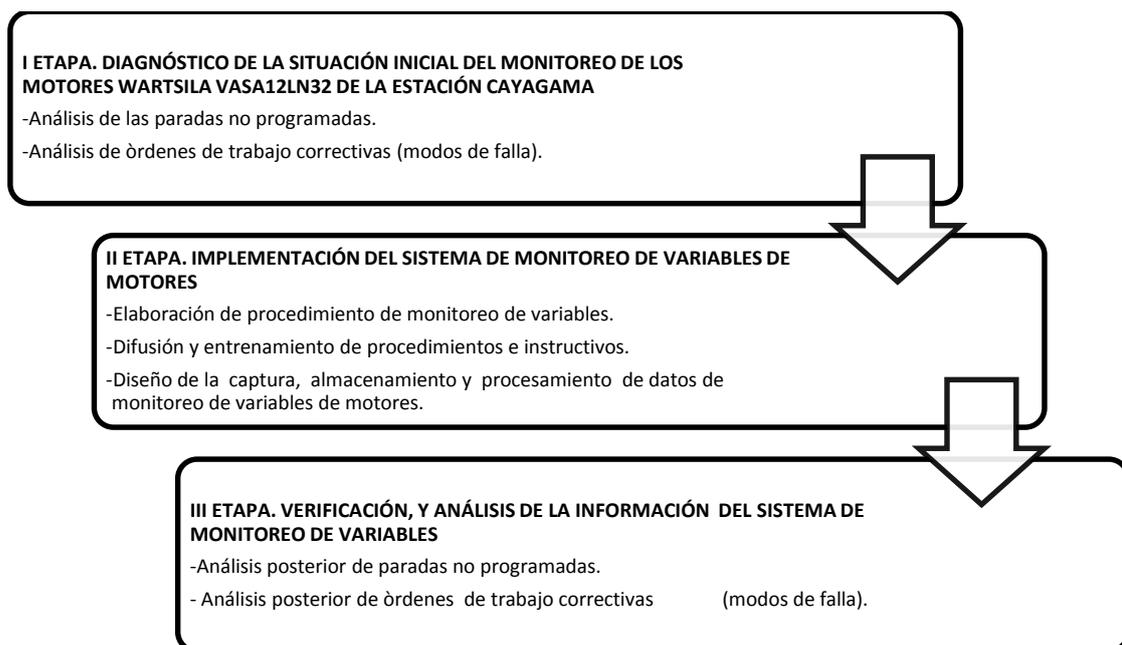


Figura 3.3. Estructura metodológica para la implementación de un sistema de monitoreo de variables en motores Wartsila vasa12v32ln de la estación Cayagama de la empresa oleoducto de crudos pesados.

Elaborado por: Miranda César (2015)

### **3.4.1 I Etapa. Diagnóstico de la situación inicial de los motores Wartsila.**

#### ***VASA12LN32 de la estación Cayagama***

Esta etapa comprende la realización de un estudio documental de los registros históricos de los motores Wartsila VASA 12V32 LN de la estación Cayagama, que mediante la técnica de estadística descriptiva se recolecta, clasifica, interpreta, describe y resume, un conjunto de datos, a partir de la observación. Lo cual permite poder evaluar, visualizar, de manera numérica y gráfica determinados resultados, con el propósito de poder llevar a cabo comparaciones y realizar estimaciones. Comprende los siguientes elementos:

- *Análisis de las paradas no programadas.* El análisis de paradas no programadas se lleva a cabo revisando la información documental del software de operación y mantenimiento (EAM) del oleoducto de crudos Pesados, donde son registrados los eventos por parte de los especialistas del cuarto de control principal MPCC por sus siglas en inglés (Main Pipeline Control Center). Se analiza la información registrada y documentada en la Estación, cuyas fechas depende de los documentos guardados por operaciones. Las herramientas a utilizar si se tiene equipos de computación asignados a la Estación Cayagama, son los software SCADA, WOIS, herramientas informáticas como el office, y otras más específicas tales como: el COGNOS, SMC.
- *Análisis de órdenes de trabajo correctivas (modos de falla).* Para ejecutar el análisis de órdenes correctivas representadas por los modos de falla, se procede primero revisando y analizando la información almacenada por el área de mantenimiento en las órdenes de trabajo correctivo. Para esto se utilizan, los registros de órdenes de trabajo del Oleoducto de Crudos Pesados que cuenta con un sistema donde interviene el software de mantenimiento EAM (Enterprise Asset Management) para que se registre toda la información de los mantenimientos correctivos. Ésta información se procesa en un software de datos llamada COGNOS, donde se encuentra una base de datos de mantenimientos correctivos identificados por fecha, modos de falla, equipos, costos y otros. Para el objeto de estudio, se toma la

información de la estación Cayagama por fallas de motores principales, cuya información dependerá de lo que en la Estación se disponga.

### ***3.4.2 II Etapa. Implementación del sistema de monitoreo de variables***

Para ésta etapa de implementación del sistema de monitoreo de variables se constituye de los siguientes elementos.

- *Elaboración de procedimiento de monitoreo de variables.* En el manual guía de elaboración de procedimientos (recuperado de <http://www.redeuroparc.org/sistematicalidadturistica/ManualGuiaparalaelaboraciondeProcedimientosO.pdf>), se menciona que, los procedimientos operativos son documentos que recogen la interrelación en el tiempo que existe entre diferentes departamentos, normalizando los procedimientos de actuación y evitando las indefiniciones e improvisaciones que pueden producir problemas o deficiencias en la realización del trabajo. Los procedimientos operativos deben ser complemento de las estrategias de calidad, se debe describir con detalle: cómo, quién, cuándo y dónde se realizan las actividades definidas en el Manual de Calidad. Los procedimientos aseguran:
  - Que cada actividad tenga un responsable y sea quien ejecuta de forma independiente y con pleno conocimiento de las tareas.
  - Que nada se improvise y tenga una secuencia ordenada de las tareas.
  - Que se cumplan los objetivos previstos en el procedimiento.

Para la elaboración del procedimiento, la empresa cuenta en su sistema de gestión por procesos, con un instructivo, donde se dan los lineamientos de acuerdo a lo requerido por la organización, y es entonces, en este documento, que se guía para la elaboración del procedimiento de monitoreo de variables, cuyo contenido debe tener lo siguiente:

- Alcance: Los procedimientos cubren al proceso o subproceso relacionado.

- Objetivo: Describe el propósito del procedimiento.
- Definiciones: Definiciones específicas aplicables al procedimiento.
- Responsabilidades: Responsables para la elaboración, actualización e implementación del procedimiento (Elaborador / Revisor / Aprobador).
- Descripción de las actividades: Describe todas las actividades que se deben ejecutar.
- Anexos: Son todos los documentos referenciales y necesarios para cumplir con el procedimiento correspondiente.

Además, se elaborará un instructivo para el registro de variables en una hoja de cálculo en Excel, donde de manera automática se registra cada 4 horas, los datos seleccionados para hacer el seguimiento. Igualmente para realizar un instructivo se tiene una guía donde se indica el contenido que debe tener cada instructivo, y se detalla en el documento guía de los procedimientos, denominado ELABORACIÓN DE DOCUMENTOS 9.3 –IN.00-08 Rev. 4, el contenido que debe tener cada instructivo es:

- Definiciones: Definiciones específicas aplicables al instructivo.
  - Objetivo: Describe el propósito del instructivo.
  - Desarrollo: Detalle de las actividades que se deben ejecutar.
  - Recursos: Detalle de los recursos necesarios para desarrollar las actividades contempladas en el desarrollo del instructivo.
  - Anexos: Son todos los documentos referenciales y necesarios para cumplir con el instructivo correspondiente.
- *Difusión y entrenamiento de procedimientos e instructivos.* La difusión se realizará al personal de operaciones de la estación Cayagama. El entrenamiento será teórico-práctico; el personal de operaciones labora en turnos rotativos, por esta razón se procederá a elaborar un plan de capacitación de cuatro (4) semanas.

Tabla 3.1. Tiempos de entrenamiento a operadores.

<b>Cargo</b>	<b>Cantidad entrenados</b>	<b>Charla y difusión de procedimientos</b>	<b>Práctica de monitoreo en cuarto de control</b>
Supervisor  Técnicos de operación y Mantenimiento	7	SEMANA 1	SEMANA 2
Técnicos de operación y Mantenimiento eléctrico	7	SEMANA 3	SEMANA 4
Total	14		

Elaborado por: Miranda César (2015)

- *Diseño de la captura, almacenamiento y procesamiento de datos de monitoreo de variables de motores.* Para que la implementación sea factible, se analizan las herramientas disponibles en la estación; las mismas que deben permitir y facilitar los siguientes puntos.
  - Es aplicable a todos los motores del sistema de bombeo principal de la estación de la Estación Cayagama, los cuales son cinco del fabricante Wartsila modelo Vasa 12V32 LN, identificados como D-0201A, D-0201B, D-0201C, D-0201D y D-0201E.
  - Facilite la adquisición y procesamiento de datos y que permita establecer frecuencias de captura de forma automática, para que luego se genere una base de datos de variables de los motores.
  - Que permita generar informes de alertas, estableciendo criterios de valores límites de cada variable, donde se comparen los valores de operación con los límites establecidos por el sistema de monitoreo, y muestre en el informe qué

variable superó y cuantas veces. Las variables a monitorear en los motores comprenden magnitudes de presiones y temperaturas de los sistemas del motor.

- Que preste facilidad para ejecutar tendencias de variables, que se reportarán en el informe de alertas; las cuales se emitirá comentarios con recomendaciones de acciones sin embargo se remitirá al proceso de análisis del mantenimiento para que se ejecute acciones correctivas.
- Que permita llevar una base de novedades para seguimiento de acciones tomadas y en las que se encuentren en proceso.

De lo explicado en los párrafos anteriores, se considerará las herramientas que se dispone en la Estación. Con ello se facilita en la parte técnica y económica para implementar el sistema de monitoreo de motores. Estas herramientas tecnológicas se explican a continuación.

- *WOIS (Wartsila Operator Interface System)*. Los motores Wartsila VASA 12V32 LN de la estación Cayagama, tiene cada uno, un computador con un software de registro de variables. En este software se pueden visualizar datos de variables de los sistemas que componen el motor. Para facilidad de la toma de datos, se instala en una computadora portátil donde se puede visualizar todos los datos.

Wartsila WOIS User Manual. OCP (Nov. 2001), el “wois”, es un sistema para monitorear los principales datos del motor, incluyendo los auxiliares. Muestra varios gráficos donde se visualizan los sistemas con valores de parámetros operativos o magnitudes como: presión, temperatura, velocidad de caudal. También supervisa el motor, mostrando varias pantallas con datos operativos y ajustes de valores de alarmas y paradas de emergencia de la planta. Muestra también los equipos en servicio. Permite obtener un reporte instantáneo de los datos. Además se visualizan: alarmas activas, equipos en servicio, listado e historial de eventos.

El sistema muestra tres diferentes niveles de acuerdo a los más importantes de la planta. El primer nivel describe y presenta información de lo más importante para proporcionar una rápida mirada a la planta. El segundo nivel utiliza símbolos y gráficas adicionales para mostrar la información. El tercer nivel muestra información detallada principalmente de medidas análogas del proceso.

- *SCADA. Supervisory Control and Data Acquisition.* El diseño del oleoducto contempla la utilización del SCADA para el control de las estaciones, por lo tanto ésta herramienta tecnológica se utilizará para la toma de datos que serán almacenados y luego procesados en una hoja de cálculo en Excel.

El sistema SCADA se define como una herramienta de software que permite al OCP monitorear y controlar las operaciones del oleoducto en tiempo real de una manera eficiente, segura y efectiva desde un centro de control centralizado y cuyas ventajas son:

- Reporte en tiempo real de las variables físicas del sistema.
- Control de contingencias.
- Almacenamiento de datos históricos.
- Planeamiento de la operación.
- Ejecución de programas que pueden modificar la ley de control.
- Eficiencia y Seguridad en la operación.
- Confiabilidad en medición.
- Análisis predictivo y tiempo de supervivencia.
- Facilidad de mantenimiento.
- Integración de la información.

