



UNISS
UNIVERSIDAD
SANCTI SPÍRITUS

UNIVERSIDAD JOSÉ
MARTÍ, SANCTI SPÍRITUS
INGENIERÍA INDUSTRIAL

**Tema: "Propuesta de mejoras al sistema de
Mantenimiento de la Refinería Sergio Soto"**

Autor: José Miguel González Tejera.


Tutor: Ing. Edelvis Bravo Amarante

Sancti Spíritus, Febrero de 2015.

"Año 57 de la Revolución"

Pensamiento





“... tenemos que aprender a sacar del trabajo lo que tiene de interesante a lo que tiene de creador, a conocer el más mínimo secreto de la máquina o el proceso en que nos toca trabajar”.

Ernesto Che Guevara

Dedicatoria



A mi familia, en especial a mis compañeros de trabajo, a mis padres y a mi novia que nunca dejaron de confiar en mí.

Agradecimientos



Mis más sinceros agradecimientos a:

Mi familia, especialmente mis padres por el apoyo y la confianza que me han dado durante todo este tiempo.

Mi tutor: Ing. Edelvys Bravo Amarante por haber puesto su tiempo y su conocimiento a disposición de mi superación.

Los trabajadores de la UEB Mantenimiento de la Refinería de Petróleo "Sergio Soto" por su colaboración.

Mis profesores, por el conocimiento impartido durante toda esta etapa de mi vida.

Resumen



El presente trabajo tiene como objetivo la realización de una evaluación del sistema de gestión del mantenimiento en la *Empresa Refinadora de Petróleo Sergio Soto del municipio de Cabaiguán* mediante diferentes herramientas como Pareto, diagrama causa - efecto, indicadores clase mundial con el objetivo de incrementar la eficiencia y fiabilidad de los procesos tecnológicos.

La aplicación práctica de estas herramientas arrojó que los elementos que mayor incidencia tienen en el deterioro de la eficiencia y fiabilidad de los procesos tecnológicos de la empresa son los equipos de bombeo teniendo resultados diferentes entre los años 2013 y 2014 de acuerdo a los indicadores clase mundial. Para ellos se evaluó, el tiempo promedio entre fallo, la tasa de fallo y los indicadores económicos costo por facturación y por reposición. Los principales resultados demuestran que aún existen dificultades en la planificación y evaluación de la gestión del mantenimiento y se proponen acciones de mejora para su perfeccionamiento.

Summary



This present work aims at the realization of evaluation of system of steps of maintenance at *Petróleo Sergio Soto's Company Refinar of intervening Cabaiguán's municipality* different tools like Pareto, cause-and-effect diagram effect, indicators worldwide classroom for the sake of incrementing the efficiency and reliability of technological processes.

The practical application of these tools yielded than the elements than bigger incidence they have in the deterioration of efficiency and reliability of the company's technological processes 2013 and 2014 according to the indicators are the pumping teams having different aftermath among the years worldwide classroom. It was evaluated for them, the average time among failure, the rate of failure and the economic indicators cost for invoicing and for replacement. Principal aftermath demonstrate than still exist difficulties in the planning and evaluation of steps of maintenance and they name improving stock for his perfecting.

Indice



	Introducción	1
Capítulo 1.	Revisión Bibliográfica.	4
1	Generalidades	4
1.1	Evolución del Mantenimiento	5
1.1.1	Aspectos generales sobre la evolución del mantenimiento	5
1.1.2	Los sistemas de mantenimiento	9
1.1.3	El proceso de administración del mantenimiento	10
1.2	Evaluación del mantenimiento	13
1.2.1	Indicadores de mantenimiento	13
1.3	La gestión del mantenimiento y el medio ambiente	15
1.4	La evaluación del mantenimiento en empresas cubanas	17
Capítulo 2.	Métodos y Herramientas	18
2.1	Metodología e instrumentos de recogida de información utilizados	18
2.1.1	Proceso del mantenimiento en la refinería Sergio Soto	19
2.2	Diagnóstico del mantenimiento	19
2.2.1	Técnicas de investigación	19
2.2.2	Evaluación del mantenimiento actual en la refinería Sergio Soto	21
2.3	Evaluación económica de la gestión del mantenimiento	22
2.3.1	Costos de mantenimiento por facturación	22
2.3.2	Costos de mantenimiento por reposición	23
2.4	Elaboración de propuestas de mejoras al sistema de gestión del mantenimiento	23
Capítulo 3.	Análisis de los resultados	24
3.1	Visita inicial de trabajo.	24
3.1.1	Descripción de la empresa y del mantenimiento	24
3.1.2	Proceso de mantenimiento en la Refinería Sergio Soto	25
3.2	Presentación del comité de averías de la empresa	27
3.3	Cálculo de los índices de clase mundial para las bombas	31
3.3.1	Tiempo promedio entre fallas y tasa de fallos	31
3.3.2	Disponibilidad del equipo	34
3.4	Análisis económico del mantenimiento	35
3.5	Propuesta de solución por el método del coeficiente de concordancia de Kendall	37
3.6	Propuestas de mejoras al sistema de mantenimiento de la Refinería Sergio Soto	40
	Conclusiones	42
	Recomendaciones	43
	Bibliografía	44
	Anexos	45

Introducción



Desde el principio de la humanidad, hasta finales del siglo XVII, las funciones de preservación y mantenimiento no tuvieron un gran desarrollo debido a la menor importancia que tenía la máquina con respecto a la mano de obra, ya que hasta 1880 el 90% del trabajo lo realizaba el hombre y la máquina solo hacía el 10% .

Con la 1ra guerra mundial, en 1914, las máquinas trabajaron a toda su capacidad y sin interrupciones, por este motivo la máquina tuvo cada vez mayor importancia. Así nació el concepto de mantenimiento que a pesar de ser oneroso, era necesario.

El actual modelo globalizado de la economía, obliga a las empresas a evolucionar de manera constante en sus productos y estrategias para poder sobrevivir en el mercado, esa evolución exige no solo a competir en costos y valor, sino internamente, las compañías deben estar preparadas para responder a los cambios con procesos ágiles, con respuestas más rápidas, asegurando efectividad.

Esta nueva situación ha creado la necesidad de convertir las empresas cubanas en organizaciones flexibles, capaces de adaptarse a los constantes cambios a partir del incremento de sus capacidades de respuesta a las nuevas condiciones del entorno.

Los continuos avances tecnológicos registrados en la última década han permitido el desarrollo de nuevas herramientas de diagnóstico de estado de equipos, potenciando el mantenimiento predictivo y ha permitido la evolución de las filosofías de mantenimiento basadas en la fiabilidad.

En Cuba el Mantenimiento tiene una incidencia directa sobre los tiempos de producción y la estructura final de costos de los productos manufacturados. Sobre todo en las industrias con procesos continuos (plantas eléctricas, plantas químicas, plantas de laminación, etc.), que es el caso de la organización CUPET en muchas de sus entidades, el alto valor de las instalaciones hace

que la interrupción del flujo productivo revierta inmediatamente sobre los resultados económicos de la organización.

En la empresa objeto de estudio contamos con 3 unidades, donde se produce Naftas y Solventes reductores de viscosidad, Queroseno, Diesel, Petróleos Combustibles, Asfaltos, se producen aceites básicos dentro de ellos se encuentra el aceite dieléctrico para transformadores única unidad productora de este producto en nuestro país.

El proceso productivo de la Refinería, se lleva a cabo en tres plantas:

1. Unidad de Destilación Atmosférica
2. Unidad de Destilación al Vacío
3. Planta de Aceites Básicos.

Para la operación de una industria de este tipo, se requiere del máximo de seguridad y eficiencia de las instalaciones tecnológicas y auxiliares. En la actualidad esta instalación se explota hace más de 65 años, sufriendo cambios tecnológicos producto de las variaciones del crudo, el estado de obsolescencia de los diferentes equipos, así como de las áreas de Manipulación y Almacenamiento de Productos y Facilidades Auxiliares, dando lugar a paradas de plantas no programadas, averías continuas, que interrumpen la continuidad del proceso tecnológico y no permiten un adecuado control operacional del mismo. Esta situación, en apretada síntesis, constituye la **situación problemática** identificada que fundamenta la investigación a desarrollar.

Problema científico

¿Cómo incrementar la eficiencia y la fiabilidad de los procesos tecnológicos de la Refinería "Sergio Soto" que permitan introducir mejoras en el sistema de gestión de mantenimiento?

Las consideraciones anteriores han conducido a formular la **hipótesis general** de esta investigación como sigue: *sí se aplican mejoras al sistema de gestión del mantenimiento de la Refinería Sergio Soto se podrá garantizar una mejor eficiencia del proceso tecnológico y una mayor fiabilidad.*

Para la ejecución del proyecto de la investigación, se propone como objetivo general el siguiente:

- ❖ Proponer mejoras al Sistema de Gestión del Mantenimiento en la Refinería de Petróleo "Sergio Soto" que permita una mejor eficiencia del proceso tecnológico y una mayor fiabilidad.

Para alcanzar el objetivo general antes expuesto, se proponen los **objetivos específicos** siguientes:

1. Realizar una búsqueda bibliográfica sobre los sistemas de gestión del mantenimiento en específico en plantas refinadoras de petróleo.
2. Evaluar el sistema actual de gestión de mantenimiento de la refinería Sergio Soto a partir de los indicadores de clase mundial.
3. Realizar propuestas de mejoras al sistema de gestión del mantenimiento de la Refinería Sergio Soto.

Definición de la población y muestra.

Población:

Refinería de Petróleo Sergio Soto

Muestra:

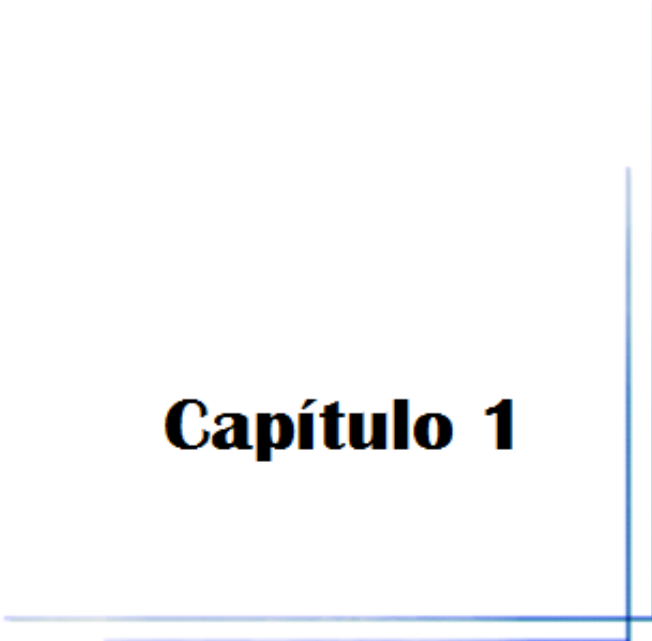
Sistema de Gestión de Mantenimiento de Refinería.

Métodos y técnicas empleadas.

Métodos Teóricos: Sintético, analítico, sistemático e inductivo - deductivo para el análisis de los datos.

Métodos Empíricos: Selección y muestreo de los materiales locales para ensayos, análisis estadísticos paramétricos para procesamiento de datos, evaluaciones del proceso de refinación del crudo nacional y encuestas a los clientes y personal especializado.

Capítulo 1



Capítulo 1 Revisión Bibliográfica

1. Generalidades del mantenimiento.

En este capítulo se tratarán diferentes aspectos de interés, que serán de utilidad para la elaboración y comprensión del trabajo en cuestión, pues constituyen la base teórica para la realización del mismo.