Herramientas que se utilizan con el SCADA para que sea efectivo su apoyo en monitoreo: Instrumentación de campo, PLC (Computadores Lógicos programables), Sistema de telecomunicaciones (Fibra óptica - Satélite), Estaciones de operación,



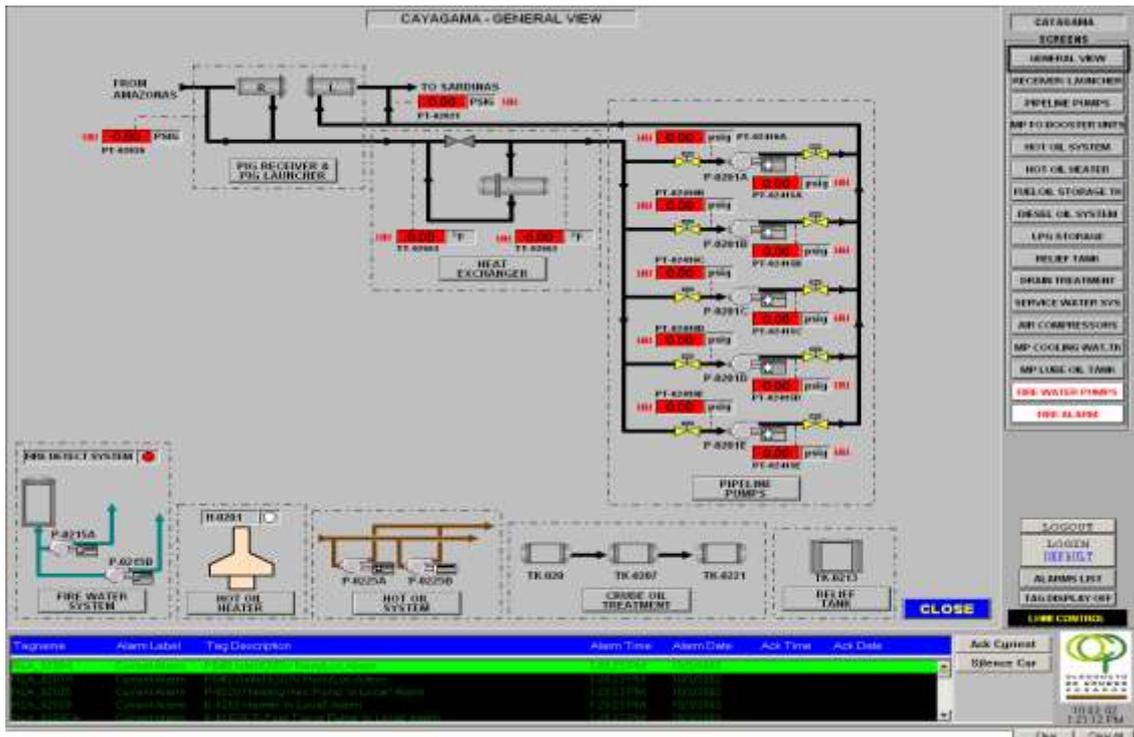


Figura 3.5. Pantalla general del HMI

Fuente: Oleoductos de crudos pesados

- *Excel*. Permite crear y manipular tablas de datos, gráficos, bases de datos, etc. Excel tiene como una de sus características, desarrollar verdaderas mini-aplicaciones avanzadas que se puede convertir en potentes herramientas de trabajo. También puede automatizar gran parte del trabajo, ya que al ser un programa o software de informática que algunas de sus funciones se han desarrollado para ejecutar tareas como almacenar datos, numéricos y formar una base, que luego se puede gestionar colocando límites operativos, alertas, alarmas, graficar tendencias , etc.

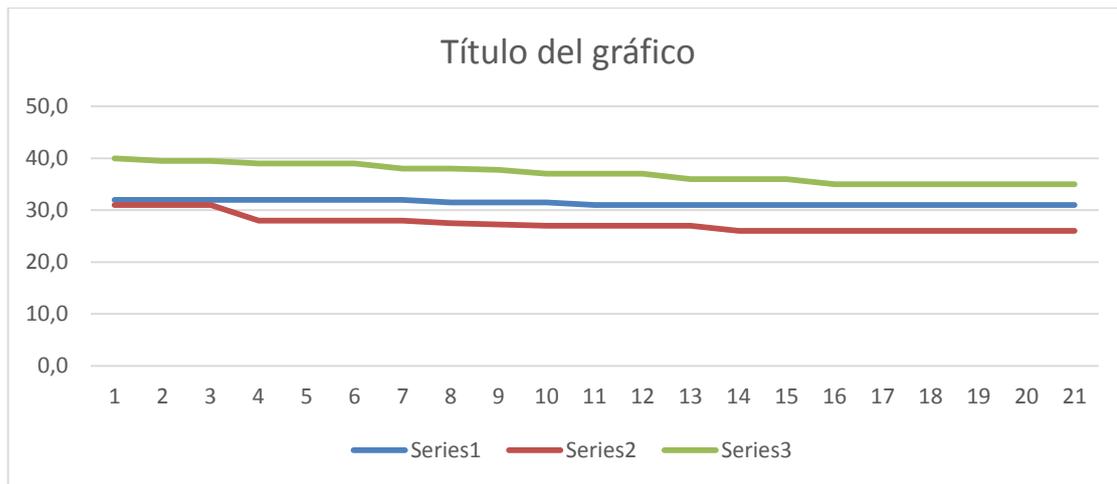


Figura 3.6. Ejemplo de gráficos de Excel

Elaborado por: Miranda César (2015)

Como se observa en la figura anterior, el gráfico muestra dos variables que se representan una en el eje vertical y otra en el eje horizontal.

### 3.4.3 III Etapa. Verificación y análisis de la información del sistema de monitoreo de variables.

Comprende una etapa primordial; ya que debemos establecer los resultados para el cumplimiento del objetivo de la implementación del monitoreo, la verificación y análisis del sistema de monitoreo de variables. Se realiza con las mismas herramientas de la evaluación del diagnóstico inicial. La tercera y última etapa de la metodología del sistema de monitoreo de variables de motores consta de dos elementos esenciales los cuales son:

Análisis posterior de paradas no programadas.

Análisis posterior de órdenes de trabajo correctivas (modos de falla).

- *Análisis posterior de paradas no programadas.* El análisis de paradas se lleva a cabo con la misma metodología del análisis de la situación previa; revisando información documental del software de operación y mantenimiento (EAM) del oleoducto de crudos Pesados, donde son registrados los eventos por parte de los

especialistas del cuarto de control principal MPCC por sus siglas en inglés (Main Pipeline Control Center),

En el sistema EAM, se revisa la información desde enero del año 2015, donde se inicia el monitoreo hasta octubre del 2015. Con estos datos se realiza una evaluación de resultados. Como herramientas a utilizar se tiene: equipos de computación asignados a la Estación Cayagama, herramientas tecnológicas como el Excel y herramientas de gestión de la empresa.

- *Análisis posterior de órdenes de trabajo correctivas (modos de falla).* De la misma manera, para ejecutar el análisis de los modos de falla se procede con la revisión de las órdenes de trabajo de motores correctivas generadas a partir de enero del 2015 hasta el mes de octubre del mismo año. Los datos se toman del software de mantenimiento EAM (Enterprise Asset Management), donde se registra toda la información de los mantenimientos correctivos. También ésta información se procesa en un software de datos llamada COGNOS, donde se encuentra una base de mantenimientos correctivos identificados por fecha, modos de falla, equipos, costos y otros.

### **3.5 Conclusión del capítulo III**

Se elaboró un modelo del proceso del sistema de monitoreo de variables para su estudio. Este modelo está conformado como elementos contribuyentes dentro del proceso por: las técnicas de monitoreo, los sistemas de monitoreo, los medios que se utilizan para el monitoreo y los equipos donde se realiza la aplicación.

Se propuso una metodología integral para la implementación del sistema de monitoreo de variables de motores, la que consta de tres (3) etapas. En la primera se realiza un diagnóstico de la situación inicial. En la segunda etapa que corresponde a la implementación del sistema se elaborarán los procedimientos, entrenamiento, difusión, generación de base de datos, procesamiento y emisión de informes. En la tercera etapa se ejecuta la verificación y análisis de informes. Con lo expuesto se considera ésta

metodología coherente para que una vez implementado contribuya a resolver los problemas de las paradas no programadas de los motores.

El sistema modelo y metodología, constituyen las herramientas adecuadas para realizar el monitoreo de variables en los motores de bombas en la Estación Cayagama se realice de forma ordenada. Siguiendo una secuencia lógica, lo que nos prevé realizar de forma exitosa y en un tiempo adecuado. Además con la limitación de recursos, ésta metodología es accesible con respecto a lo que el mercado ofrece con altos costos.

## **CAPÍTULO IV**

### **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

El presente capítulo tiene como objetivo la presentación y discusión de los resultados del trabajo de investigación. La metodología que se expuso en el capítulo anterior, fue aplicada para implementar el sistema de monitoreo de variables en los motores Wartsila modelo VASA 12V32 LN en la Estación Cayagama del Oleoducto de Crudos Pesados. Los datos analizados en el diagnóstico inicial, corresponden desde el año 2011 hasta el 2014, y la implementación se ejecuta desde enero del año 2015 cuyos datos se muestran en la validación.

Siguiendo la metodología establecida en el capítulo anterior y representada en la figura 3.3. (Estructura metodológica para la implementación de un sistema de monitoreo de variables en motores Wartsila VASA 12V32 LN de la estación Cayagama de la empresa Oleoducto de Crudos pesados), describimos los resultados de cada etapa.

#### **4.1 Diagnóstico de la situación inicial del monitoreo de los motores Wartsila VASA12LN32 de la Estación Cayagama**

La base de datos para capturar la información de las paradas de bombeo y los modos de falla, se tomó del sistema de mantenimiento y operación de equipos; el cual posee un módulo de registro de paradas de bombeo cuyo histórico fue posible analizar las causas y costos. Además del registro de órdenes de trabajo del mismo sistema, se analizan las correctivas, realizadas en los motores de bombas; donde se obtuvieron los modos de falla y costos.

El punto de partida para la implementación del sistema de monitoreo de variables, corresponde a un análisis de las paradas y modos de falla producidos en los motores de

la estación Cayagama. Esta etapa se realiza en dos pasos como se muestra a continuación.

- Análisis de paradas no programadas.
- Análisis de órdenes de trabajo correctivas con modos de falla.

#### **4.1.1. Análisis de paradas no programadas**

En correspondencia con el método propuesto sobre la base de datos histórica correspondiente a los motores de bombas principales, se realizó el análisis de las paradas no programadas producidas desde el año 2011 hasta el año 2014, y se clasificaron las paradas según las siguientes causas: instrumentación, mecánicas y errores humanos. Además, se incluye: pérdidas económicas por barriles de petróleo que se dejó de transportar por efecto de las paradas. Los resultados se muestran en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Resumen de paradas no programadas de Cayagama desde el año 2011 al 2014

	<b>Total de paradas</b>	<b>Por instrumentación</b>	<b>Por fallas mecánicas</b>	<b>Pardas por falla humana</b>
<b>Número de paradas</b>	<b>104</b>	<b>28</b>	<b>52</b>	<b>24</b>
<b>Costo estimado por categoría de paradas</b>	<b>\$208000 USD</b>	<b>\$56000 USD</b>	<b>\$104000 USD</b>	<b>\$48000 USD</b>
<b>Costo medio estimado de una parada</b>	<b>\$2000 USD</b>			

Elaborado por: Miranda César (2015)

En la tabla 4.1, se analizan las paradas no programadas de los motores de bombas principales en la Estación Cayagama durante los años 2011 hasta el 2014, teniendo un total de 104. Producto de ellas se tuvo pérdidas económicas de aproximadamente \$

208000 USD; además se muestra que el mayor número de paradas no programadas se producen por fallas de instrumentación y fallas mecánicas, que suman 80 paradas, mientras que por error humano corresponden 24 paradas.

La Estación cuenta con cinco (5) motores de bombas principales. Los que se identifican como D-0201A/E están denominados con la letra inicial D, por tratarse de un motor diésel, el 02 significa que está ubicado en la segunda estación de bombeo, el 01 se asignó a todos los motores principales y el orden se diferencia con la última letra, por ejemplo: la letra A es del primero. Analizando las paradas no programadas que se produjeron por cada motor desde el año 2011 hasta el año 2014 se obtienen datos que se muestran en la tabla 4.2.

Tabla 4.2 Total paradas por equipo desde el año 2011 al 2014

<b>MOTORES DE BOMBAS</b>	<b>Total paradas equipos</b>	<b>%</b>
<b>D-0201A Motor Wartsila VASA12V 32LN</b>	26	25,00%
<b>D-0201B Motor Wartsila VASA12V 32LN</b>	18	17,31%
<b>D-0201C Motor Wartsila VASA12V 32LN</b>	19	18,27%
<b>D-0201D Motor Wartsila VASA12V 32LN</b>	12	11,54%
<b>D-0201E Motor Wartsila VASA12V 32LN</b>	12	11,54%
<b>Otras paradas no imputables a los motores</b>	17	16,35%
<b>Total</b>	104	100,00%

Elaborado por: Miranda César (2015)

En la tabla 4.2 se observa que el motor D-0201A presenta 26 paradas, lo que equivale a un 25% del total, siendo el motor que más pérdidas presentó, seguido del motor D-0201C, que alcanza un total de 19 paradas que representa el 18.27%. Otro dato interesante, es el hecho de que por otras razones ajenas a los motores, hubo 17 paradas que representan el 16.35%.

#### ***4.1.2 Análisis de modos de falla***

El estudio de los modos de falla, se realiza aplicando la metodología propuesta y analizando las órdenes de trabajo correctivas de los motores de bombas principales de

la estación Cayagama de los años 2012 al 2014. En las órdenes de trabajo, los modos de falla se encuentran codificados con base en la norma ISO 14224. El objetivo por el que se realizó éste análisis fue para cuantificar los modos de falla de los trabajos correctivos que se han presentado, y determinar en qué medida afectan económicamente. Con ello focalizar el monitoreo en elementos y sistemas de los mismos. Los resultados del análisis de los modos de falla se muestran en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3 Total modos de falla producidos en los años 2012 al 2014

<b>Modos de falla</b>	<b>Simbología norma ISO 14224</b>	<b>Cantidad</b>	<b>%</b>
Desviación de parámetros	PDE	19	23.17%
Deficiencia estructural	STD	13	15.85%
Pérdidas externas de fluido de utilidades	ELU	8	9.76%
Rotura	BRD	5	6.10%
Salida errática	ERO	5	6.10%
Otros	OTH	5	6.10%
Problemas menores en servicio	SER	5	6.10%
Lectura anormal del instrumento	AIR	4	4.88%
Operación retardada	DOP	3	3.66%
Pérdidas externas de combustible	ELF	3	3.66%
No funciona como está previsto	FTI	3	3.66%
Pérdida externa del fluido del proceso	ELP	2	2.44%
Falla ante un requerimiento de arranque	FTS	2	2.44%
Falla de la función al ser requerida	FTF	1	1.22%
Salida baja	LOO	1	1.22%
Taponamiento / obstrucción	PLU	1	1.22%
Fallas en la transmisión de poder / señal	PTF	1	1.22%
Vibración	VIB	1	1.22%
<b>Total</b>	<b>18</b>	<b>82</b>	<b>100.00%</b>

Elaborado por: Miranda César (2015)

Como se observa en la tabla 4.3, el total de órdenes y modos de falla de los motores de bombas encontrados durante los años 2012 al 2014 suman 82. El PDE (desviación de parámetros) tiene mayor incidencia, alcanzando en total 19, lo que representa el 23.17%. A continuación, el modo de falla STD (deficiencia estructural) con 13 órdenes, es el segundo que tiene mayor incidencia y equivalente a un porcentaje del 15.85%. Los siguientes están por debajo del 10%, lo cual no es un comportamiento crítico.

En unión con el tipo de modo de falla, es interesante la determinación de los costos por cada modo de falla, donde cambia el orden y el modo de falla que produce más pérdidas no precisamente es el que tenga un porcentaje mayor de órdenes correctivas, éste análisis se muestra en la tabla 4.4.

Tabla 4.4. Costos por modos de falla de los años 2012 al 2014

<b>Modos de falla</b>	<b>Simbología norma ISO 14224</b>	<b>Costo USD</b>	<b>%</b>
Otros	OTH	195179.01	52.28%
Deficiencia estructural	STD	122530.62	32.82%
Rotura	BRD	12304.96	3.30%
Pérdidas externas de fluido de utilidades	ELU	11569.97	3.10%
Desviación de parámetros	PDE	9819.05	2.63%
Lectura anormal del instrumento	AIR	5000.58	1.34%
Salida errática	ERO	4788.00	1.28%
Vibración	VIB	2914.10	0.78%
No funciona como está previsto	FTI	2052.66	0.55%
Falla ante un requerimiento de arranque	FTS	1938.29	0.52%
Pérdidas externas de combustible	ELF	1074.64	0.29%
Fallas en la transmisión de poder / señal	PTF	995.26	0.27%
Problemas menores en servicio	SER	882.56	0.24%
Taponamiento / obstrucción	PLU	740.64	0.20%
pérdida externa del fluido del proceso	ELP	602.20	0.16%
Salida baja	LOO	522.01	0.14%
Operación retardada	DOP	384.00	0.10%
Falla de la función al ser requerida	FTF	11.22	0.00%
<b>TOTAL</b>	<b>18</b>	<b>373309.77</b>	<b>100.00%</b>

Elaborado por: El Miranda César (2015)

En la tabla 4.4 se puede apreciar que los 18 modos de fallas ocurridos ocasionan un costo total de \$373309.77 USD; y de ellos, el que presenta mayor incidencia corresponde a OTH (Otros) alcanzando \$ 195179.01 USD, equivalente al 52.28% del total y luego se encontró que el modo de falla STD (Deficiencia estructural) con un total de \$122530.62 USD, que equivale al 32.82 %. Estos dos modos de falla juntos representan el 85.1 % del total de costos. Es importante resaltar que dentro de la

categoría *Otros* se encontraron cambios de estructuras y cambios de equipos auxiliares por término de vida útil con elevados costos que se consideraron como fallos.

A modo de resumen de lo expuesto en ésta primera etapa de aplicación de la metodología, se puede consignar que durante los años 2012 al 2014 se produjeron 82 modos de falla. El análisis de frecuencia y costos de ellos arrojó lo siguiente: los modos de falla PDE (Desviación de parámetros) con 23.17% y el STD (deficiencia estructural) con 15.85%; son los que mayor incidencia tienen en cuanto a frecuencia. Los costos que ambos provocaron en éste periodo fue de \$373309.77 USD.

En cuanto a costos, el modo de falla de mayor incidencia fue OTH (Otros) con un costo de \$195179.01 USD; que representa el 52.28%. Luego se ubica el modo STD (Deficiencia estructural) con \$122530.62 USD que alcanza el 32.82% del total. A estos modos de falla se debe prestar mayor atención por su incidencia en los costos operativos de la compañía.

#### **4.2 Implementación del sistema de monitoreo de variables**

Para la implementación del sistema de monitoreo de variables de motores de bombas de la Estación Cayagama del Oleoducto de Crudos pesados, en correspondencia con la metodología propuesta en el capítulo anterior, se procedió a ejecutar los siguientes tres pasos o actividades.

- Elaboración de procedimientos.
- Difusión y entrenamiento de procedimientos.
- Diseño de la captación y procesamiento de datos.

Para la realización de ésta etapa se llevó a cabo un conjunto de actividades, donde participaron técnicos de operaciones y mantenimiento de la Estación, con el propósito de lograr el objetivo propuesto.

#### 4.2.1. Elaboración de procedimientos

El análisis de la situación del sistema de monitoreo, arrojó que son necesario dos procedimientos para lograr el funcionamiento ordenado del mismo. Estos son: un procedimiento para monitoreo e inspección de activos, cuyo objetivo principal es el análisis de las variables y generar informes de alertas tempranas. Y otro procedimiento para el monitoreo de condición de unidades principales de bombeo; teniendo como objetivo, analizar la condición mecánica antes de mantenimientos mayores.

En la tabla 4.5 se dan los aspectos esenciales de cada uno de ellos a saber: Nombre, código, objetivo, alcance etc. Los procedimientos para la implementación del sistema de monitoreo de variables de motores de bombas en la estación Cayagama de oleoducto de crudos pesados OCP Ecuador S.A., se elaboraron siguiendo lo establecido en la metodología del capítulo tres. En el primer procedimiento se detallan las tareas a ejecutar para el monitoreo de variables. El segundo procedimiento detalla la manera que corresponde a un análisis de los datos de las variables para obtener las tendencias.

Tabla 4.5 Procedimientos elaborados para la implementación del sistema de monitoreo de variables de motores en la estación Cayagama

Nombre del procedimiento	Código del procedimiento	Objetivo principal	Alcance del procedimiento	Resumen del contenido
MONITOREO E INSPECCIÓN DE ACTIVOS EN FACILIDADES	04.3-IN.0X-01	Analizar las variables de los activos para generar un informe de alertas tempranas	Activos de las Estaciones de bombeo.	Describe las tareas a ejecutar para el monitoreo de variables de activos de la empresa.
MONITOREO DE CONDICIÓN UNIDADES PRINCIPALES DE BOMBEO	OCPE-OM-P-00-22. PR-00-167	Optimizar el mantenimiento de equipos, analizando la condición mecánica antes de mantenimientos mayores para evitar potenciales modos de falla	Motores Wartsila VASA 12V32	describe las tareas para la evaluación de tendencias de variables del motor para posteriormente realizar un informe

Elaborado por: Miranda César (2015)

#### 4.2.2. Difusión y entrenamiento de procedimientos e instructivos

La difusión de los procedimientos se realizó con los recursos disponibles en la estación, como son: proyectores, computadoras del sistema de control y otros, también se contó con el apoyo del personal de operaciones. En la tabla 4.6, muestra el total de datos del

entrenamiento teórico sumando ocho (8) técnicos que completaron 128 horas hombre, de esta manera todo el personal de operaciones de la estación fueron capacitados en el manejo teórico del sistema de monitoreo de variables de motores.

Tabla 4.6 Horas hombre y total de técnicos capacitados en la teoría del sistema de monitoreo de variables de la Estación Cayagama

Personal Capacitado	Cantidad	Tiempo capacitación (teoría)	Horas-hombre
Supervisor	2	16	32
Técnico mecánico	3	16	48
Técnico eléctrico	3	16	48
Total	8		128

Elaborado por: Miranda César (2015)

Un aspecto importante presentado durante la difusión, fue que los técnicos tienen distintas especialidades como son: eléctricos, mecánicos y los Supervisores tienen especialidad en Mecánica; sin embargo la experiencia en operaciones del personal hizo que se facilite la explicación del tema. En la figura 4.1, se muestra una fotografía de un entrenamiento de la toma de datos del sistema de monitoreo en el cuarto de control.



Figura 4.1 Entrenamiento en el cuarto de control

Elaborado por: Miranda César (2015)

Para ejecutar las prácticas y entrenamiento de la operatividad del sistema, se programa en los turnos de cada operador. En la estación están establecidos dos turnos diarios de 12 horas durante una semana, por lo que el entrenamiento del sistema se completa en tres semanas. En la tabla 4.7, se muestra el número de técnicos que se entrenaron; que son tres técnicos mecánicos y tres técnicos eléctricos, completando un total de 504 horas-hombre. Con estas horas invertidas se garantizó el completo entrenamiento y

entendimiento del sistema para realizar todas las actividades contempladas en el sistema de monitoreo de variables de motores.

Tabla 4.7 Personal que realizó prácticas del sistema de monitoreo

Personal Capacitado	Cantidad	Tiempo entrenamiento en horas	Horas-hombre
Técnico mecánico	3	84	252
Técnico eléctrico	3	84	252
Total	6		504

Elaborado por: Miranda César (2015)

En la figura 4.2, se muestra a un técnico de operaciones entrenándose en el cuarto de control de Cayagama.

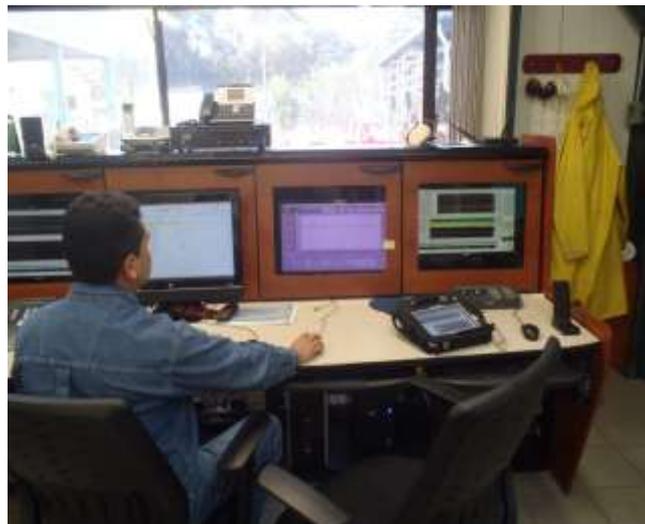


Figura 4.2 Prácticas en el cuarto de control

Elaborado por: Miranda César (2015)

#### ***4.2.3 Diseño de la captura, almacenamiento y procesamiento de datos de monitoreo de variables de motores***

Para el análisis de los equipos y, efectuar la implementación del sistema de monitoreo se desarrolló un sistema de información acoplado a software que se dispone en la

empresa como el WOIS (*Wartsila Operator Interface System*) y el SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), según se ilustra en la figura 4.3.