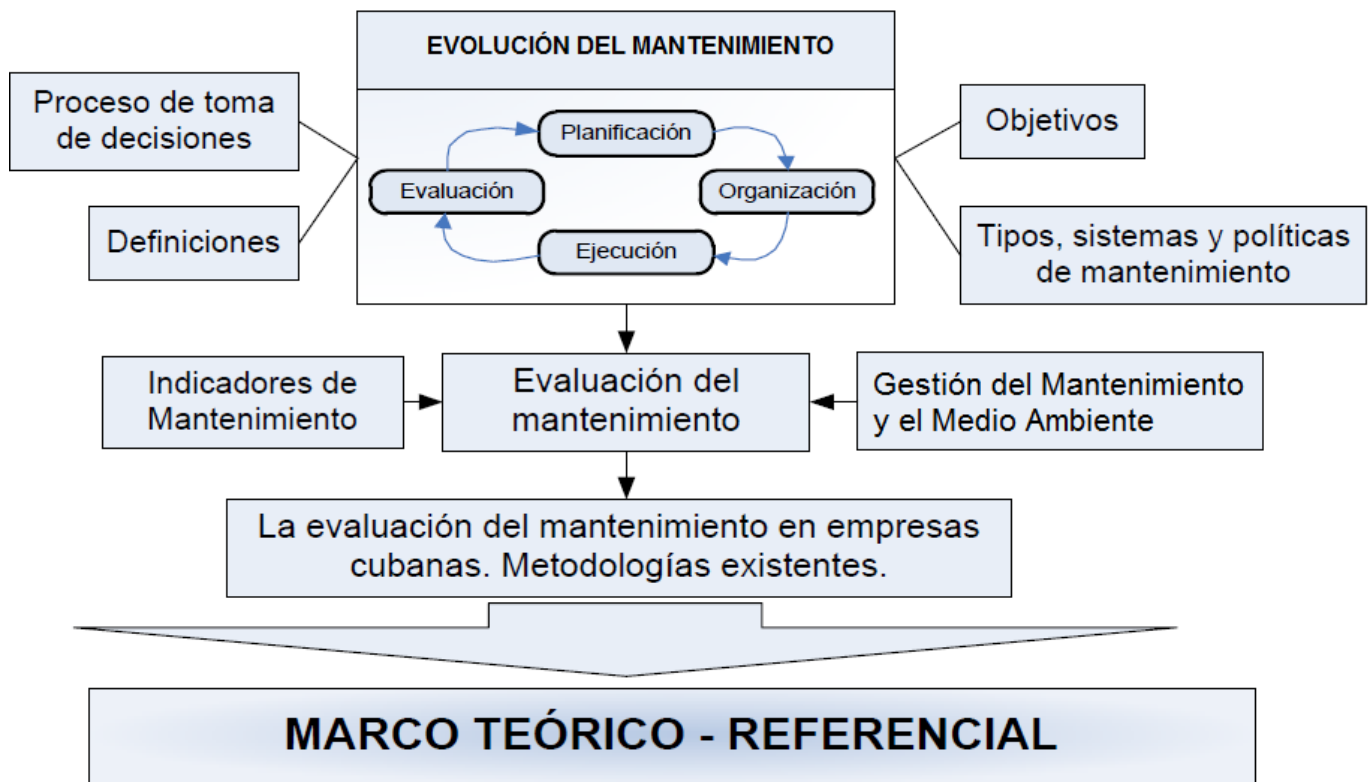


Figura 1. Estrategia seguida para la construcción del Marco Teórico Referencial.

1.1 Evolución del Mantenimiento

1.1.1. Aspectos generales sobre la evolución del mantenimiento

La evolución del mantenimiento, está asociado desde que el hombre inició una actividad artesanal, como la de tallar sus armas primitivas, preparar refugios con pieles de animales, conformar troncos de árboles para construir canoas o preparar sus artes de pesca, aparecen las inevitables tareas de mantenimiento.

Con la construcción de las máquinas y su introducción para multiplicar la limitada labor manual, aparece la tarea de repararlas; sin embargo, en la mayoría de los trabajos en los que se contempla la evolución del mantenimiento, con ciertas variaciones en el enunciado, aparece la idea de que el mantenimiento no fue una actividad industrial importante hasta después de la Segunda Guerra Mundial. Algunos autores sitúan el momento histórico del inicio de esta importancia en el período entre guerras y, otros plantean que fue algo implícito de la Revolución Industrial, acontecida en Inglaterra durante los siglos XVII y XVIII y que sirvió de cimiento conceptual al mantenimiento empresarial, cuya dinámica se establece en una línea empírica y simplista, ya que solamente se ejecutaban acciones de corrección inmediata; todo ello debido a la simplicidad estructural y funcional de los equipos, aunado igualmente a la situación económica del momento, que no exigía ser especialmente competitivos. (Amigó, 2009)

Otro aspecto de la evolución del mantenimiento es la forma de ejecutarlo. En la época de las primeras máquinas la función de mantenimiento, entendida como preventiva de averías, no existía y las intervenciones eran todas de urgencia; es decir, cuando la avería estaba a punto de producirse o ya había tenido lugar, se encomendaba, casi siempre, la reparación al propio operador de la máquina al no existir otras personas familiarizadas con sus elementos.

En aquellas circunstancias, cada fábrica o taller solicitaba del servicio de mantenimiento la seguridad de funcionamiento de toda la maquinaria antigua y moderna, de accionamiento manual, semiautomático o completamente automático y al costo que fuese. Esto obligó a estudiar los equipos y máquinas, investigar sus averías, recopilar datos, confeccionar estadísticas, en definitiva,

a organizar científicamente el trabajo y conformar un cuerpo de doctrina que desde entonces no ha dejado de evolucionar. (AEM, 1995).

El entorno competitivo vigente en el ámbito empresarial actual ha creado la necesidad de implementar sistemas de gestión de mantenimiento en las instituciones que trabajan por la excelencia, debido a que [Dos Santos Méndez, 2002; Tomlingson, 2004; Torres, 2005]:

- ✓ La competencia obliga a rebajar costos (optimizar el consumo de materiales y el empleo de mano de obra).
- ✓ Se han realizados descubrimientos de técnicas para determinar si su implantación supondría una mejora en los resultados de la empresa.
- ✓ Los departamentos necesitan estrategias.
- ✓ La calidad, seguridad y las interrelaciones con el medio ambiente son aspectos que han tomado una importancia extraordinaria en la gestión industrial.

Son múltiples las razones por las que es imprescindible definir políticas, formas de actuación, objetivos y valoración de su cumplimiento, e identificar oportunidades de mejora, en fin, es ineludible gestionar el mantenimiento en las instituciones.

Durante los últimos veinte años, la gestión del mantenimiento ha cambiado, quizás más que cualquier otra disciplina gerencial. Estos cambios se deben principalmente al enorme aumento en número y variedad de los activos físicos que deben ser mantenidos en todo el mundo, a la elaboración de diseños más complejos, al uso de nuevos métodos de mantenimiento, y a la existencia de una óptica cambiante en la organización de esta actividad y sus responsabilidades [Jeira y Gibson, 2004].

La definición del término mantenimiento ha sido expresada en diferentes publicaciones impresas y electrónicas con puntos de vista similares y pequeñas diferencias o adaptaciones al caso de la empresa u organización de que se trate. Varios son los estudios realizados [De la Paz Martínez, 1996; Sánchez Sánchez, 1999; Batista Rodríguez, 2000; Alkaim, 2003; Fabro, 2003; García

González-Quijano, 2004] en los cuales se hace una caracterización del largo camino recorrido en el desarrollo del concepto de mantenimiento, en los que se definen las particularidades y elementos comunes de cada propuesta, así como sus objetivos, tareas y funciones.

Independientemente de la definición que se utilice, se percibe que los conceptos citados utilizan las expresiones "mantener", "restablecer", "conservar", "restaurar" o "preservar" la función pretendida del activo hasta el estándar de funcionamiento deseado por sus usuarios. El autor se identifica con el concepto presentado por De la Paz Martínez [1996] que proporciona una visión más integral de esta actividad, en consonancia con la dimensión que ha alcanzado esta función en la actualidad y con su impacto en el entorno empresarial.

Tradicionalmente se contempla la función primordial del área de mantenimiento dentro de cualquier empresa, como la ejecución de todas aquellas actividades tendentes a mantener o restaurar la capacidad operativa de los equipos e instalaciones productivas con el fin de contribuir a que el objetivo fundamental de la empresa pueda llevarse a cabo, todo lo anterior al más bajo costo posible [Borda, 1998].

La definición, por parte de la entidad, de los objetivos de trabajo, tributa a que esta no marche a ciegas, pues de ser así, se encontrará a merced de acontecimientos internos y externos que afecten su correcto desempeño, por lo que su éxito resultará un hecho aleatorio. Un grupo considerable de personas [Moubay, 1997; Batista Rodríguez, 2000; Sotuyo Blanco, 2001; Da Silva Neto y Gonçalves de Lima, 2002; Fabro, 2003; García-Ahumada, 2001; García Garrido, 2003; Torres, 2005; Stefano, 2006; Lodola, 2006] coinciden en definir el objetivo del área de mantenimiento, de manera general, como: conseguir el nivel máximo de efectividad en el funcionamiento del sistema productivo y/o de servicios con la menor contaminación del medio ambiente y mayor seguridad para el personal al menor costo posible. Todo lo anterior implica lo siguiente:

1. Maximizar la productividad:

- ✓ Reducir al mínimo los costos, debido a las paradas por averías accidentales de las máquinas que originan pérdidas de producción.
- ✓ Aportar sugerencias de mejora productiva o de calidad a través de la experiencia en las intervenciones en las máquinas.
- ✓ Reparar las máquinas averiadas en el mínimo tiempo y con la máxima durabilidad de la reparación.

2. Minimizar los costos:

- ✓ Realizar un aprovisionamiento de piezas de recambio de los equipos con una medida justa entre la inversión realizada para la adquisición de estos recambios y el costo que ocasiona la parada por falta de la pieza.
- ✓ Alargar la vida de la máquina en sus condiciones originales de calidad y de rechazo.

3. Incrementar el ahorro energético:

- ✓ Asegurar el suministro de energía, electricidad, aire comprimido, gas, etc.

4. Minimizar el impacto en el medio ambiente.

5. Maximizar la seguridad e higiene:

Las tendencias actuales se orientan a considerar el mantenimiento como un solo conjunto de problemas, desde la concepción del elemento de producción hasta su reciclaje y lo mismo ocurre con los costos, hablándose del costo del ciclo de vida como el único que se debe reducir.

El costo de mantenimiento de una máquina o un equipo de producción durante todo su ciclo de vida útil es un asunto muy caro: como regla general se acepta del 80% al 300% del costo de adquisición. Con un mantenimiento ineficaz, el impacto sobre la producción es aún más costoso. Por un lado hay que agregar

el deterioro más rápido de los equipos y por el otro, las pérdidas por el incumplimiento de la producción.

La gestión del mantenimiento es responsable de armonizar los medios básicos, minimizando los tiempos de parada y los presupuestos de mantenimiento y por esto se afirma que "una adecuada gestión del mantenimiento en el marco de un desarrollo tecnológico creciente y de una política de personal orientada hacia la calidad, ayuda a mejorar la productividad bajo la forma de un incremento en la rentabilidad" Espinosa Fuentes, [2006]. Entonces se hace necesario investigar los aspectos que pueden afectar la gestión del mantenimiento.

Otra de las conceptualizaciones brindadas sobre el término de gestión de mantenimiento es la brindada por Espinosa Fuentes [2006] donde expone que esta no es más que "*las actuaciones con las que la dirección de una organización de mantenimiento sigue una política determinada*". Esta definición implica que debe estar fijada la política, pero además evidencia que debe existir una organización de mantenimiento que lleve a cabo las referidas actuaciones.

Una buena gestión de mantenimiento solamente es posible en la medida que el responsable sea bien informado. Por este motivo se hace imprescindible la introducción de un sistema que permita asegurar el flujo de información de manera eficaz para cada nivel de responsabilidad.

1.1.2 Los sistemas de mantenimiento

Ante las nuevas reglas de producción y la importancia que se le concede a la actividad integral de mantenimiento para el logro de esta, varias personas [Torres, 1997; Batista Rodríguez, 2000; Huerta Mendoza, 2001; González Danger y Hechavarría Pierre, 2002; Dos Santos Mendes, 2002; Borroto Pentón, 2005; Christensen, 2006] han coincidido que, en principio, no es justificable pensar que toda una planta debe estar sujeta a un único tipo de mantenimiento. Cada equipo ocupa una posición diferente en el proceso industrial, y tiene unas características propias que lo hacen diferente del resto, incluso de otros equipos similares.

Todas las actividades relacionadas con el mantenimiento están compuestas por funciones como son la planificación, la ejecución, la organización, el control y las actividades correctivas basadas en la retroalimentación de los resultados de la ejecución.

1.1.3 El proceso de administración del mantenimiento

La administración puede ser considerada como un sistema de toma de decisiones, cuyo propósito es dirigir los recursos disponibles hacia la realización del objetivo de la organización [Muntasell y Arcarons, 1994; Knezevic, 1996a; Ellis, 2000; Batista Rodríguez, 2000; Amaris Arias, 2006]. Según la ISO 9000: 2001, la gestión no es más que el conjunto de actividades coordinadas para dirigir y controlar una organización.

Los responsables de la gestión del mantenimiento precisan, por encima de todo, conocer ciertas normas o procedimientos de administración, pues, como es de conocimiento general, el mantenimiento está relacionado con los ingresos generados en la empresa; siendo así, ampliar sus conocimientos en un enfoque direccionado a la reducción de los costos de mantenimiento, o sea, su planificación, su programación y su control es de crucial importancia [Da Silva Neto y Gonçalves de Lima, 2002]. A continuación se definirán los rasgos fundamentales de cada una de estas funciones.

Planificación

Es el conjunto de actividades que a partir de las necesidades de mantenimiento definen el curso de acción y las oportunidades más apropiadas para satisfacerlas, identificando los recursos necesarios y definiendo los medios para asegurar su oportuna disponibilidad. Los aspectos que deben ser cubiertos por la planificación son:

- ✓ Manejo de repuestos y partes
- ✓ Recursos humanos
- ✓ Manejo de contratistas externos
- ✓ Recursos físicos
- ✓ Recursos financieros

Es de destacar que en muchas organizaciones la planificación del mantenimiento ha tendido a depender de la experiencia y la percepción de los operadores y a ser manejada sensorialmente; se ha centrado en inspecciones cualitativas del estado de los equipos, debido a la dificultad para determinar

cuantitativamente el estado de deterioro de los mismos, además de no ser constante. Esto trae un sinnúmero de problemas que es necesario enfrentar para mejorar la confiabilidad y eficiencia de los equipos. Esta tendencia es la que se conoce como planificación tradicional del mantenimiento.

Organización

La organización es tal vez el área más desarrollada de la teoría administrativa, tiene dos vertientes fundamentales, una estática que es sinónimo de entidad u organización creada para alcanzar determinados objetivos, o colectivo de personas estructurado para la acción. La vertiente dinámica es la organización como función de dirección, que consiste en ordenar y armonizar los recursos humanos, materiales y financieros de que se dispone con la finalidad de cumplir un objetivo dado con la máxima eficiencia [Sánchez Sánchez, 1999]. Esta, por lo general, consiste en la programación de todas las actividades tendientes a optimizar la ejecución de un conjunto de tareas en un período generalmente establecido, distribuyendo frente a las necesidades derivadas de la carga de trabajo programable, los recursos con la finalidad de optimizarlos.

Ejecución

Es el conjunto de actividades tendiente a realizar los requerimientos de mantenimiento, expresadas como trabajos específicos de cualquier tipo. Maneja la recepción de los programas o requerimientos en el caso de emergencias, la labor preparatoria de búsqueda de repuestos, herramientas, asignación del personal, instrucciones sobre procedimientos, así como la ejecución correcta de las tareas específicas del caso y la puesta en servicio del equipo o zona intervenida. Las tareas específicas en la ejecución del mantenimiento son las siguientes:

Servicios técnicos: revisión, limpieza y fregado, lubricación, pruebas de regulación y conservación para la no-operación. Protección contra la corrosión activa o pasiva: pintura y protecciones especiales.

Inspecciones: controles del desgaste, revisión de los instrumentos de medición y revisión de los dispositivos de seguridad.

Reparaciones: pequeñas, medianas y generales.

Evaluación y control

El control es una acción a ser realizada en forma constante en la organización (aunque existe una fuerte tendencia al autocontrol), utilizando mecanismos simples, sobre la base de los objetivos definidos, para un período determinado. Está basado en patrones de comparación preestablecidos, en consecuencia, será eficaz en la medida en que los resultados de su aplicación sean económicos y sirvan para tomar medidas de corrección.

Posteriormente se definiría cómo se va a controlar, se harán inspecciones o se autocontrolará el objeto ya definido. En cualquier caso se requerirá una preparación adecuada que parta de la correcta definición de los parámetros a controlar y de la forma en que serán analizados y evaluados los resultados. Por último, se define el momento en que se controla y la frecuencia de control. Debe destacarse que el mecanismo de control que se establezca debe ser económico, pues, aunque parezca obvio, en muchos casos esto no se cumple, resultando más caro el control que las pérdidas que provoca su falta. Por esto los controles deben ser aplicados sobre pocos conceptos y los más importantes, de manera que el responsable de mantenimiento, siguiendo pocos resultados periódicos de control, tenga una semblanza rápida y confiable de la marcha del servicio, no solamente de su eficacia sino y sobre todo, de su eficiencia.

Según todo lo planteado, resulta evidente que primero habrá que definir el objeto de control que, según los objetivos de mantenimiento, pudiera tratarse de un equipo, una instalación, una planta física o incluso la propia organización de mantenimiento y sus funciones.

1.2. Evaluación del mantenimiento

La actividad de mantenimiento durante su desarrollo ha sufrido considerables transformaciones en su concepción de trabajo, pasando a ser de una actividad reactiva o "apaga fuegos" a una concepción con un enfoque proactivo, pues hoy día contribuye en gran medida a la toma de decisiones para elaborar la planificación y control de los sistemas implantados, lo que proporciona a la actividad de mantenimiento una visión de negocio, ya que se convierte en un

factor a tener en cuenta dentro de la estructura competitiva de la empresa. Por otra parte, las exigencias de sistemas más avanzados y complejos de una mayor disponibilidad del equipamiento con una significativa reducción de los costos de mantenimiento y un desarrollo ascendente en cuanto a confiabilidad operacional, se le hace imprescindible a la institución conocer de manera precisa la situación en que se encuentra el estado de la gestión de mantenimiento y la única manera de saberlo es mediante la evaluación y control de la misma.

La efectividad de la gestión del mantenimiento sólo puede ser evaluada y medida por el análisis exhaustivo de una amplia variedad de factores que, en su conjunto, constituyen la aportación del mantenimiento a la calidad de los servicios prestados, pues no existen fórmulas simples, reglas fijas o inmutables con validez para "medir" el mantenimiento de forma general.

1.2.1. Indicadores de mantenimiento

En investigaciones realizadas por [Alfonso Llanes et al, Alfonso Llanes et al., 2008] en empresas productivas del territorio central de Cuba se ha concluido, en coincidencia con trabajos realizados a nivel internacional [Tavares, 1999; Tavares et al., 2005; Torres, 2005], que es importante, para el trabajo con los indicadores, tener presente los errores o defectos más usuales en los que se suele incurrir, entre ellos están:

- ✓ Inadecuada selección de los índices, excesivos en número y no jerarquizados.
- ✓ Insuficiente y confusa definición que provoca diferentes interpretaciones y/o cálculos.
- ✓ Escasa o nula identificación de la relación existente entre el índice y los factores críticos.
- ✓ Inadecuación en los sistemas de captación de datos para la determinación de los índices, cálculos erróneos y/u obtenidos con retraso, con lo cual se pierde la aptitud y rapidez de acción.
- ✓ Falta de establecimiento de valores objetivos y dificultades en obtener la información adecuada.

- ✓ Carencia de controles sistemáticos.

Diez reglas para un buen sistema de indicadores:

1. Los resultados deben medir lo que realmente la empresa espera del departamento de mantenimiento
2. Los indicadores deben ser representativos y fáciles de medir.
3. Los indicadores de resultado deben tener en cuenta a los clientes internos.
4. Analice la posibilidad de medir tiempos de ciclos y procesos.
5. Analice indicadores de la competencia
6. Esfuércese en implantar una cultura de medición en sus operarios.
7. Utilice solo e indispensablemente los indicadores que le interesen.
8. Preocúpese de involucrar a su equipo en la definición del indicador.
9. Analice la eficacia de cada indicador para que sea una herramienta del mejoramiento continuo.
10. Elimine o cambie aquellos indicadores que lo precisen

Dentro de los indicadores para la evaluación del mantenimiento tenemos, los índices de clase mundial, son calculados a través de fórmulas comunes en todo el mundo. Estos indicadores se nombran de la siguiente manera. (Tavares, 1999)

Indicador Tiempo Medio Entre Fallas: proporciona el periodo de presencia de las fallas por averías en un objeto, permite minimizar los tiempos de parada.

Indicador Tiempo medio para reparación: es el tiempo que se invertirá en reparar una avería, este indicador permite disminuir aún más los tiempos de parada ya que al conocer el tiempo que va a tardar en hacer el mantenimiento se pueden realizar estudios para conocer cuáles son los materiales, repuestos, equipos, herramientas, instrumentos y personal necesario para ello y así no divagar acerca de los recursos a utilizar para hacer una reparación.

Indicador Disponibilidad de equipos: es el porcentaje del tiempo en que un objeto queda a disponibilidad del órgano de operación para desempeñar su actividad. Este indicador es un complemento de los indicadores antes mencionados

Indicador Costo de mantenimiento por facturación: representa el porcentaje que tiene el costo de mantenimiento con respecto al total facturado por la empresa.

Indicador costo de mantenimiento por valor de reposición: representa el valor que se ha gastado en mantenimiento.

1.3.- La gestión del mantenimiento y el medio ambiente.

En la actualidad, en la mayoría de los foros, ya sean económicos, políticos o sociales, se debate, como aspecto esencial, la supervivencia humana. El desarrollo sostenible es la única opción que queda al hombre para salvarse a sí mismo y es la vía para garantizar la convivencia óptima del crecimiento económico sostenido, la diversidad de oportunidades para los hombres y el equilibrio ecológico. "En el contexto de la microeconomía, el desarrollo sostenible significa orientarla hacia la ecoeficiencia", que significa, "producir de manera creciente bienes y servicios útiles mientras reducen sus niveles de consumo y contaminación", "por el empleo de tecnologías adecuadas". (Brugger, 1993)

El mantenimiento como acción, desde el punto de vista ambiental, constituye un medio para prevenir impactos negativos, dado que asegura la fiabilidad de los equipos, lo que reduce el riesgo de ocurrencia de accidentes catastróficos, como incendios, explosiones, emisiones de sustancias tóxicas, y es a su vez, una fuente de contaminación, porque en su ejecución se producen desechos peligrosos (sólidos, líquidos y gaseosos). Un producto es ecológico si el riesgo de su daño ambiental es mínimo o nulo. Con relación a ello, se define al Mantenimiento ecológico como el mantenimiento, que su gestión está integrada a un sistema de gestión ambiental, mediante el establecimiento de un conjunto de acciones técnico organizativo, que aseguran la reducción del riesgo de

impacto ambiental de los equipos y de las acciones de mantenimiento. Las acciones encaminadas a la preservación del medio ambiente en el Mantenimiento deben tener carácter proactivo y estar integradas a los trabajos que generan los impactos. Para asegurar que la prevención tenga efecto, todas las acciones (técnicas, organizativas y económicas) deben haber sido tomadas y documentadas; los procesos deben estar bajo control operacional y las personas poseer los conocimientos y el entrenamiento necesario para ejecutar las acciones establecidas.