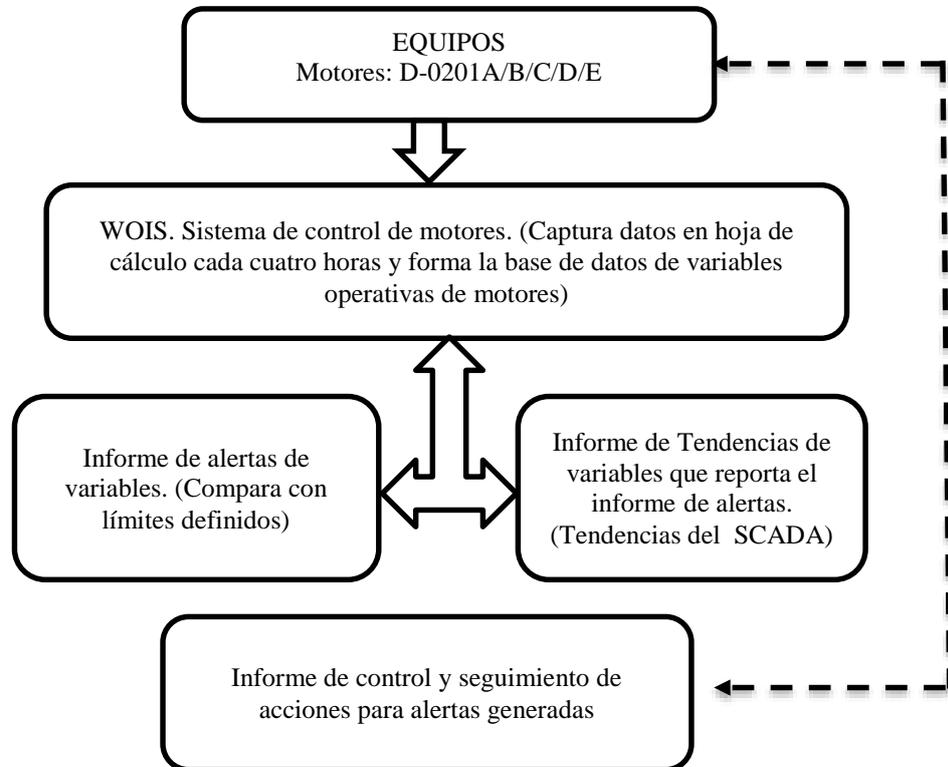


Figura 4.3 Diseño de la captura, almacenamiento y procesamiento de datos de monitoreo de variables de motores

Elaborado por: Miranda César (2015)

El Diseño de la captura, almacenamiento y procesamiento de datos de monitoreo de variables, consistió en el desarrollo de un sistema de información que ejecuta actividades básicas para el procesamiento de datos, como son:

- *WOIS. (Sistema de control de motores captura datos en hoja de cálculo cada cuatro horas y forma la base de datos de variables operativas de motores).* El monitoreo inicia con la captura de datos de valores de variables operativas de los motores por intermedio del sistema de control WOIS. Los datos se almacenan de forma automática en una frecuencia de cada cuatro horas. Esto se logró, realizando una interface entre el sistema de control de los motores y una hoja de cálculo desarrollada para que se capture y archive formando una base de datos de los

equipos en servicio, cuya frecuencia establece el operador, que en éste caso, es cada cuatro (4) horas. En la figura 4.4, se muestra un ejemplo de la hoja de datos almacenada de un día.

55 BOMBAS PRINCIPALES PS2		Fecha:		15/10/2015		Operator: =op/		F. Orbea																		
HORA	E/S UNIDAD	INCREMENTADOR				BOMBA						93														
		Diferencial de Presión de Bomba	Temp TK	Lube oil syst.		RPM	SUCTION PRESS.	DISCHARGE PRESS.	Caudal (bb/h)	MECH. SEAL PRESS.	DISCHARGE T °F	A1	A2	A3	A4	A5	A6	T/C EXH GAS	B1	B2	B3	B4	B5	B6	T/C EXH GAS	
				Temperatura Cojinete LS NDE (°c)	Temperatura Cojinete HS DE (°c)																					
8:00	A																									
	B																									
	C																									
	D	0.2	3.5	56	59.3	65.7	3648	15.8	94.2	4990	19	97.1	380	378	377	376	384	387	331	379	371	384	385	382	386	330
	E																									
	F																									
12:00	A																									
	B																									
	C																									
	D	0.2	3.5	56	57.9	63.7	3345	16.3	92.8	3653	19	96.9	392	385	389	386	388	390	364	388	385	381	389	394	391	362
	E																									
	F																									
16:00	A																									
	B																									
	C																									
	D	0.2	3.5	56	59.4	65.5	3656	15.9	94.2	4954	19	96.8	390	386	382	390	385	387	336	389	381	381	382	388	382	330
	E																									
	F																									
20:00	A																									
	B																									
	C																									
	D	0.3	3.5	55	59.1	65.6	3656	16.0	94.3	4964	300	97	389	383	392	391	386	387	338	392	385	378	383	386	380	331
	E																									
	F																									
0:00	A																									
	B																									
	C																									
	D	0.3	3.5	55	59.3	65.5	3663	15.9	94.4	4973	300	97	389	383	383.2	389	384	384	333	390	380	375	381	385	377	329
	E																									
	F																									
4:00	A																									
	B																									
	C																									
	D	0.3	3.5	55	59.2	65.5	3662	15.9	94.4	4987	300	97	389	383	382	389	385	383	332	390	380	375	380	384	377	329
	E																									
	F																									

Figura 4.4. Hoja de datos de monitoreo de variables de un día  
Elaborado por: Miranda César (2015)

Continuación de la figura 4.4

ENGINE RPM	TEMPERATURA DE BANCADAS							TURBOS		AIRE DE CARGA		AGUA DE ENFRIAMIENTO					LUBE OIL				FUEL OIL			AIRE DE ARRANQUE						
	0	1	2	3	4	5	6	7	BANCO A TIC RPM	BANCO B TIC RPM	PRESION TEMP(°C)	DIFERENCIAL (pascali)	HT COOLING WATER PRS.	HT COOLING WATER TEMP.	LT COOLING WATER PRS.	LT COOLING WATER TEMP.	PRESSION	TEMP. ENTRADA ENFRIADOR	TEMP. SALIDA ENFRIADOR	PRES. CARTER (mbar)	SUMP TANK LEVEL	PRESION	F. O. VISCOCITY	TEMPERATURA	T/C OIL LEVEL T S	T/C OIL LEVEL C S	Posición Cremallera Lado A K	AIRE DE ARRANQUE	% de carga	
645	81	80	78	79	84	83	81	80	20239	20578	1.3	56	2.2	81	2.9	39.9	4.58	66.5	77.2	0.30	18	7.42	20.2	78.9	OK	OK	31.8	31.8	21.5	52
591	79	77	75	76	81	79	78	77	16658	16862	0.8	55	2.0	82	2.6	43.1	4.56	65.8	75.7	0.23	18	7.53	19.4	78.9	OK	OK	24.8	24.8	25.8	52
646	80	80	78	79	84	83	82	80	20434	20741	1.3	58	2.2	85	2.9	42.6	4.57	66.8	77.8	0.28	18	7.44	20.8	78.4	OK	OK	32	32	24	52
646	81	80	78	79	85	83	82	80	20449	20762	1.3	58	2.2	85	2.9	43.2	4.54	67.2	78.1	0.24	18	7.48	19.7	78.2	OK	OK	30.9	30.9	22.9	5
647	80	80.1	78.1	78.8	85	83	82	80	20492	20805	1.3	58	2.2	84	2.9	41.6	4.54	66.8	77.8	0.30	18	7.46	20.3	79.4	OK	OK	31.9	31.9	22.3	5
647	80	80	78	79	85	83	82	80	20473	20803	1.3	58	2.2	84	2.9	41.7	4.55	66.7	77.7	0.31	18	7.46	20.3	79.3	OK	OK	32	32	22.3	5

Figura 4.4. Hoja de datos de monitoreo de variables de un día

Elaborado por: Miranda César (2015)

Arriba se muestra en la figura 4.4, una hoja de datos de un día; donde se encontró en operación el motor D-0201D que en la hoja consta como “D”. Estos datos se almacenan para realizar tendencias cuando se requiere o se haya detectado anomalías en el monitoreo.

- *Informe de alertas de variables (compara con límites definidos).* Se diseñó una hoja de cálculo, donde se introdujeron los patrones o límites de alertas de las nueve (9) variables operativas del motor seleccionadas previamente y mostradas en la tabla 4.8.

Tabla 4.8. Variables monitoreadas en los motores

Variable operativa de motor Wartsila VASA 12V LN 32	Valor de alerta establecida por el sistema de monitoreo	Alarma fabricante (Wartsila)	Valor de paro del fabricante (Wartsila)	Valores de operación normal
Diferencia de gases en cilindros (°C)	40	72	105	10 - 30
Temperatura promedio de gases escape (°C)	420	500	550	380 - 390
Desviación de temperatura con respecto al promedio (°C)	35	55	75	5 - 20
Presión de aceite lubricante (kg/cm <sup>2</sup> )	4.5	3.5	2.5	5.0
Temperatura de aceite (°C)	70	80	85	65
Presión de combustible (kg/cm <sup>2</sup> )	6.5	4	2.0	7.5 - 8.0
Presión de aire de carga (kg/cm <sup>2</sup> )	0.8	3.0	N/A	1.7
Temperatura de aire de carga (°C)	65	72	85	57 - 60
Presión del cárter (mbar)	0.5	2.5	5	0.25
Presión de la caja de engranajes (kg/cm <sup>2</sup> )	1.5	1	1	1.8 - 2.0

Elaborado por. Miranda César (2015)

En la hoja de cálculo mencionada en el párrafo anterior, se visualizan, en tiempo real, los valores de las variables de los motores que se encuentren en operación. Cada cuatro horas captura el valor de las variables y con ellos procesa la información, comparando con los patrones establecidos como límites. Si los valores son normales, las celdas de las variables permanecen en verde. Cuando un valor sale fuera del valor límite, éste suma y cambia la celda de color verde al amarillo hasta cuando alcance 5 desviaciones. Si las desviaciones o alertas son mayores a cinco, cambia la celda a color rojo. Todo es ejecutado en forma automática.

Los límites de alerta se establecieron según criterio del personal de operaciones. El conteo de alertas según indica la tabla 4.9, muestra parte de la hoja que ejecuta la comparación de los valores de variables. En ella consta la cantidad de veces que un valor salió de los límites. Para el caso mostrado como ejemplo, el motor D-0201C ha presentado diez desviaciones en el cilindro A5 y tres en el cilindro A2, y constan como alertas por el color de las celdas y el número de desviaciones en ellas.

Tabla 4.9 Conteo de alarmas de diferencia de temperaturas de gases de escape entre cilindros.

		Diferencia de gases entre válvulas de cilindros											
TAG		A1	A2	A3	A4	A5	A6	B1	B2	B3	B4	B5	B6
D-0201A		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D-0201B		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D-0201C		0	3	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0
D-0201D		0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D-0201E		0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0

Elaborado por: Miranda César (2015)

A continuación, en la tabla 4.10, se muestra como ejemplo, una parte de la hoja de cálculo donde se establece los límites de los valores de las variables operativas. Contra éstos valores el sistema de monitoreo compara automáticamente. Por ejemplo, para la diferencia de temperatura de gases entre válvulas, el límite es 40°C.

Tabla 4.10 Ejemplo de valores establecidos como alertas tempranas en la hoja de cálculo del informe de monitoreo

Diferencia de gases en cilindros D-0201A													
Cilindros		A1	A2	A3	A4	A5	A6	B1	B2	B3	B4	B5	B6
		°C											
Pre-Alarm H		40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40

Elaborado por: Miranda César (2015)

El resumen de alertas desde enero a octubre del año 2015 (Periodo de implementación del sistema de monitoreo), se presenta en la tabla 4.11, dando un total de 467 alertas, predominando las alertas por diferencia de gases en cilindros, que suman en total 360, seguido de alertas por superar, la temperatura promedio de gases escape con 69 eventos. Con éstos, se remite como entrada para el proceso de análisis, donde se tomaron medidas para corregir las desviaciones.