Los factores causales más importantes que pueden propiciar la ocurrencia de impacto ambiental desde el mantenimiento son:

- Errores humanos.
- La ausencia de mantenimiento.
- La aplicación de políticas de mantenimiento incorrectas.
- Los procesos de mantenimiento no controlados.

El impacto ambiental provocado por errores humanos es debido fundamentalmente a violaciones de los procedimientos establecidos. La ausencia de mantenimiento está fundamentada en el pobre papel que le asignan a esta función en la organización y la deficiente cultura en este sentido. La aplicación de políticas de mantenimiento incorrectas y la falta de control de los procesos son consecuencia de una deficiente gestión. (Brugger, 1993)

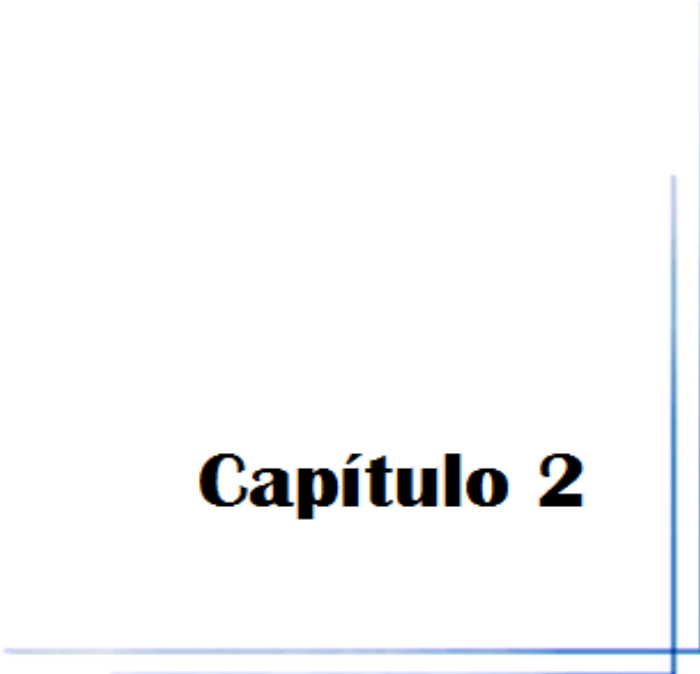
1.4. La evaluación del mantenimiento en empresas cubanas

En Cuba también se han planteado diferentes metodologías para evaluar el mantenimiento, ejemplo de ella son las propuestas de los diferentes Ministerios, como son el MINEM, el MINTUR, el SIM E, el MINAZ, y de cubanos como Borroto Pentón [2005], Acosta Palmer [2006] y Alfonso Llanes [2009].

Las propuestas desarrolladas por dichas personas, por lo general proponen diferentes áreas y funciones a evaluar; todas en correspondencia al objeto de estudio práctico bajo análisis. En el caso específico de Borroto Pentón [2005] se presenta una propuesta orientada a la auditoría del mantenimiento en

instituciones hospitalarias, mientras que Alfonso Llanes [2009] realiza un análisis de las propuestas de un grupo considerable de autores hasta ese año y propone realizar la evaluación a partir de seis áreas fundamentales que a su criterio agrupan los elementos a evaluar en la Gestión del Mantenimiento.

Capítulo 2



Capítulo 2: Métodos y Herramientas

2.1 Metodología e instrumentos de recogida de la información utilizados.

El paradigma metodológico a seguir en la presente investigación es el cualitativo y cuantitativo con el objetivo de asociar elementos que no estaban relacionados e incluir elementos nuevos, lo anteriormente expuesto es precisamente lo que se propone esta investigación. Además dicho paradigma se interesa por el estudio del proceso en su origen proponiendo soluciones en el mantenimiento industrial.

Para la aplicación de las técnicas de alternativas de solución se utiliza la siguiente metodología:



Primera mente se busca la ubicación geográfica, estructura organizativa, realizar una breve descripción del estado técnico de los equipos, cantidad de trabajadores y como se distribuyen según su nivel cultural.

2.1.1 Proceso del mantenimiento en la refinería "Sergio Soto". (En plantas)

Se expresa la necesidad de realizar este trabajo dentro de la gestión por parte de la dirección de la empresa y de la UEB de Mantenimiento producto de un alto porcentaje de ocurrencia de averías, apoyado por el comité de avería de la empresa, para esto se cuenta con una población de 6 equipos los que se relacionan a continuación.

1. Horno FT-101
2. Separador de Nafta D-103
3. Intercambiadores de calor
4. Despojadores
5. Bombas
6. Torre T-101

Se realiza una reunión inicial con el comité de avería de la empresa para determinar el equipo de mayor incidencia en cuanto a averías dentro del proceso de producción. Mediante la realización de una tormenta de ideas analizando todos los equipos se toma como muestra las bombas por ser las que más inciden en las averías que paralizan momentáneamente por intervalos de tiempo el proceso productivo, apoyándose en el diagrama de Pareto.

2.2 Diagnóstico del Mantenimiento.

2.2.1 Técnicas de investigación

Para evaluar la posición de la empresa en función de los problemas de la gestión del mantenimiento en la refinación del petróleo se realizarán reuniones donde se apliquen técnicas grupales como el Diagrama de Pareto, tormenta de ideas, causa- efecto, Comité de Expertos así como el indicador de los Índices de Clase Mundial.

El Diagrama de Pareto es una herramienta estadística que permite organizar por orden de relevancia los problemas o las causas que los generan. La viabilidad del diagrama de Pareto esta respaldada por el llamado Principio de

Pareto, conocido como "Ley 80-20"

La Utilización del Diagrama de Pareto permite que cuando se quiera mejorar un proceso o atender sus problemas se establezcan prioridades y se enfoquen los esfuerzos donde puedan tener mayor impacto.

Según este concepto, si se tiene un problema con muchas causas, podemos decir que el 20% de las causas resuelven el 80 % del problema y el 80 % de las causas solo resuelven el 20 % del problema.

La gráfica es muy útil en temas relacionados con gestión de la calidad, al analizar las causas de un problema, evaluar los resultados de los cambios efectuados a un proceso (antes y después) y para Identificar oportunidades de mejora continua.

Con la **tormenta de ideas** se puede recoger información sobre el estado actual del mantenimiento de la entidad y esta se efectuará a trabajadores seleccionados, miembros del comité de expertos y del Comité de Averías de la Refinería.

El **Diagrama de Causa y Efecto** es utilizado para identificar las posibles causas de un problema específico. La naturaleza gráfica del Diagrama permite que los grupos organicen grandes cantidades de información sobre el problema y determinar exactamente las posibles causas. Finalmente, aumenta la probabilidad de identificar las causas principales aplicando los índices de clase mundial donde se demuestra la relación que existe entre las fallas y la disponibilidad de las bombas.

Estas herramientas se utilizan con el fin de obtener información sobre los conocimientos que se poseen acerca del mantenimiento, acciones de mejora, modos de operación, medidas preventivas antes del fallo, etc.

2.2.2 Evaluación del mantenimiento actual en la Refinería "Sergio Soto"

Se realiza una evaluación del mantenimiento mediante los índices de clase mundial con el fin de detectar las posibles averías de los equipos tecnológicos que impiden el buen funcionamiento del proceso de producción en la industria. A continuación se hace mención de los índices utilizados en este caso de estudio.

Los índices clase mundial son utilizados para evaluar la efectividad de cualquier sistema de mantenimiento. De acuerdo con los datos disponibles en la planta objeto de estudio en el presente trabajo se aplicaran los indicadores, tiempo promedio entre fallas, disponibilidad del equipo por mantenimiento, tiempo medio entre fallas, tasa de fallos, el costo por facturación y el costo por reposición.

Tiempo promedio entre fallas (TPEF)

$$TPEF = \frac{NOIT \cdot HROP}{\sum NTMC}$$

Relación entre el producto del número de ítems por sus tiempos de operación y el número total de fallas detectadas, en esos ítems en el periodo observado.

Disponibilidad del equipo (DISP)

$$DISP = \frac{\sum (HCAL - HRMN)}{\sum HCAL} \cdot 100$$

Relación entre la diferencia del número total de horas del período (horas calendario) con el número de horas de mtto (preventivo, reactivo y otros) en cada ítem controlado y el número total de horas del período considerado.

T i e m p o m e d i o e n t r e f a l l o s (T M E F)

Conocido mundialmente como tiempo medio de buen funcionamiento, es el tiempo medio transcurrido hasta la llegada del evento falla y es definido como:

$$TMEF = \frac{NOIT * HROP}{\sum NTMC} = 1/\lambda$$

Tasa de fallos (λ)

Sirve de base para el cálculo de la confiabilidad y viene dado por:

$$\lambda = NTMC / HROP$$

Como se puede observar se seleccionan estos índices dentro de todos los existentes ya que son los más usados a nivel mundial para una industria con estas características.

2.3 Evaluación económica de la gestión del mantenimiento.

Para el análisis económico también existen indicadores de clase mundial para la evaluación de costos por reposición y facturación de un sistema de mantenimiento, esto permite realizar una evaluación con el fin de conocer si es más factible reparar o reponer el equipo, tomando siempre la opción de mayor rentabilidad.

2.3.1 Costos de mantenimiento por facturación (CMFT)

$$CMFT = \frac{CTMN}{FTEP} \cdot 100$$

Relación entre el costo total de mantenimiento y la facturación de la empresa en el período de análisis.

2.3.2 Costos de mantenimiento por Reposición.

$$CMRP = \frac{CTMN}{VLRP} \cdot 100$$

Relación entre el costo total de mantenimiento acumulado en un determinado equipo y el valor de compra de un equipo nuevo (Valor de Reposición)

Con el estudio durante años se ha llegado a la conclusión de que los costos de mantenimiento no planeado son de 3 a 4 veces mayores que el de mantenimiento planeado.

2.4 Elaboración de propuestas de mejoras al sistema de gestión del mantenimiento.

De conjunto con el Comité de averías de la Refinería Sergio Soto y especialista de la UEB de mantenimiento se evalúan alternativas de solución y se reorganizan mediante la identificación de una serie de acciones y la forma de ejecución de las mismas con la técnica de tormenta de ideas y selección ponderada, donde a partir del criterio de los expertos seleccionados se precisan, las prioridades de cada acción de acuerdo a las necesidades del problema para dar respuesta con dichas alternativas.

Para determinar si es o no confiable el juicio emitido por los expertos y para dar un orden de prioridad se utiliza el coeficiente de concordancia de Kendall. (Anexo 1).

Primera mente se realiza una ponderación de las necesidades otorgándole un valor del 1 a 10, asignándole 1 a la más importante y 10 al menos importante.

Capítulo 3



Capítulo 3. Análisis de los Resultados

3.1 Visita inicial de trabajo.

3.1.1 Descripción de la empresa y del mantenimiento.

La Refinería "Sergio Soto" de Cabaiguán ubicada en la provincia de Sancti Espíritus, perteneciente al Organismo MINEM produce actualmente nafta, queroseno, fuel oil y diesel, productos que se obtienen a partir del fraccionamiento del crudo procesado en la torre de destilación atmosférica siendo ésta punto de partida para la obtención de otros productos como son: solventes especiales, mezcla de fuel diésel, herbicidas, aceite I12, aceite Sigatoka, aceite para transformadores, aceite térmico, además de la obtención de asfalto y otros cortes laterales más ligeros a partir del fuel oil siendo esto de gran importancia económica, Para ello cuenta con la estructura organizativa que se muestra en la Figura 2.