Tabla 4.11 Resumen de alertas de motores de la Estación Cayagama del año enero octubre 2015

<b>Parámetro</b>	<b>Número de alertas</b>
Diferencia de gases en cilindros (°C)	360
Temperatura promedio de gases escape (° C)	69
Desviación de temperatura con respecto al promedio (°C)	4
Presión de aceite lubricante (kg/cm <sup>2</sup> )	3
Temperatura de aceite (°C)	3
Presión de combustible (kg/cm <sup>2</sup> )	10
Presión de aire de carga (kg/cm <sup>2</sup> )	5
Temperatura de aire de carga (°C)	3
Presión del cárter (mbar)	5
Presión de la caja de engranajes (kg/cm <sup>2</sup> )	2
<b>Total de alertas</b>	<b>467</b>

Elaborado por: Miranda César (2015)

- *Informe de Tendencias de variables que reporta el informe de alertas. (Tendencias del SCADA).* Con los datos de alertas de las variables que han superado los límites establecidos de cada una de esas variables, se realizó informes con gráficos de tendencias. Esto fue posible empleando el sistema SCADA que cuenta la empresa. El informe se realiza semanalmente cuando la novedad no amerita que se tome acción inmediata. Como el anterior informe, también el de tendencias se remite al proceso de análisis del mantenimiento para la toma de decisiones de las acciones a seguir y dar solución efectiva a las desviaciones y evitar pérdidas económicas por daños de equipos.

Un ejemplo de la tendencia de una variable operativa de motores de Cayagama que superó los valores establecidos como límites por el sistema de monitoreo, se muestra en la figura 4.5. En ella se observa, que en el motor D-0201A, la tendencia mostrada en la variable de temperatura de los gases del cilindro B4 presenta una tendencia decreciente hasta las 26732 h; probablemente se encuentre el sensor defectuoso. La recomendación realizada, es que se limpien los termos pozos de sensores en la próxima parada programada.

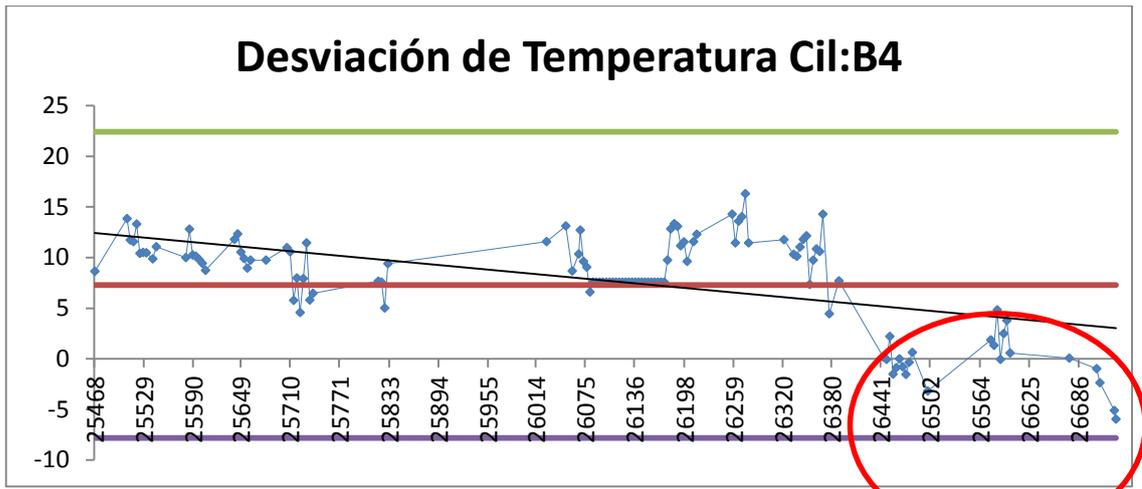


Figura 4.5 Tendencia de desviación de temperatura de gases de escape entre válvulas de motor D-0201A que superó los límites del sistema de monitoreo de variables de motores

Fuente: base datos monitoreo de OCP (2015)

*Informe de control y seguimiento de acciones para alertas generadas.* Los informes de monitoreo arrojan novedades, a las cuales deben realizarse seguimiento de acciones propuestas para dar solución. Por ello se realiza una base de datos de seguimiento de acciones a cada novedad presentada. Esta base se revisa y actualiza semanalmente en conjunto con la revisión de los informes de alertas y tendencias.

A continuación, se muestra una parte del control y seguimiento que se realizó a las acciones que se toman con respecto a las alertas detectadas. En la hoja de datos consta la fecha, equipo, novedad encontrada, estado de la orden de trabajo, observaciones y fecha de cierre de la novedad. A manera de ejemplo, en la figura 4.12, muestra que el 28 de abril del 2015, el motor D-0201A ha presentado una tendencia creciente de la temperatura de diferencia de gases de escape del cilindro A1, a pesar de estar dentro de los límites de control ya tiene una tendencia a salirse del mismo, por lo tanto, ya se emite una alerta para que se tomen acciones.

Tabla 4.12. Seguimiento de acciones de alertas

FECHA DE DETECCION	EQUIPO	HOROMETRO	NOVEDAD ENCONTRADA	NUMERO DE OT	ESTADO DE OT	OBSERVACIONES	Fecha de cierre de la novedad
28/04/2015	D-0201A	30832	La diferencia de gases del cilindro A1 se encuentra bajo control, pero la tendencia es creciente y paulatinamente durante días, por lo tanto si se habla de un picado en las válvulas de escape. En estación se comprobó defectos en las válvulas de escape.	521207	Cerrada	Los valores estables y bajo control	30/06/2015
	D-0201B	28429	La diferencia de gases del cilindro A1, ha presentado un comportamiento creciente e incluso saliendo de control del límite superior. Último dato registrado 04/06/2015 a la 08:00, con 666 RPM aproximadamente con un horómetro de 28429.	527073	Cerrada	El proedio se mantiene bajo y no ha incrementado su valor	26/07/2015
	D-0201A	32967	La presión del Carter a 73% de carga de un valor de 0.1, está trabajando bajo el límite inferior, el último valor está registrado el 20/04/2015 con un horómetro 32967,	527070	Cerrada	La presión del cárter es normal se debe monitorear si el límite alcanza el superior	26/07/2015
02/10/2015	D-0201C	28741	La diferencia de gases del cilindro A5 presentan un incremento de temperatura, al momento la tendencia se encuentra bajo control. El incremento de temperatura es a las 28729 horas con 36°C, 28733 horas con 39°C, 28741 horas con 43°C			Se consulta al supervisor e indica que se está monitoreando y que se va a realizar mantenimiento a los cabezotes a las 28000 horas.	

Elaborado por: Miranda César (2015)

### 4.3 Verificación, y análisis de la información del sistema de monitoreo de variables

La verificación y análisis de la información son resultados luego de la implementación, se realizó con las herramientas descritas en la tercera etapa del capítulo tres (3), este apéndice se realizó posterior a la implementación y en un lapso de diez (10) meses desde enero a octubre del año 2015, consta de dos elementos que son:

-Análisis posterior de paradas no programadas

-Análisis posterior de órdenes de trabajo correctivas (modos de falla).

- *Análisis de paradas no programadas.* El análisis de paradas se lleva a cabo con la misma metodología del análisis de la situación previa, revisando información documental del software de operación y mantenimiento (EAM) del oleoducto de crudos Pesados, donde son registrados los eventos por parte de los especialistas del cuarto de control principal MPCC por sus siglas en inglés (Main Pipeline Control Center).

En el sistema EAM, se revisa la información desde el mes de junio del año 2015, donde se inicia el monitoreo hasta enero del 2015. Con estos datos, se realiza una comparación con los resultados de la situación inicial para validar si se cumple el objetivo de la investigación.

Como herramientas a utilizar se tienen: equipos de computación asignados a la Estación Cayagama, software SCADA, WOIS, herramientas tecnológicas como el Excel, Word, herramientas de gerencia de la empresa como el COGNOS, SMC.

Los resultados de las paradas no programadas analizadas por causas mecánicas, eléctricas y errores humanos, constan en la tabla 4.13. Estos resultados corresponden al análisis de paradas no programadas desde el mes de enero a octubre del año 2015. En lo que se refiere a paradas no programadas, observamos que en total, se producen diez eventos que alcanzan un costo de \$20000 USD, de los cuales el de mayor incidencia es por causas mecánicas con ocho eventos que representa el 80%. Brevemente podemos mencionar, que a partir de la implementación del sistema de monitoreo, disminuyen las paradas no programadas de los motores.

Tabla 4.13. Resumen de paradas no programadas y costos producidos desde el mes de enero a octubre del año 2015 en la estación Cayagama.

	<b>Total de paradas</b>	<b>Instrumentación</b>	<b>Mecánicas</b>	<b>Error humano</b>
	10	1	8	1
Costo estimado por parada (2000 USD)	\$20000	\$2000	\$16000	\$2000

Elaborado por: Miranda César (2015)

*Análisis de órdenes de trabajo correctivas (modos de falla).* De la misma manera para ejecutar el análisis de órdenes correctivas y modos de falla, se procedió con la revisión de las órdenes de trabajo de los motores, generadas a partir de enero de 2015 hasta el mes de octubre de 2015.

El resultado del análisis de las ordenes correctivas, mostrados en la tabla 4.14, arroja en total cuarenta y uno (41) eventos, con un costo de \$79884.34 USD, predominando el modo PDE (desviación de parámetros) con 13 eventos, que representa el 31.71%. Se observó también, que el modo OTH (Otros), tienen el segundo mayor costo con \$19439.28 USD pero con apenas tres eventos. Analizando brevemente, se observa, que el costo por mantenimientos correctivos representados en los modos de falla, disminuye durante el periodo implementado el sistema de monitoreo de variables de los motores.

Tabla 4.14. Resumen de cantidad y costos de Modos de falla de enero a octubre del año 2015

Abreviatura de modo falla(según ISO 14224)	Costo \$ USD	%	Cantidad	%
PDE	37695.00	47.19%	13	31.71%
OTH	19439.28	24.33%	3	7.32%
ELU	6217.19	7.78%	3	7.32%
LOO	5309.73	6.65%	1	2.44%
PLU	3778.81	4.73%	7	17.07%
ERO	1929.58	2.42%	3	7.32%
FTS	1668.93	2.09%	1	2.44%
OHE	1572.49	1.97%	1	2.44%
AIR	1105.50	1.38%	3	7.32%
BRD	729.04	0.91%	2	4.88%
ELF	223.44	0.28%	1	2.44%
SER	180.18	0.23%	1	2.44%
NOI	22.28	0.03%	1	2.44%
VIB	12.89	0.02%	1	2.44%
total	79884.34	100.00%	41	100.00%

Elaborado por: Miranda César (2015)

#### **4.4 Análisis de resultados globales de la aplicación del sistema de monitoreo de variables en los motores de bombas de la estación Cayagama**

Como aporte básico de la implementación del sistema de monitoreo de variables de motores de bombas, en éste epígrafe se muestra una comparación de los resultados del análisis de la situación inicial con los resultados posterior a la implementación del sistema. Con ello se analizó lo que ha significado la implementación del sistema de monitoreo.

##### **4.4.1 Análisis comparativos de paradas no programadas.**

El análisis contempla la cantidad de paradas producidas por cada año y se compara con el año 2015, donde ya se implementó el sistema de monitoreo para alertar desviaciones antes que ocurran las paradas. El estudio de los resultados de los informes arrojó que: las paradas no programadas disminuyen a un total de diez (10), lo que significa que con

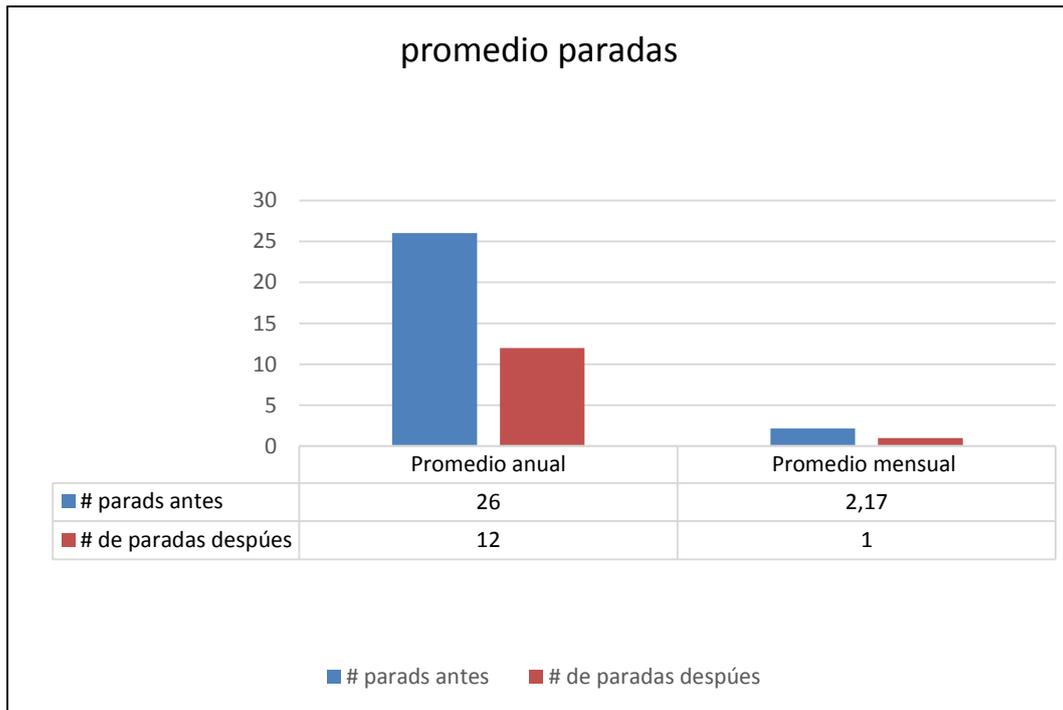
respecto a los años 2011 al 2014 reduce significativamente; y para exponer lo mencionado se muestra la figura 4.6



Figura 4.6 Cantidad de paradas no programadas por años

Elaborado por: Miranda César (2015)

Los datos de paradas no programadas, se lleva a un análisis de promedios anual y mensual. El resultado indica, que en el año que se implementa el sistema de monitoreo de alertas tempranas, se reduce a doce (12) al año de veinte y seis (26) paradas que se tuvo en promedio de los años 2011 al 2014. Llevando esto a promedios mensuales, resulta que se redujo de 2.17 a un promedio de una (1) parada mensual, datos mostrados en la figura 4.7



**Figura 4.7 Promedio de paradas**

Elaborado por: Miranda César (2015)

En la empresa se ha establecido, que cada parada tiene un costo de \$2000 USD, lo que significa que en el año 2011 las treinta y una (31) paradas, costaron \$62000 USD. Este es valor anual más alto. En cambio, luego de la implementación, en diez (10) meses, del año 2015 se reduce a 10 paradas no programadas que cuestan \$20000 USD. Entonces, se deduce que la implementación el sistema de monitoreo, contribuyó a reducir de manera significativa las paradas que termina en ahorro a la empresa en más del 65% por paradas programadas de los motores. Todo lo explicado se observa de manera gráfica en la figura 4.8.

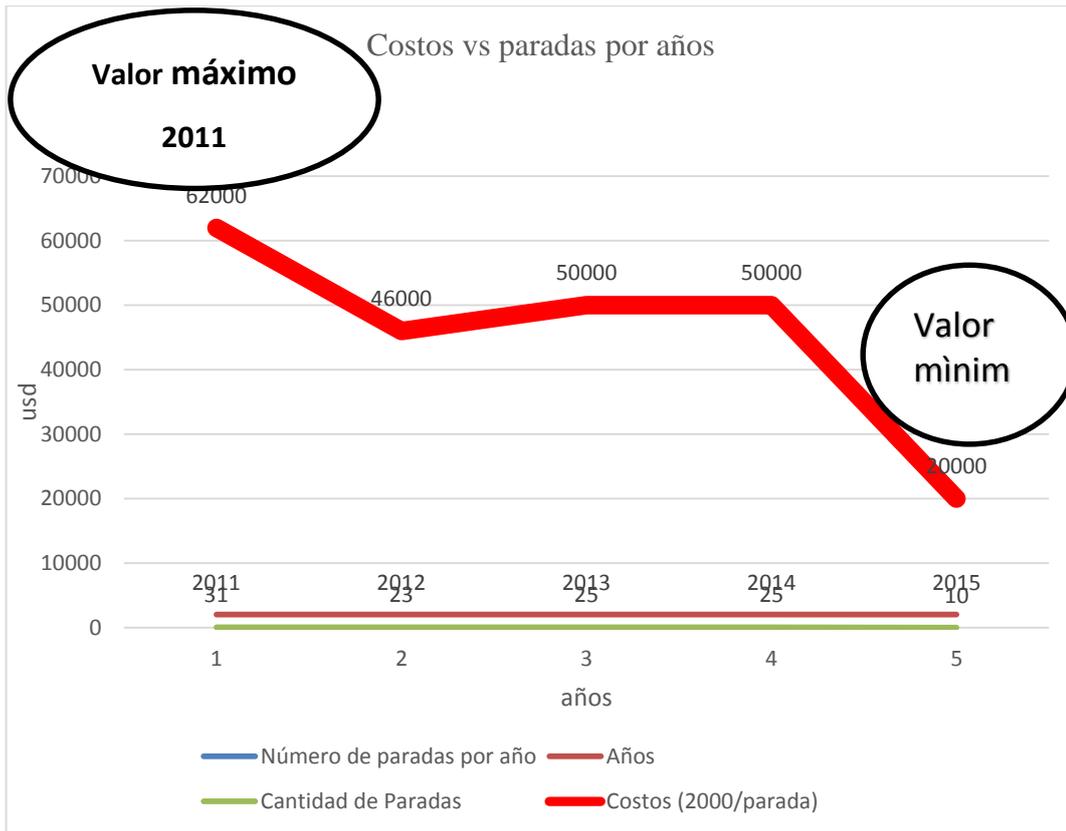


Figura. 4.8 Costos vs paradas por cada año  
Elaborado por: Miranda César (2015)

#### 4.4.2 Análisis comparativo de modos de falla

Los modos de falla se analizaron desde el año 2012 al año 2014 y se compara con el año 2015, donde se implementó el sistema de monitoreo. Se considera que el sistema de monitoreo tiene incidencia en las órdenes correctivas representadas por los modos de falla, ya que al detectar daños en su estado incipiente, los costos de reparación son menores a pesar que la cantidad de órdenes correctivas aumenta, y esto se da porque existe un mayor control de los datos operativos y se generan órdenes correctivas para reparar las desviaciones mínimas.

Tabla. 4.15. Cantidades y costos de modos de falla de los años 2012 al 2014 y del 2015

años	2012-2014	2015
Cantidad de modos de falla	84	41
Costo total	373309,77	79884,34
<b>Costo promedio anual</b>	<b>124436,59</b>	<b>79884,34</b>

Elaborado por: Miranda César (2015)

En los años 2012 al 2014, se produjeron ochenta y cuatro (84) órdenes correctivas que costaron en promedio anual \$124436.59 USD, mientras que en el año 2015 se producen cuarenta y un (41) modos de falla con un costo de \$79884.34 USD. Con estos valores, concluimos que aumentó la cantidad de órdenes correctivas, pero el costo de las mismas disminuye. El aumento de trabajos correctivos se explica porque existe un mayor control de variables que producen más alertas. Con ello se revisan los equipos en paros programados ejecutando acciones de revisión que tienen menores costos. Como se puede ver en la tabla 4.13, los costos de trabajos correctivos en promedio anual, reducen cerca de \$25000 USD, lo que representa alrededor del 35% menos. Datos expuestos en la tabla 4.15.

Para graficar de mejor manera los promedios anuales de los costos de modos de falla, se representan en la figura 4.9



Figura 4.9 Promedio de costos de modos de falla

Fuente: Miranda Cesar (2015)

Como se observa en las tablas y figuras, los resultados obtenidos reduce significativamente los costos de las paradas no programadas y órdenes correctivas. Esto significa, una reducción de costos de alrededor del 35%, que muestra el acierto de haber implementado el sistema de monitoreo y además se proyecte a implementar en las demás facilidades de la empresa.

## CONCLUSIONES

1. Se realizó el estudio bibliográfico de los aspectos concernientes a los conceptos de monitoreo, mantenimiento, así como los métodos relevantes para la investigación a saber: técnicas empíricas de monitoreo de variables, sistematización de la recolección de datos, técnicas de gestión de datos, análisis y detección de desviaciones de parámetros operativos, métodos de análisis de documentos, normas como la ISO 17359 entre otros relevantes para la investigación que constituyen la base teórica y metodológica para nuestra investigación. Además se pudo constatar que no existe una metodología específica para el monitoreo de variables operativas de motores, lo cual muestra la necesidad de realizar una investigación en ese sentido.
2. Se propuso un modelo general e integral para implementar un sistema de monitoreo de variables operativas de motores de bombas conformado por: el proceso de operación de la Estación Cayagama y la metodología...Esta herramienta de trabajo es Interactiva, dinámica e integral y constituye un instrumento adecuado para la solución del problema de la investigación y posterior implementación del sistema de monitoreo de variables de los motores de bombas en la estación Cayagama. La metodología está conformada de tres (3) etapas, que son: diagnóstico de la situación inicial del monitoreo de los motores de la estación Cayagama, la etapa de implementación del monitoreo de variables y la de análisis de la información del sistema de monitoreo de variables.
3. El diagnóstico de la situación de partida del sistema de monitoreo de variables de los equipos principales de bombeo de la estación Cayagama a partir del empleo de la metodología propuesta, nos arrojó que en el periodo de los años 2011 al 2014, se produjeron 104 paradas no programadas, lo que significa veinte y seis paradas en promedio por año atribuidas a fallas de los motores de bombas principales, lo que ocasionó pérdidas aproximadamente de \$62000 USD anuales. Por otro lado, se obtuvo que en el periodo estudiado se produjeron una cuantificación de modos de

falla, de las cuales las pérdidas económicas suman en promedio anual \$ 124436 USD aproximadamente.

4. La implementación del sistema de monitoreo de variables en los motores de bombas de la Estación Cayagama, tomando como partida los resultados del diagnóstico, logró controlar las variables y alertar desviaciones para evitar fallos. En total, el sistema en los diez (10) meses de implantación alcanzó a emitir 467 alertas de desviaciones de límites de variables.
  
5. La comparación de los resultados del diagnóstico, en el periodo de los años 2011 al 2014 contra los obtenidos durante la implementación entre enero a octubre del año 2015, arrojó que los costos por paradas no programadas disminuyeron significativamente en un 67%, mientras que por trabajos correctivos lo hicieron en un 35%, con lo cual se valida la hipótesis de partida cumpliendo la disminución de paradas no programadas de los motores de bombas de la Estación Cayagama del Oleoducto de Crudos Pesados tal como se había previsto.

## **RECOMENDACIONES**

- Implementar el sistema de monitoreo de variables en las otras facilidades de la empresa, ya que las características de los equipos son similares y se estiman que los resultados serían iguales a los obtenidos en Cayagama.
- Continuar con entrenamiento al personal y especialmente a nuevos técnicos que ingresen a laborar en las operaciones los equipos.
- Resguardar la base de datos o tenga medidas de seguridad de la información, para que no altere la confiabilidad de los datos y se posea información confiable para realizar los análisis.
- Hacer un control estricto de la toma de datos para asegurar que la base de datos siempre se encuentre actualizada y sea confiable.
- Realizar una evaluación por competencias para minimizar errores humanos en la operación de los equipos.

## **BIBLIOGRAFIA**

1. **AGUILAR, J., Torres, R., & Magaña, D.** (2010). Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad (AMFEC) para la Planeación del Mantenimiento Empleando Criterios de Riesgo y Confiabilidad. México: Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, S.A de C.V.
2. **ALBÁN, G.** (2009). Propuesta de Intervención en Derrames de Hidrocarburos en Base a Estudios de Caso SOTE desde Lago Agrio a Papallacta. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
3. **ALLES M.** (2006). Desempeño por competencias, evaluación de 360°, Buenos Aires: Ediciones Granica.
4. **AMÉNDOLA, L.** (2002). Modelos Mixtos de Confiabilidad. Valencia. Editorial PMM Institute for Learning
5. **AMÉNDOLA, L.** (2006). Aplicación de la confiabilidad en la gestión de proyecto en paradas de plantas químicas. [en línea]. España. Disponible en: <http://www.aciem.org/bancoconocimiento/A/Aplicaciondelaconfiabilidadenlagestionnext/Chemical%2520Plants%2520Stoppages.pdf>. [21 de febrero de 2006].
6. **AMÉNDOLA, L.** (2006). Metodología de dirección y gestión de proyectos de paradas de planta de proceso. [en línea]. España. Disponible en: [http://www.mantenimientoplanificado.com/Articulosgesti%C3%B3n%20mantenimiento\\_archivos/paradas%20planta%20luis%20amendola.pdf](http://www.mantenimientoplanificado.com/Articulosgesti%C3%B3n%20mantenimiento_archivos/paradas%20planta%20luis%20amendola.pdf). [21 de febrero de 2006].
7. **AMÉNDOLA, L.** (2006). Optimización de paradas de plantas. [Documento en línea]. Venezuela. Disponible en: [Http://www.tpmonline.com/articles on total productive maintenance/tpm/optimparadasesp.htm](Http://www.tpmonline.com/articles%20on%20total%20productive%20maintenance/tpm/optimparadasesp.htm). [21 de febrero de 2006].
8. **ARCH.** (Abril, 2015). Producción Diaria de Petróleo neto. Quito: Agencia de Regulación y Control Hidrocarburiíferas.
9. **CÁRDENAS, A., & Rondero, W.** (2014). Modelo Probabilístico de Falla a partir de la Interrelación entre el Diseño, la Operación y el Medio para el Sector de Oil & Gas. Colombia: ACIEM.