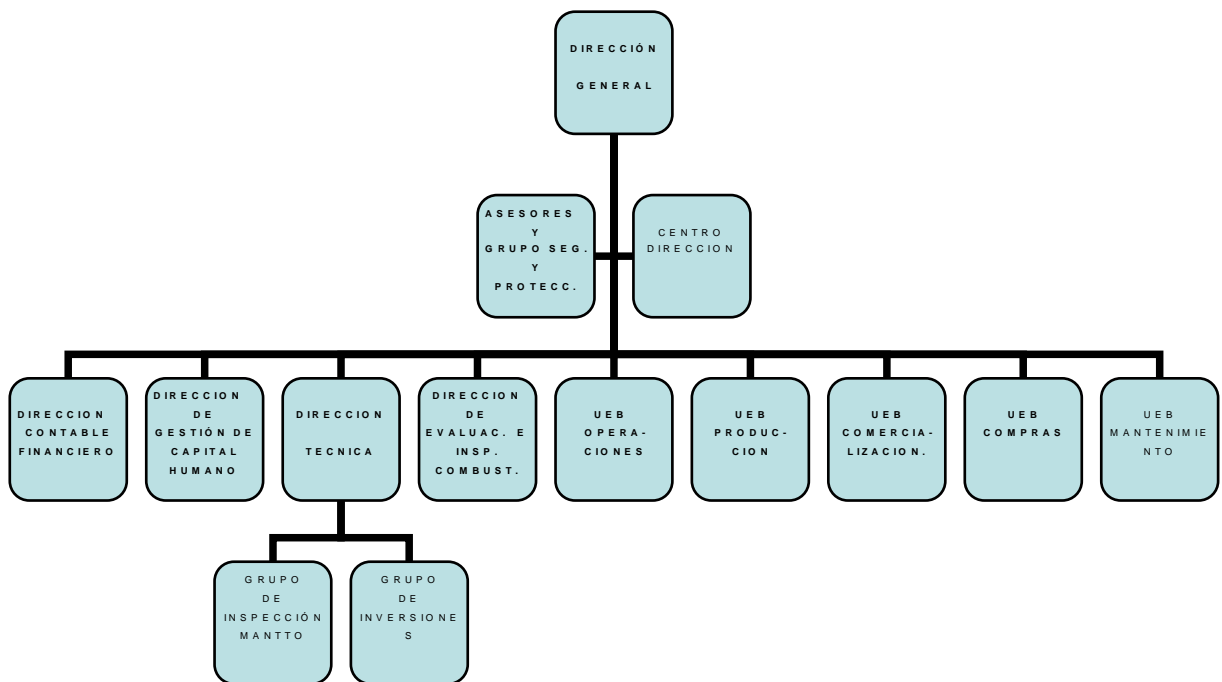


Figura 2. Estructura organizativa de la Refinería de Petróleo "Sergio Soto".

La entidad cuenta con una plantilla de 284 trabajadores, de ellos 63 pertenecen a la UEB de Mantenimiento a pesar de que en período de no refinación, algunos de los operadores de planta son reubicados como apoyo en las labores de esta área.

Categoría Ocupacional	Plantilla Aprobada	Plantilla Cubierta
Cuadros	10	10
Técnicos	123	119
Trabajadores Administrativos	12	8
Trabajadores de Servicios	4	3
Obreros	152	144
Total	301	284

Tabla 3. Plantilla aprobada y cubierta de la entidad

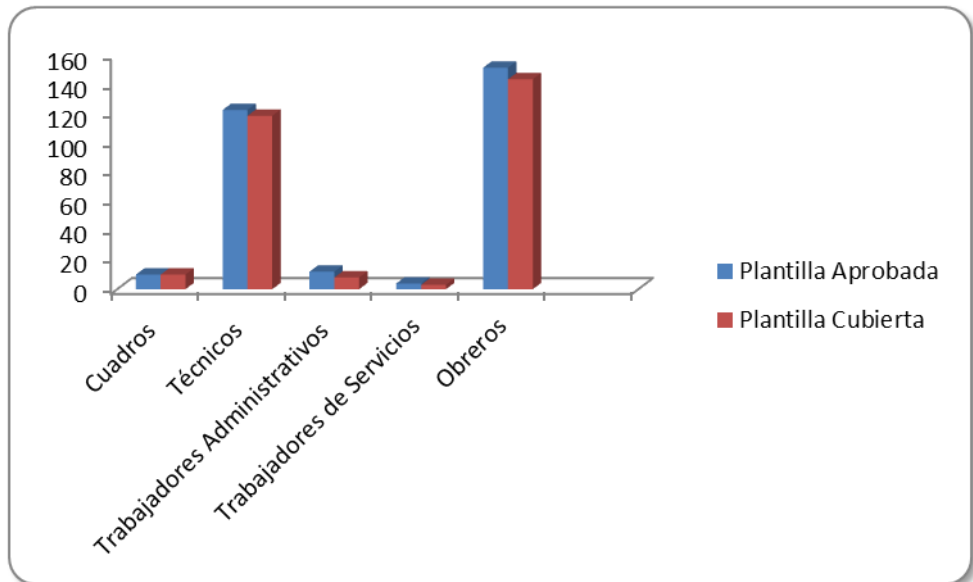


Gráfico 1. Plantilla aprobada y cubierta de la entidad.

3.1.2 Proceso del mantenimiento en la refinería "Sergio Soto". (En plantas)

En nuestra institución la Gestión del mantenimiento se realiza fundamentalmente de forma preventiva y con una secuencia de acciones de forma organizada y lógica, varias son las áreas participes en la acción de mantenimiento, estas áreas son Dirección Técnica, UEB de Producción, UEB de Compras y la UEB de mantenimiento. La Dirección Técnica es la encargada de toda la planificación e inspección de los equipos a través de un grupo de

inspección compuesta por cinco inspectores de mantenimiento, uno dedicado a los equipos eléctricos otro a los automáticos y el resto a los mecánicos, los equipos mecánicos los cuales serán objeto de estudio en nuestro trabajo están divididos por dos grandes grupos, el primer grupo está compuesto por los equipos dinámicos donde incluimos las bombas, los motores, centrifugas, motobombas; el segundo grupo está compuesto por equipos estáticos en este grupo encontramos las torres de destilación atmosférica y al vacío, los Hornos, las líneas en planta, los tambores (tanques de almacenamiento más pequeños), los intercambiadores de calor donde algunos cumplen funciones de enfriadores. Todo parte de los planes de inspección de estos equipos donde según sus cualidades y funciones tienen un periodo de inspección, los inspectores de mantenimiento luego de realizar estas inspecciones pueden fortalecer o disminuir la acción de mantenimiento, planificada de igual forma por las cualidades y funciones del equipo. Luego de una buena planificación tanto de inspección como de mantenimiento entra en funciones la UEB de mantenimiento ejecutando lo planificado, esto fluye de la siguiente manera el grupo de inspección garantiza en tiempo el plan de mantenimiento al programador que es el encargado de planificar el tiempo y el personal que ejecutará la acción.

En el caso de las acciones correctoras se ejecuta de la siguiente manera, cuando el equipo sufre una avería los inspectores son los encargados de dictaminar lo ocurrido y las acciones correctoras, existe un modelo para emitir recomendaciones donde se explica todas las tareas a realizar.

Anteriormente se hace mención a la UEB de compras y de producción ambos juegan su papel en el mantenimiento pues son los encargados del monitoreo diario de los equipos en el caso de producción y en el caso de compras es la encargada del suministro de materiales y equipos en tiempo y forma para que se pueda satisfacer al cliente.

La responsabilidad del mantenimiento es de la empresa explotadora de la planta, esto genera insatisfacción en el proceso productivo ya que ante la ocurrencia de un defecto o avería, de las que requieren de atención inmediata, se hace engorroso ejecutar el mantenimiento por el alto nivel de obsolescencia con que cuenta la infraestructura, derivándose de la consiguiente pérdida de producción. También pueden surgir otras averías que deben ser reportadas

para ser solucionadas en la próxima parada de mantenimiento planificado.

Estas averías pueden ser detectadas en las actividades de mantenimiento diarias como son:

- Detección y corrección de partes flojas.
- Corrección de salideros.
- Cambio de manómetros, Válvulas, juntas, etc.
- Mantenimiento de pintura, limpieza y cultura de producción.

Este sistema debe cumplir con los siguientes objetivos:

- Mantener una alta disponibilidad en la refinación de combustibles o así como de toda su infraestructura.
- Ejecutar mantenimientos sobre la base de reposición de elementos por otros nuevos, con personal **certificado** por los centros de entrenamiento de forma **cíclica** y utilizando las herramientas especializadas.
- Lograr cero accidentalidad de los seres humanos y la **tecnología no se dañe**, así como minimizar las afectaciones al medio ambiente.
- El mantenimiento capital de las plantas refinadoras de combustibles se realiza en el lugar donde se encuentran instaladas y los accesorios con que cuentan las mismas son llevados a un taller central en la propia empresa, donde se le realizan chequeos y pruebas, para brindar un nuevo ciclo de **garantía**.

En reunión efectuada para conocer cuál de los equipos directos a la producción presenta la mayor cantidad de averías es necesario primeramente intercambiar ideas y criterios con el Comité de Averías de la empresa el que se estructura de la siguiente forma:

3.2 Presentación del Comité de Averías:

Ing. Mijail Bonachea Crespo. Presidente Comité de Averías

Ing. Osmel Cabrera Gorrín. Especialista Principal de Tecnología

Ing. Claudia Rodríguez Consuegra. Especialista de Gestión Ambiental

Ing. Niurka CarboneI Marín: Especialista en PHT.

Ing. José Alfonso Nazco: Director UEB Mantenimiento

Tec. Nelsón Mujica Mujica: Jefe de Seguridad y Protección

Una vez conocido los integrantes del comité de averías se propone mediante una tormenta de ideas definir cuál es el equipo que obstaculiza el proceso productivo. Para la realización de estos cálculos se escogieron los equipos que están directos a la producción y se recogen los datos mediante una lista de verificación registrando la información en un diagrama de Pareto, el análisis de las propuestas se muestran a continuación:

Tipos de equipos	Frecuencia	Total
Horno FT-101	/	1
Separador de Nafta D-103	/	1
Intercambiadores de Calor	////	4
TE-01 Torre de Enfriamiento	//	2
Despojadores	//	2
Bombas	///// ///// /////	15
Total		25

Tabla 4. Lista de chequeo

Tipos de equipos	Frecuencia	Total	%
Bombas	///// ///// /////	15	60
Intercambiadores de Calor	////	4	16
TE-01 Torre de Enfriamiento	//	2	8
Despojadores	//	2	8
Horno FT-101	/	1	4
Separador de Nafta D-103	/	1	4
Total		25	100