10. **CÉSPEDES Ruiz A.** (1981). Principios de la administración del mantenimiento, Recuperado en: <https://books.google.com.ec/>.
11. **CHÍA Oswaldo,** (2010). Guías para la implantación de un programa de monitoreo de condición bajo normas ISO 17359 e ISO 13374
12. **Comité AEN/CTN 151 Mantenimiento,** (2008). Indicadores clave de rendimiento del mantenimiento UNE-EN 15341. Recuperado en: <http://www.aenor.es>
13. **Comité AEN/CTN 151 Mantenimiento,** (2011). Terminología del mantenimiento EN.13306 Madrid: AENOR. Recuperado en: <http://www.en.aenor.es>
14. **COMITÉ DE DUCTOS Y TERMINALES DE ARPEL, (2011).** Manual de referencia ARPEL para la gestión de la integridad de ductos 1ª edición.
15. **Departamento de Seguros de Texas.** (2006). El análisis del Árbol de fallas. Texas: TDI.
16. **GARCÍA, S.** (2012). Ingeniería de Mantenimiento; Manual Práctico para la gestión eficaz del mantenimiento. España: Renovatec.
17. **GÓMEZ de León F.** (1998). Tecnología del mantenimiento industrial. Murcia: EDITUM
18. **JEZDIMIR knezevic,** (1996). Mantenimiento. Recuperado en: <http://www.sistemas.edu.bo/jorellana/ISDEFE/10%20Mantenimiento.PDF>
19. **JUVÉ Durán D.** (1999). Implementación de la estrategia, Recuperado en: [http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/13220/6/Implementaci%C3%B3n%20de%20la%20estrategia%20\(Parte%20cuarta\).pdf](http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/13220/6/Implementaci%C3%B3n%20de%20la%20estrategia%20(Parte%20cuarta).pdf)
20. **KNEZEVIC Jezdimir.** (1996). MANTENIBILIDAD. Madrid Isdefe.
21. **LEE J. Krajewski, Larry P. Ritzman,** (2000). Administración de Operaciones, Recuperado en: <https://books.google.com.ec/>
22. **MACHUCA C.** (2006). Metodología de dirección y gestión de proyectos de paradas de planta de proceso. [en línea]. Venezuela. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos20/paradas-de-plantas/paradas-de-plantas.shtml>. [16 de febrero de 2006].
23. **MARAÑA, Juan Carlos,** (2005). Instrumentación y control de procesos Edición 28/04/2005, IDOM, disponible en: <http://www.docfoc.com/instrumentacion-control-procesos-juan-carlos-marana>
24. **MIRANDA Rivera L.** (2006). Seis Sigma / Six Sigma: Guía Para Principiantes, 1ª ed. México: Panorama Editorial.

25. **MOUBRAY J.** (1997). Reability Centred Maintenance, 2a Ed, Oxford: Butterworth – Heinemann.
26. **MOUBRAY J.** (2004). Reliability Centred Maintenance II, North California: EB.
27. **NAKAJIMA S.** 1988. Production to TPM. Cambridge: Productivity Press
28. **NIETO Vilardell.** (2013), Mantenimiento Industrial Práctico, Sevilla: Fidestec
29. **OCP, E.** (2003). Manual de Operación del Oleoducto de Crudos Pesados. Ecuador.
30. **OMDAHAL T.P.,** (1988). Reliability, Availability, and Maintainability (RAM) Dictionary, Milwaukee: ASQC Quality Press
31. **ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN.** (2008) ISO 9001, Sistemas de Gestión de Calidad.
32. **ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN.** (2011) ISO 17359. Monitoreo de Condición y diagnóstico de máquinas - Guías generales.
33. **PARRA Márquez C. & Crespo Márquez A.** (2012). Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos, Sevilla: Ingeman.
34. **REVENGA A. J., Netbiblo.** (2008). Flujo en redes y gestión de proyectos. Oleiros: Netbiblo.
35. **REYES Vélez, Luis Alejandro.** (1980). Cálculo digital de los parámetros de líneas eléctricamente largas
36. **RODRÍGUEZ, L.** (2007). Probabilidad y Estadística Básica para Ingenieros. Guayaquil-Ecuador: ESPOL.
37. **RUMICHE Francisco A, Indacochea Ernesto B.** (2005) Estudios de Caso de Fallas y Accidentes en Gasoductos y Oleoductos.
38. **SAE JA1011.** (1999). Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento centrado en Confiabilidad. Warrendale, USA: Society of Automotive Engineers.
39. **SAE JA1012.** (2002). Guía para la Norma Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC). Warrendale, USA: Society of Automotive Engineers.
40. **SÁNCHEZ Marín F. Pérez Gonzáles A. Sancho Bru J. & Rodríguez Cervantes P.** (2007), Mantenimiento mecánico máquinas. Disponible en: <https://books.google.com.ec>
41. **Saravia Moises R.** (1997). Modernización de plantas industriales. 4o Congreso Argentino de Mantenimiento - 1977
42. **SERRA de la Figuera, D.** (2002). Métodos Cuantitativos para la Toma de Decisiones. España: CRES.

43. **SOLS A.** (2000). Fiabilidad, mantenibilidad, efectividad. Recuperado en: <https://books.google.com.ec/>
44. **SOSA Vásquez T.** (2014). Los secretos del mantenimiento industrial, México DF: Author House . Editorial Polilibro
45. **STANLEY, N., & Howard, H.** (1978). Reliability - Centered Maintenance. San Francisco, CA 94128: United Airlines, San Francisco International Airport.
46. **TAVARES, L.** (2000). Administración Moderna de Mantenimiento. Brasil: Novopolo.
47. **TORRES, D. L.** (2005). Mantenimiento su implementación y gestión. Argentina: Universitas, 2da Edición.
48. **University of Illinois at Chicago, USA.** (2005). Estudios de Caso de Fallas y Accidentes en Gasoductos y Oleoductos Francisco A. Rumiche P. y J. Ernesto Indacochea B. Joining Science & Advanced Materials Research Laboratory Materials Engineering Department.
49. **VALENZUELA Latorre, M. Aníbal.** (1987). Modelo Térmico para sistema de monitoreo y protección de grandes motores.
50. **V.STREETER, B. Wylie, K. Bedford, McGraw Hill, Bogotá.** (1999). Mecánica de Fluidos,
51. **WARTSILA, NSD.** (2002). Technical Manuals, Finland.
52. **YERGIN Daniel.** (1992), La Historia del Petróleo”
53. **ZAMUDIO, J.** (2014). Aplicación de un Modelo de Planeamiento Estratégico en la Gestión de Mantenimiento en Minsur S.A. Perú: Instituto Peruano de Mantenimiento.
54. **ZÚÑIGA Tufiño, Marco Antonio.** (2008). Estudio diseño y simulación de un sistema de adquisición de datos para el sector Carcelén-Roldós del sistema de distribución de agua potable de la EMAAP-Q. Tesis para obtención título tercer nivel : Disponible en [http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1012/1/CD-1452\(2008-05-21-03-03-02\).pdf](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1012/1/CD-1452(2008-05-21-03-03-02).pdf)
55. **El Mantenimiento como Fuente de Rentabilidad,** disponible en: <http://web.ing.puc.cl/power/alumno06/OED/mantenimiento.htm>

## ANEXOS

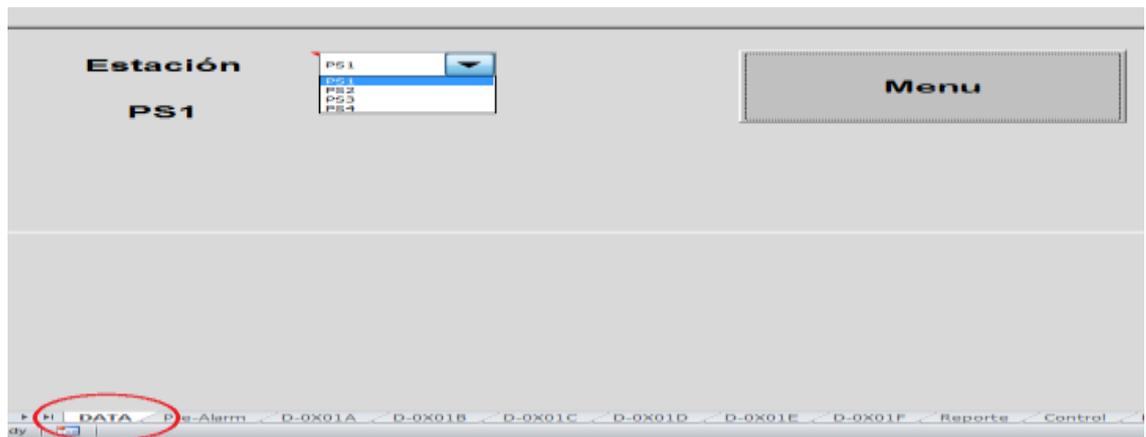
### ANEXO A. Procedimiento para ingresar hoja de monitoreo

A continuación se explica los pasos para instalar la hoja de cálculo en la computadora que utiliza el control de motores Wartsila. Con éstos pasos es posible instalar en otras estaciones de la empresa para realizar el monitoreo.

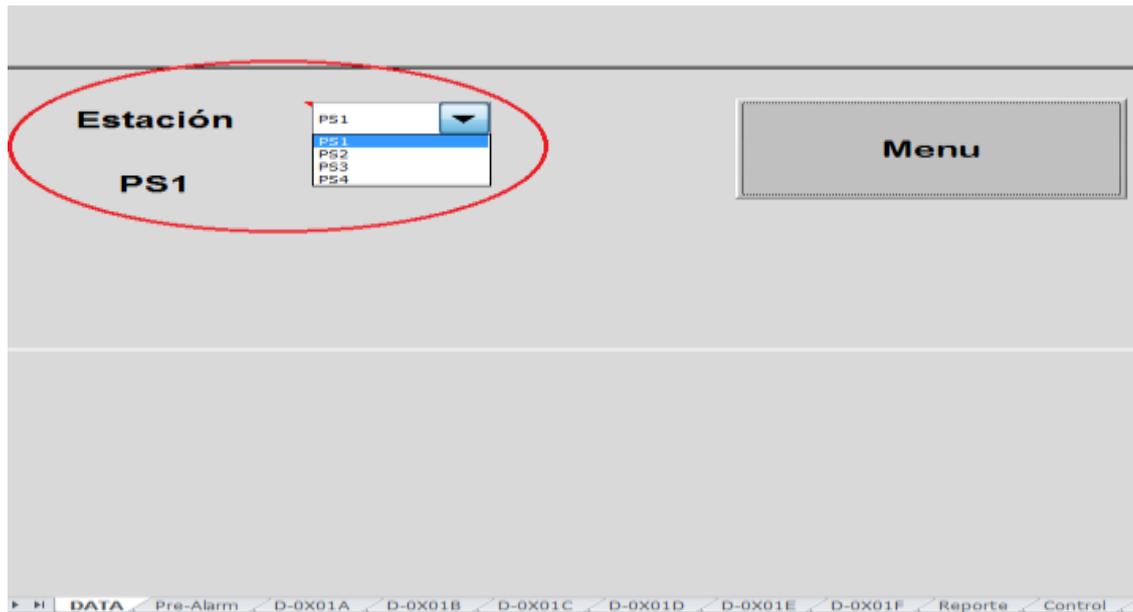
Ingresar al programa Excel de la PC y abrir la hoja DATA del programa.