Tabla 5. Lista de chequeo

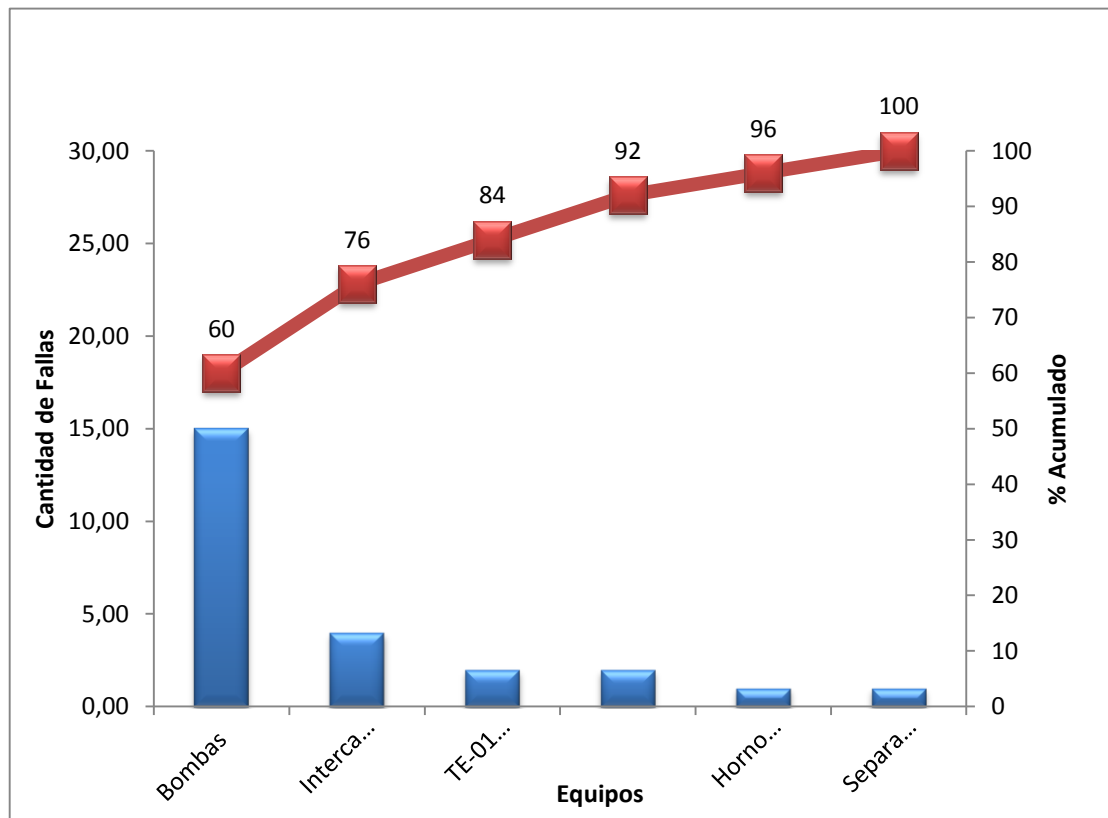


Gráfico 2. Diagrama de Pareto

Con la realización de los cálculos se arriba a la conclusión que el principal equipo que afecta la producción son las bombas por el alto porcentaje de averías que presenta, si se elimina este problema se resuelve un 80% de las causas que afectan el proceso.

En la actualidad la empresa cuenta con 115 tipos de bombas de acuerdo a la marca, el modelo, la capacidad, la altura entre otras características presentes en las mismas, dichas bombas se encuentran distribuidas por todas las áreas vinculadas al proceso productivo como son la Planta de Destilación Atmosférica que cuenta con un total de 22 bombas, la Planta de Destilación al Vacío con un total de 15 bombas, la Planta de Aceites Básicos cuenta con 23 bombas, la Red de Agua contra Incendios, tratamiento de agua, Generación de Vapor y aire cuentan con 25 bombas, el área de operaciones o el cargadero de combustibles cuenta con un total de 27 bombas así como otras 3 que se utilizan para la parte del laboratorio de Ensayos Físicos-Químicos y Mecánicos de la empresa. (Ver Anexo 2)

Por tal motivo todo lo anterior evidencia una vez más la necesidad de identificar las causas en el origen de los problemas que presenta las bombas, para ello se realiza un diagrama Causa-Efecto como se muestra a continuación:



Figura 3. Diagrama causa-efecto

Para un mejor aprovechamiento de la bomba es necesario solucionar los problemas tecnológicos, así como el mejoramiento de la materia prima la cual no está en óptimas condiciones para que el equipo trabaje a plena capacidad, es por eso que surgen paradas inesperadas y un alto grado de averías, además asociado a estas causas surgen problemas organizativos que influyen de manera directa a una deficiente gestión del mantenimiento, siendo este el principal efecto que obstaculiza el desempeño satisfactorio del equipo.

3.3.- Cálculo de los índices clase mundial para las bombas.

A partir de las expresiones de cálculo referidas en el capítulo II y con los datos registrados en las órdenes de trabajo, para los diferentes tipos de bombas, se determinaron los indicadores clase mundial, tiempo promedio entre fallos (TPEF) y la tasa de fallos (λ).

3.3.1 Tiempo promedio entre fallos y tasa de fallos

Para la determinación de dichos indicadores se utilizaron los datos registrados en los expedientes de las bombas así como la cantidad de horas de operación durante los doce meses del año realizando una comparación entre el año 2013 y el 2014 (Ver Anexo 3)

Gráfico 3. Tiempo promedio entre fallas (TPEF) y tasa de fallo (λ) Año 2013

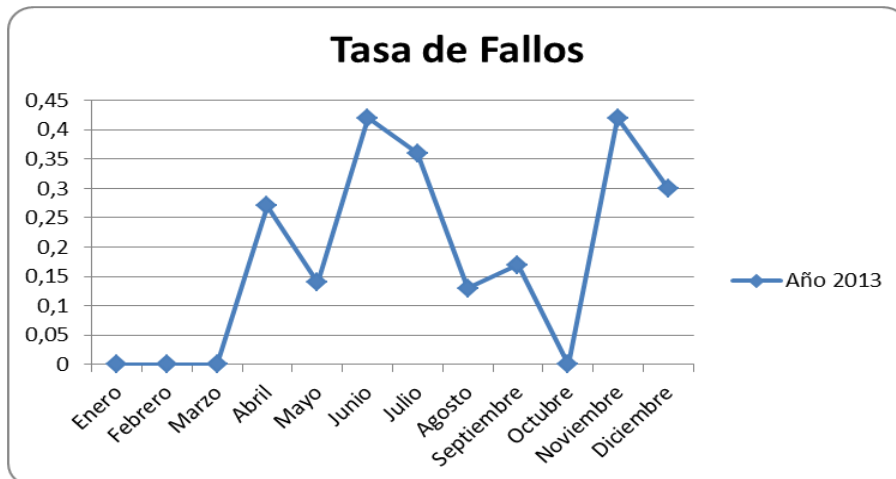
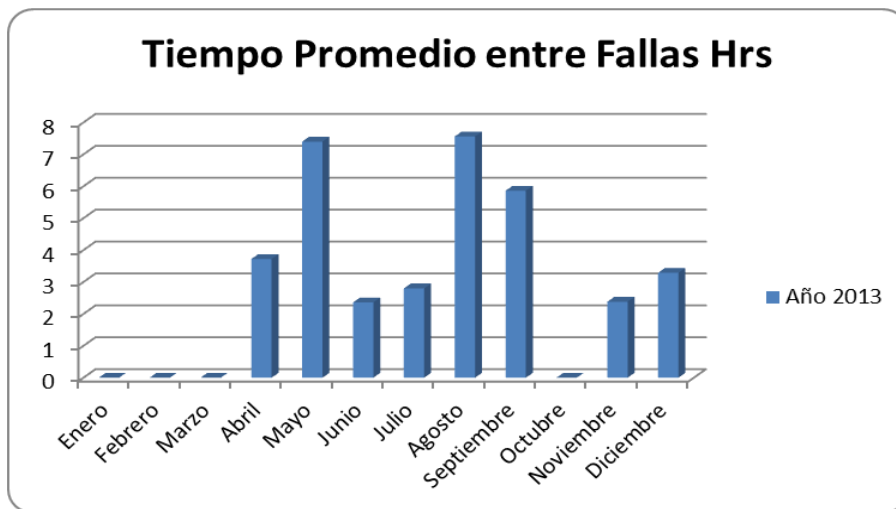
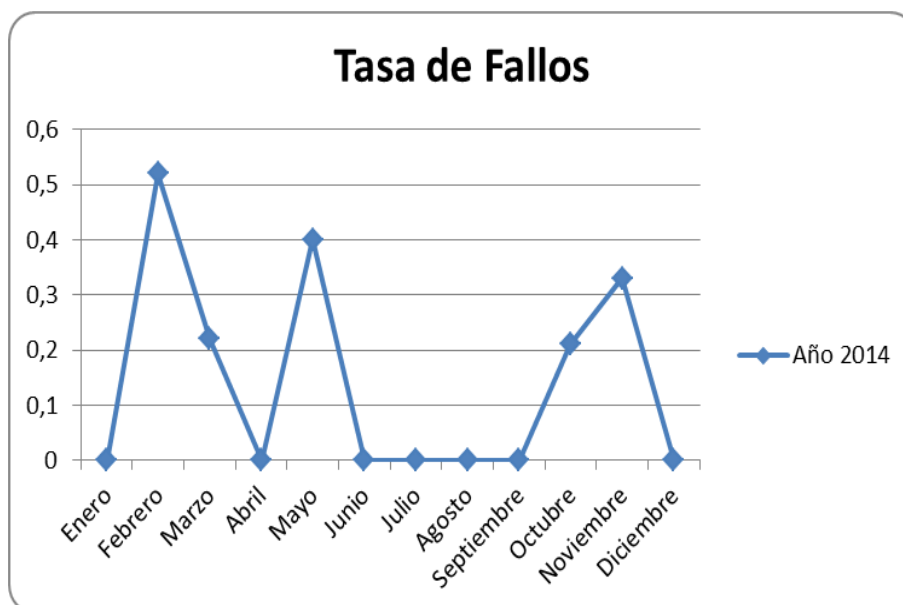
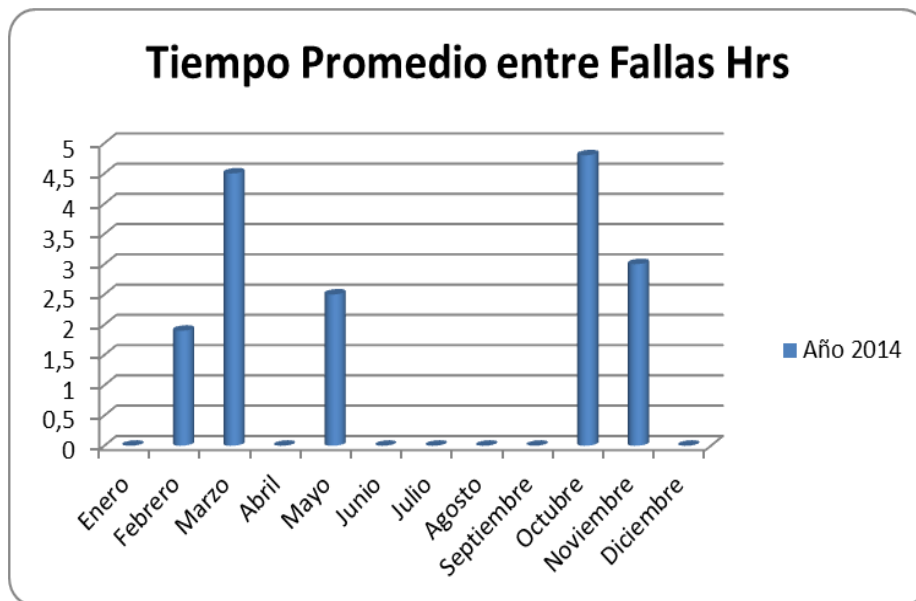


Gráfico 4. Tiempo promedio entre fallas (TPEF) y tasa de fallo (λ) Año 2014.



En el año 2013 el tiempo promedio entre fallas se comportó de forma inestable, en los meses de enero, febrero y marzo no existió ocurrencia de fallos, ya que el proceso de refinación no es continuo, debido a que la planta trabaja generalmente un mes si y otro no, variando en algunas ocasiones por la falta de materia prima que en la mayoría de los casos no se tiene en tiempo para cumplir con el periodo de refinación planificado, en los meses de mayo y agosto existe un incremento en cuanto a fallas por encontrarse la planta

refinando y no contar con la materia prima más óptima para estabilizar la misma, provocando que existan paradas no programadas producto a salideros en líneas principales de combustibles así como rotura de sellos de succión de las bombas principales de inyecta a la torre de destilación al vacío por no cumplir con los parámetros de calidad la materia prima.

El resto de los meses se comportó el Tiempo Promedio entre Fallas estable oscilando entre 2 y 4 horas respectivamente, no siendo así en el mes de septiembre que a pesar de no comportarse como en los meses de mayor ocurrencia de fallos también se encontró afectado por el factor materia prima, provocando que en el mes de octubre no existiera refinación por problemas con las bombas de inyecta así como todo el sistema de bombeo de la torre de Destilación Atmosférica conllevando a una reparación extremadamente compleja donde se realizaron labores de reposición de líneas conductoras principales así como cambio de expelentes de las bombas principales por la ocurrencia de tupiciones de alto grado de complejidad.

La Tasa de fallos para este año que se analiza se comporta inestable, ya que la misma es inversamente proporcional con el tiempo promedio entre fallas, comportándose en los meses de junio, julio y noviembre de forma elevada ya que estos fueron los meses de mayor estabilización en cuanto a tiempo entre fallas pero con un alto grado de ocurrencia de las mismas en ese periodo de refinación.

En el año 2014 el Tiempo Promedio entre Fallas se comportó de manera diferente con respecto al año 2013, en el primer mes del año coincidió que fue periodo de no refinación de la planta, ya en el mes de febrero se inician las labores de refinación siendo este periodo un poco más extenso ya que existió un margen mayor de materia prima y por necesidades de la máxima dirección del país se extendió la refinación hacia el mes de marzo. En los meses de junio, julio, agosto y septiembre se aprobó por el departamento de inversiones de la Unión Cuba Petróleo (CUPET) en conjunto con otros factores una reparación capital a todas las plantas vinculadas al proceso productivo, dicha reparación abarcaba desde cambios de motores de bombas hasta la intervención integral a las torres refinadoras de combustibles.

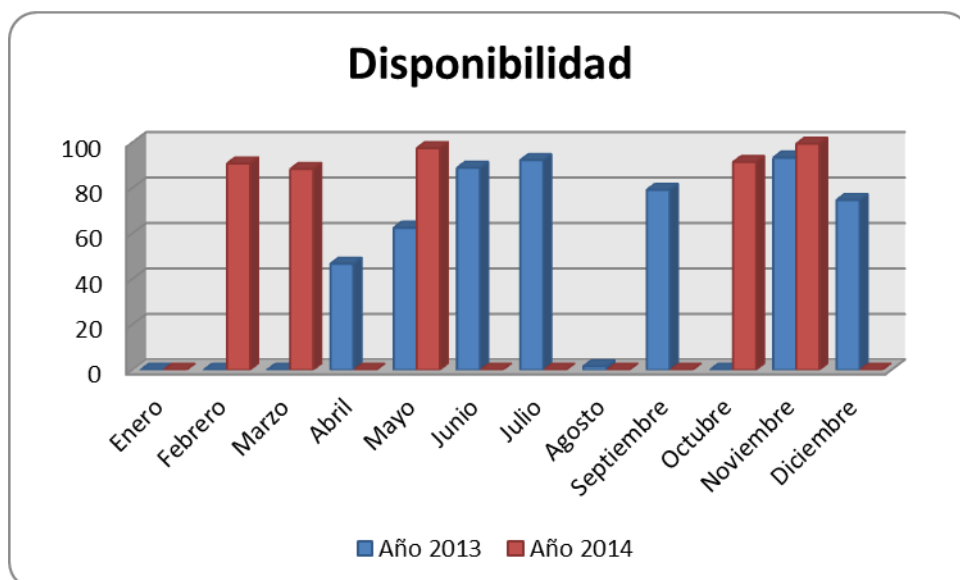
Esta importante reparación concluyó a finales del mes de septiembre, a principios del mes de octubre se comienza a realizar las pruebas a todo el sistema de las plantas refinadoras y existe un aumento considerable del tiempo promedio entre fallas producto a que la materia prima que se encontraba almacenada en la propia empresa no poseía los parámetros en cuanto a calidad y se procede a correrla afectando la misma a los equipos que recientemente quedaron instalados, una vez analizada la problemática vigente se procede a sustituir dicha materia prima logrando estabilizar la planta y cumpliendo el plan de refinación para el presente año.

La tasa de fallos durante el año analizado se comportó de forma favorable con respecto al año 2013 ya que se logró mantener un ritmo adecuado en el proceso de refinación a pesar de sufrir afectaciones considerables se pudo desarrollar el cumplimiento del plan de producción.

3.3.2 Disponibilidad del equipo (DISP)

Para determinar la disponibilidad se tuvo en cuenta el tiempo dedicado a la actividad de mantenimiento y las horas de operación a que estuvo sometido cada equipo. (Ver anexo 4)

Gráfico 5. Disponibilidad Año 2013 y 2014



La disponibilidad debes oscilar entre los valores siguientes:

- ✓ 70% - 80% Mala
- ✓ 81% - 90 Regular
- ✓ 91% - 96% Normal
- ✓ 97% - 100% Optima

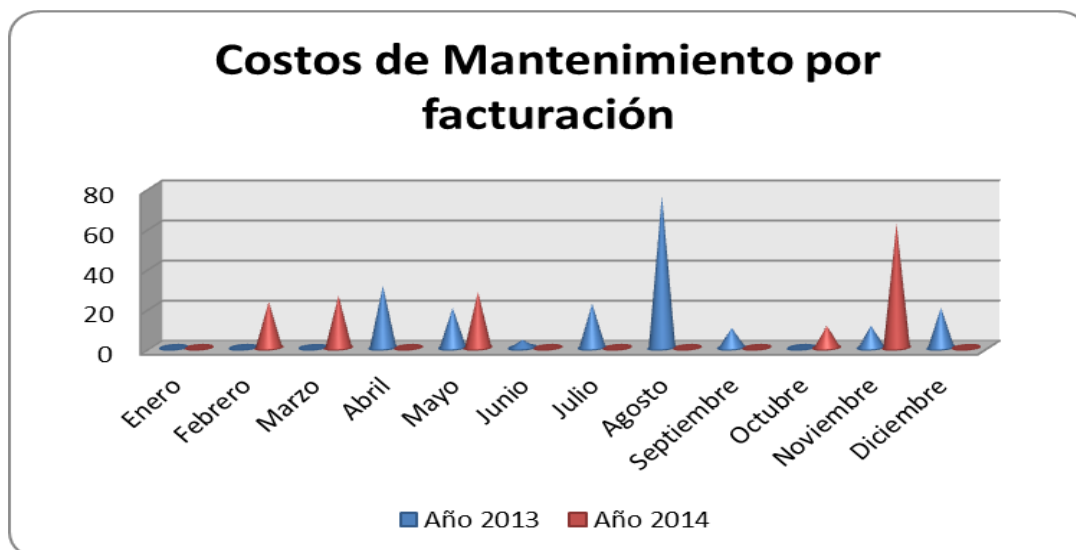
En el año 2014 existió una disponibilidad que oscila entre 91% - 96% siendo la misma favorable a pesar de todo lo ocurrido en cuanto a las averías surgidas en el periodo de refinación manteniendose la misma de forma normal, no siendo así en el año 2013 donde la disponibilidad estuvo en varios meses por debajo de la calificación normal, afectando este año de forma considerable el cumplimiento de los planes de refinación de la empresa.

3.4 Análisis económico del mantenimiento.

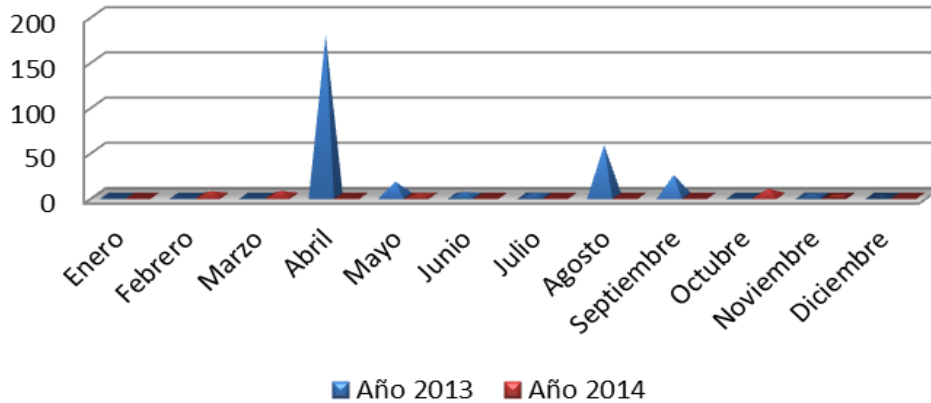
Para el análisis económico se utilizó el indicador clase mundial, el costo de mantenimiento por facturación y el costo de mantenimiento por reposición, donde se determinó teniendo en cuenta los costos totales de mantenimiento de las bombas así como las ventas que existieron en el periodo de análisis; además de contar con el precio que tienen estos equipos en el mercado para demostrar si es factible reparar el mismo o reponerlo.

A continuación se muestran los análisis obtenidos:

Gráfico 6. Costos de Mantenimiento por Facturación Año 2013 y 2014



Costo de Mantenimiento por Reposición



Como se puede apreciar en el grafico 3.5 los costos de mantenimiento por facturación se comportaron entre el 20% y el 60%, siendo este ultimo correspondiente al mes de agosto del 2013 donde existió un aumento en los gastos de mantenimiento derivado del alto nivel de ocurrencia de fallas que se presentó en dicho mes. Estos resultados estan muy alejados de los valores optimos reportados en la literatura (5-15%), y se tiene en consideración que varios meses del año la planta se encuentra fuera de servicio por disponibilidad de materia prima es evidente que la eficiencia economica de la empresa esta siendo afectada por no disponer de un sistema de gestión del mantenimiento que garantice una mayor fiabilidad de los equipos tecnológicos.

En el grafico 3.6 se comportaron los costos de mantenimiento por reposición de manera diferente, ya que solo en el mes de abril fue donde mayor gasto existió dado a que las acciones de mantinimiento incluyeron la reposición de la bomba de inyecto del fondo de Atmosférica por encontrarse con un elevado nivel de obsolescencia y mal funcionamiento al inyectar producto a la torre. En el resto de los meses los gastos de mantenimiento estubieron por debajo del valor de adquisición de equipos nuevos.

3.5. Propuesta de Solución por el método del coeficiente de concordancia de Kendall.

En una tormenta de ideas con el comité de averías de la empresa se determinaron las siguientes prioridades de solución.

Presentación del Comité de Expertos integrado por 7 representantes:

Ing. Mijail Bonachona Crespo. Presidente Comité de Averías

Ing. Oximel Cabrera Gorrín. Especialista Principal de Tecnología

Ing. Claudia Rodríguez Consuegra. Especialista de Gestión Ambiental

Ing. Alberto Mansito Hernández. Trabajador con experiencia

Ing. José Alfonso Nazco: Director UEB Mantenimiento

Tac. Nelson Mujica Mujica: Jefe de Seguridad y Protección

Ing. Rigoberto Zaila Benavides: Director UEB Producción

Los indicadores de clase mundial muestran resultados positivos. Para mejorar estos se identifican una serie de acciones encaminadas a elevar la eficiencia del mantenimiento.

Para determinar las acciones se realizó una tormenta de ideas con un grupo de expertos de las diferentes áreas. Para calcular el número de expertos se utilizó la distribución binomial de probabilidad siguiente:

$$M = \frac{p*(1-p)*k}{i^2}$$

Donde:

M: número necesarios de expertos.

p: proporción estimada de errores de los expertos.

k: constante asociada al nivel de confianza.

i: nivel de precisión deseado.

Se toman los siguientes valores:

p = 0,01

K = 6,6564 para un nivel de confianza de 99 %.

i = 0,1

Se procede al cálculo:

$$M = \frac{0,01*(1-0,01)*6,6564}{0,10^2} = 6,5898 \approx 7_{\text{Expertos}}$$

A partir del criterio de los expertos seleccionados se precisan, las necesidades a las que la gestión del mantenimiento debe dar respuesta.

Para determinar si es o no confiable el juicio emitido por los expertos y para dar un orden de prioridad se utiliza el coeficiente de concordancia de Kendall.

Primera mente se realiza una ponderación de las necesidades otorgándole un valor del 1 a 10, asignándole 1 a la más importante y 10 al menos importante.