#### Actualizar los link

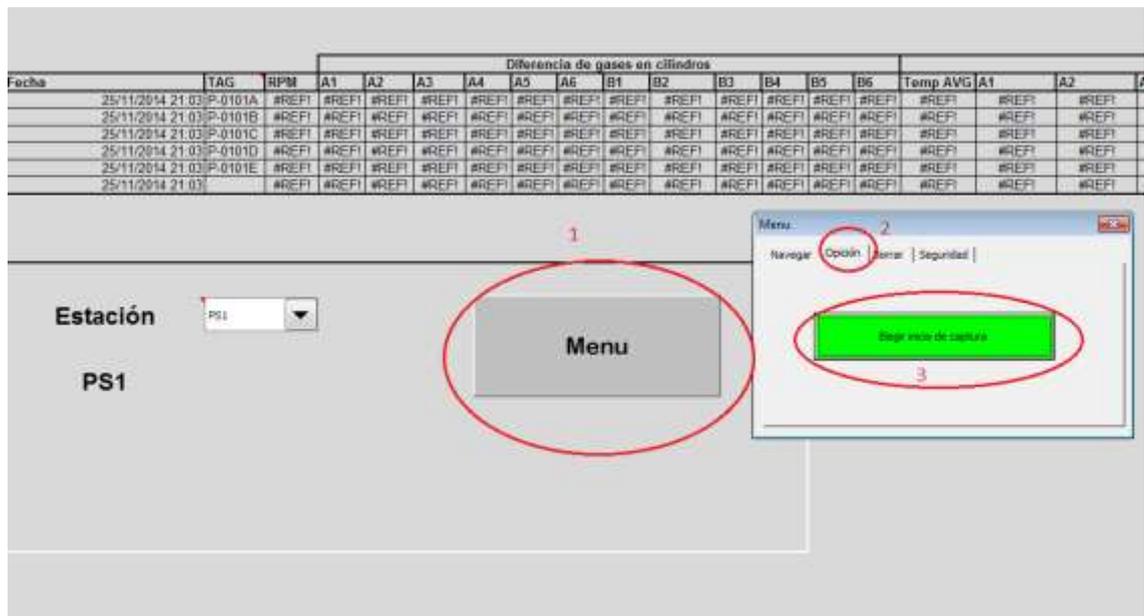
Ir a la hoja data



Elegir la estación



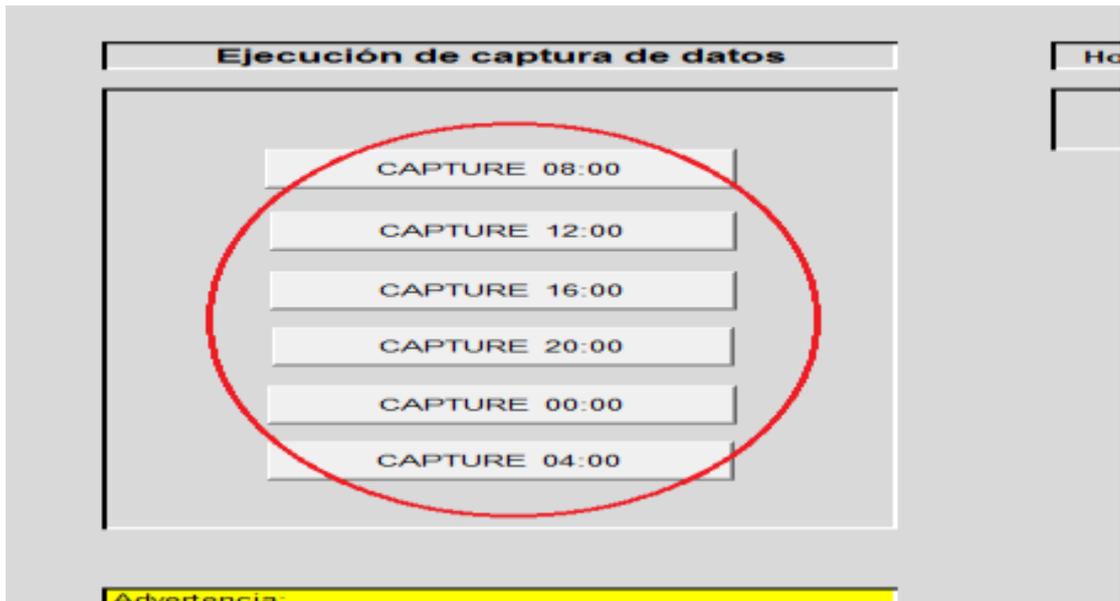
- 1 Clic en Menú
  - 2 Opción
  - 3 Elegir inicio de captura
- Mensaje de confirmación OK



La acción [enviará](#) a la hoja donde se encuentra los botones que inicia la captura de datos.

**Elija el botón**

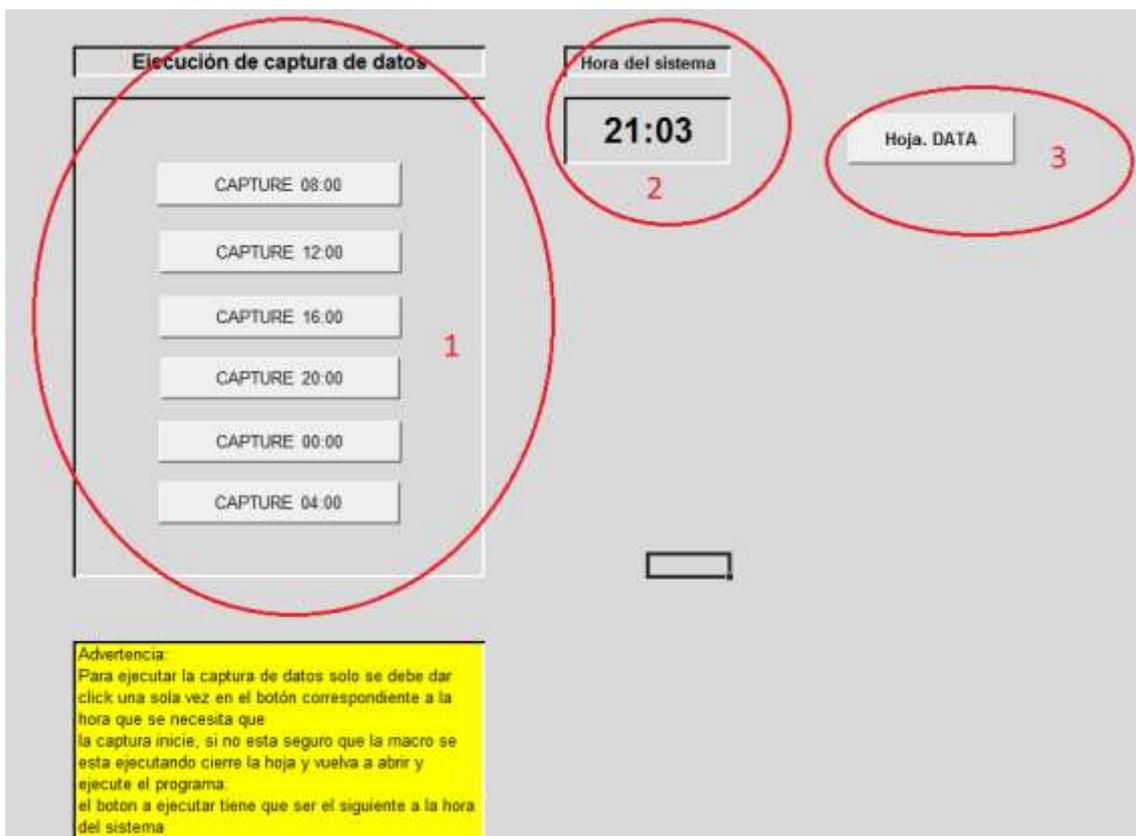
**Ejecute la captura**



La macro se encuentra ejecutando

Dejar que se ejecute la hoja por el tiempo que hayan definido

### Adicionales



NOTA: una vez que se ejecute la captura con el botón que corresponda, no debe darse clic nuevamente, ya que la macro “capturar doble dato” es por este motivo que se cambió de ubicación.

1 botones de captura de datos.

2 hora referencial del sistema (recuerde que el botón a ejecutar debe ser a futuro de la hora del sistema

En este caso el botón a elegir será el capture 00:00).

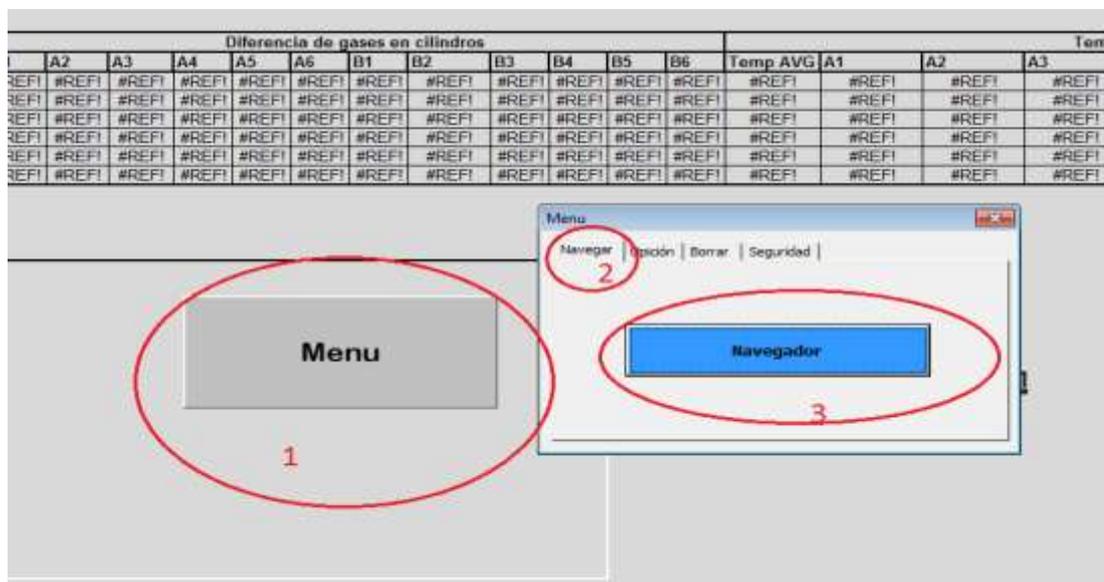
3 botones para regreso a la Hoja de inicio en caso de no ejecutar la macro.

En el menú se agregó un botón para navegar

1 Clic Menú

2 Navegar

3 Navegador



Luego se despliega un conjunto de botones que sirve para navegar en la hoja

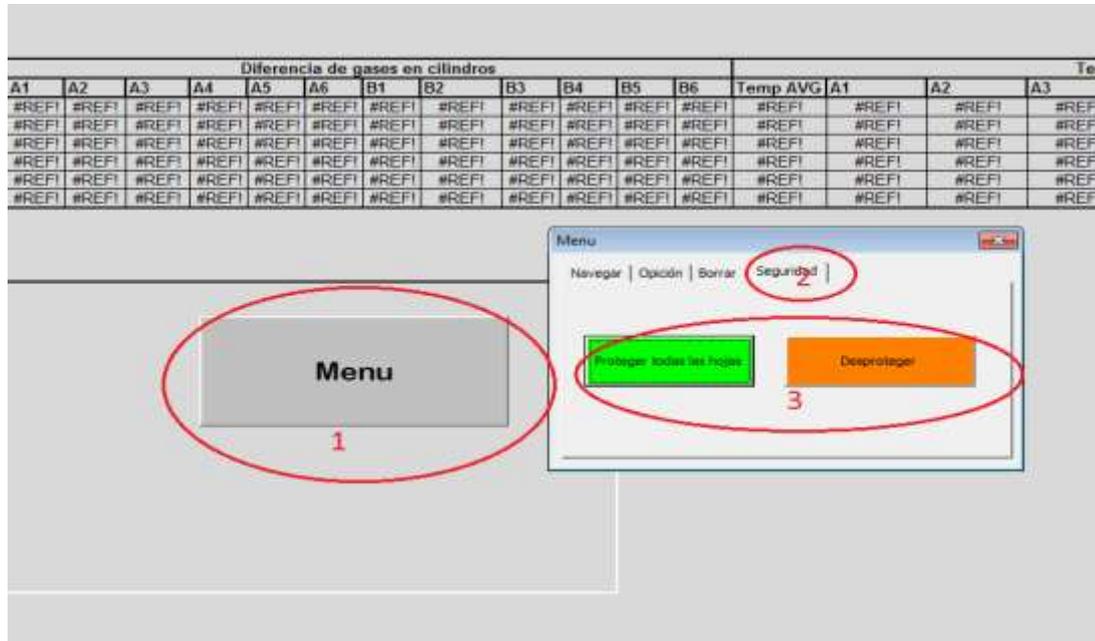


Proteger las hojas de cálculo

1 Menú

2 Seguridad

3 Proteger todas las Hojas /Desproteger todas las hojas



En esta opción, no se protege las hojas donde se toman los datos, tampoco los gráficos

Para la protección de las hojas el Password ya está definido

Para desproteger las hojas el Password : wois

Para sacar la hoja en dispositivo USB no realizar el acostumbrado **guardar como o modifique el nombre** cuando la hoja se encuentre ejecutando

**Realice los siguientes pasos:**

Cierre la hoja de cálculo

Copie el archivo en el dispositivo extraíble

Una vez copiado el archivo extraiga dispositivo USB

Guarde este archivo en la PC corporativa en alguna carpeta definida

Verifique que el archivo se abra

Una vez comprobado esto

**En la PC WOIS**

Abra el archivo MONITOREO DE VARIABLES v4.5

Limpie la base

Ejecutar captura

El formato se encuentra en el momento en:

I:\Operación\Operación Estaciones\PS1\Datos Operativos\7 MONITOREO DE  
VARIABLES\FORMATO\ MONITOREO DE VARIABLES v4.5