Tabla 6 Ponderación de los expertos Fuente: Elaboración propia

No	Características	Expertos							ΣR_j	Δ	Δ^2
		E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	E 6	E 7			
1	Mejorar el sistema de planificación del mantenimiento	7	4	6	5	6	8	5	41	16.5	272.25
2	Posible automatización de los equipos en planta.	2	3	4	2	3	4	2	20	-4.5	20.25
3	Mejorar el sistema logístico de piezas de repuesto.	4	7	6	5	3	5	6	36	11.5	132.25
4	Supervisar la calidad de la materia prima.	1	3	3	3	2	1	1	14	-10.5	110.25
5	Cambios tecnológicos	5	5	7	7	3	5	6	38	13.5	182.25
6	Aumentar el programa de capacitación a los operadores y personal de mantenimiento	6	3	4	1	2	4	3	23	-1.5	2.25

Con el resultado se procede a determinar la concordancia, para ello se utiliza siguiente expresión:

$$W = \frac{12 * \sum \Delta^2}{M^2 * (K^3 - K)}$$

Donde:

W : Coeficiente de concordancia de Kendall.

M : Número de expertos.

K : Número de prioridades o índice a evaluar.

Δ : Desviación del valor medio de los juicios emitidos. Valor que se determina a través de la expresión siguiente:

$$\Delta = \sum_{j=1}^m a_{ij} - \tau$$

Donde

a_{ij} : Juicio de importancia del índice i dado por el experto j.

τ : Número de observaciones en un grupo ligado por un rango dado

Para el cálculo de τ se utiliza la expresión:

$$\tau = 1/2 * M(K + 1)$$

$$\tau = 1/2 * 7(6+1) = 24.5$$

W debe estar entre (0-1), hay autores que plantean que:

(1.00--0.5) es confiable,

(0.49--0.0) no es confiable.

Sustituyendo los resultados anteriormente obtenidos:

$$W = \frac{12 * 719.5}{7^2 * (6^3 - 6)} = 0,84$$

Esto muestra que existe concordancia entre los expertos.

Para validarlo estadísticamente se utilizó el estadígrafo X^2 , por ser la cantidad de elementos mayor que 7. El estadígrafo X^2 se calcula de la siguiente manera:

$$X^2 = M(N-1)W$$

$$X^2 = 7 * (6-1) * 0,84 = 29.4$$

$X^2_{\delta; n-1}$

$$X^2_{0.01; 5} = 13.4$$

RC: $X^2 > X^2_{\delta; n-1}$

$$29.4 > 13.4$$

H_0 : No hay concordancia entre los expertos.

H_1 : Si hay concordancia entre los expertos.

No existe evidencia estadística suficiente que implique falta de concordancia entre los expertos, por lo que rechazo H_0 .

Además el orden de prioridad de las necesidades según los expertos es el siguiente:

1. Mejorar el sistema de planificación del mantenimiento.
2. Cambios Tecnológicos.
3. Mejorar el sistema logístico de piezas de repuesto.
4. Supervisar la calidad de la materia prima.
5. Posible automatización de los equipos en plantas.
6. Aumentar el programa de capacitación a los operadores y personal de mantenimiento.

3.6. Propuestas de mejoras al sistema de mantenimiento de la Refinería

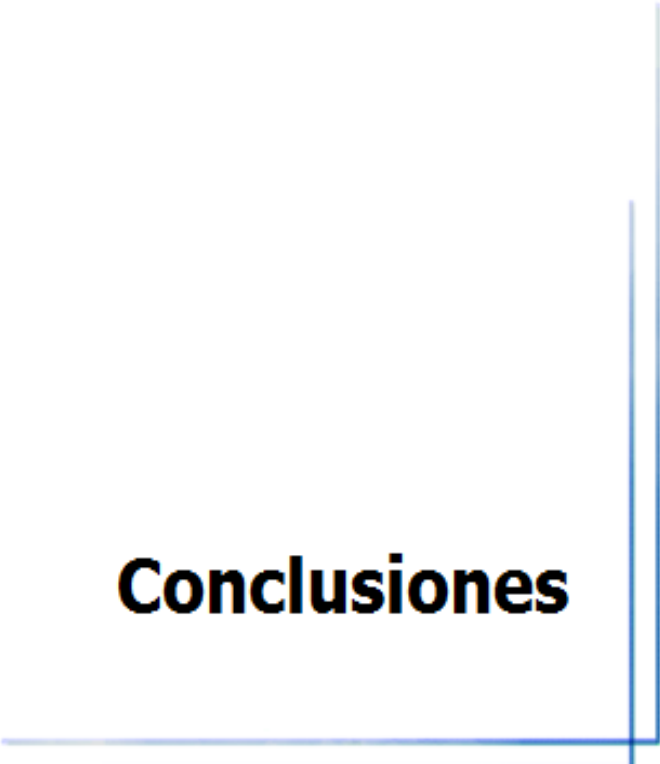
“Sergio Soto”:

Como se ha podido mostrar en este trabajo para la operación de las plantas de refinación de combustibles existe un manual de operación que define una correcta planificación del mantenimiento, no obstante los resultados de la aplicación de los índices clase mundial a la Refinería de Petróleo Sergio Soto del municipio de Cabaiguán determina que no existe una correcta aplicación del sistema de mantenimiento planificado. Si bien está diseñado y funciona un sistema de automatizado (SIGERMAN) la ocurrencia de fallas en algunos equipos tales como las bombas no parecen tener un tratamiento específico para ser modificado en el sistema de mantenimiento preventivo.

La propuesta de mejoras estará centrada en:

- ✓ Lograr una correcta planificación del Sistema de mantenimiento implementando un sistema automatizado para la gestión del mismo.
- ✓ Diseñar un sistema de capacitación a los operadores y los obreros vinculados al mantenimiento.
- ✓ Aumentar el desarrollo tecnológico logrando una automatización de forma general a todos los equipos de la planta.
- ✓ Realizar todos los análisis y chequeos de laboratorio para lograr una materia prima con la calidad requerida para disminuir la existencia de fallas.
- ✓ Definir un esquema de captación de datos que garantice el funcionamiento del sistema automatizado SIGERMAN.
- ✓ Realizar un análisis de cada elemento de bombeo y evaluar a través del costo por reposición, la pertinencia de seguir invirtiendo en acciones correctivas de mantenimiento.
- ✓ Reestructurar el sistema de aseguramiento logístico garantizando una disponibilidad de las piezas de repuesto sin que afecte la rotación de inventarios en almacén.
- ✓ Evaluar la conveniencia de licitar las acciones de mantenimiento a servicios de terceros.
- ✓ Incorporar acciones de mantenimiento por diagnóstico en los elementos de bombeo.

Conclusiones



1. Se logra una revisión bibliográfica actualizada y profunda sobre los sistemas de gestión del mantenimiento en específico en plantas refinadoras de combustibles.
2. Se definen los equipos de bombeo como los elementos que tienen mayor representatividad en las paradas de planta por presentar averías no planificadas.
3. El comportamiento de los indicadores de clase mundial, tiempo entre fallas, tasa de fallo y disponibilidad muestran un comportamiento muy inestable para los años 2013 y 2014, con tiempos promedios entre fallos entre 2 y 4 horas lo que hace muy ineficiente cualquier proceso tecnológico.
4. Los costos de mantenimiento representan un 20 % o más de los costos de facturación de la empresa lo que sin lugar a dudas pone en evidencia la eficiencia económica de la empresa. Esto puede estar asociado a la propia inestabilidad en la refinación por disponibilidad de materia prima y su calidad.
5. Se proponen nueve acciones de mejora al sistema de gestión del mantenimiento que de implementarse mejorarían la eficiencia y la fiabilidad de los procesos tecnológicos de la empresa.

Recomendaciones



1. Evaluar después de estar implementadas las acciones de mejora el comportamiento de los indicadores de clase mundial.
2. Realizar una evaluación a partir del indicador costo por reposición de cada uno de los elementos de bombeo de forma independiente y proponer medidas específicas para cada caso.
3. Concluir la implementación del sistema automatizado de gestión del mantenimiento SIGERMAN.

Bibliografía



1. Amigó, A. T. (2009). Hablando de mantenimiento. Barcelona: Puntex.
2. Acosta Palmer, H. y Troncoso, M. [2006] "Metodología para el Diagnóstico y Evaluación de la Función Mantenimiento". Sociedad Uruguaya de Mantenimiento, Gestión de Activos y Confiabilidad. 16 h. http://www.uruman.org/TrabajosTec/Hector_Acosta.pdf
Última consulta: 17.01.2014.
3. Alfonso Llanes, A. [2008]. Procedimiento para la asistencia decisional al proceso de tercerización de la ejecución del mantenimiento. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. UCLV. Santa Clara, Cuba.
4. Alfonso Llanes, A. et al., [2009c] "Indicador General para la Determinación del Nivel de Gestión del Mantenimiento (INGM) (General Indicator for Determination of Maintenance Management Level)" Revista VirtualPro es Ingeniería en Procesos Industriales, ISSN 1900-6241. Marzo 2008, No 74. pp.10. Editorial VIRTUALPRO. Bogotá, Colombia. http://www.revistavirtualpro.com/ediciones/mantenimiento_industrial_gestion_de_mantenimiento-2008-03-01_10. Última consulta: 13.10.2013.
5. Alkaim, J. L. [2003] "Metodologia para incorporar conhecimento intensivo às tarefas de Manutenção Centrada na Confiabilidade aplicada em ativos de sistemas elétricos". Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ingeniería de Producción. Universidad Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Brasil.
6. Batista Rodríguez, C. [2000] "Contribución al diseño de un sistema de gestión de mantenimiento para los centrales azucareros cubanos". Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad de Holguín. Cuba.
7. Batista Rodríguez, C. [2000] "Contribución al diseño de un sistema de gestión de mantenimiento para los centrales azucareros cubanos". Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad de Holguín. Cuba.
8. Borda, J. [1998] "Creación de un mantenimiento avanzado y beligerante. Revista Mantenimiento". España, No 81, Enero-Febrero, Pág. 31.
9. Brugger, E. A. (1993). Del desarrollo sostenible a la ecoeficiencia. Revista MAPFRE, No 52, 4to trimestre.
10. Christensen, C [2006] "Criticidad de equipos". www.clubdemantenimiento.com.ar Última consulta: 16.11.2014

11. Da Silva Neto, J. C. y Gonçalves de Lima, A. M. [2002] "Implantação do Controle de Manutenção". Revista Club de Manutenimento. No. 10, Septiembre, 2002. http://www.clubdemantenimento.com.br/r11t6_controle.htm Última consulta: 04.11.2014.
12. De la Paz Martínez, Estrella M. [1996] "Perfeccionamiento del sistema de mantenimiento en la Industria Textil Cubana. Aplicación en la Empresa Textil "Desembarco del Granma". Tesis en opción al grado científico de Doctora en Ciencias Técnicas. UCLV. Santa Clara, Cuba
13. Dos Santos Mandes, A. L. [2002] "Gesto do valor nas operações de manutenção". Tesis en opción al grado académico de Master en Ingeniería de Producción. Universidad Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Brasil.
14. Ellis. H. [2000] "World Class Maintenance Strategy Design Techniques". Qualitech Management Services. http://www.plant-maintenance.com/articles/wcm_strategy_design.shtml Última consulta: 21.01.2014.
15. Espinosa Fuentes, F. F. [2006] "Metodologia para inovação da gestão de manutenção industrial". Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ingeniería Mecánica. Universidad Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Brasil.
16. Fabro, E. [2003] "Modelo para planejamento de manutenção baseado em indicadores de criticidade de processo". Tesis en opción al grado académico de Master en Ingeniería de Producción. Universidad Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Brasil.
17. Fabro, E. [2003] "Modelo para planejamento de manutenção baseado em indicadores de criticidade de processo". Tesis en opción al grado académico de Master en Ingeniería de Producción. Universidad Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Brasil.
18. García Garrido, S. [2003] "Organización y Gestión Integral de Mantenimiento. Manual práctico para la implantación de sistemas de gestión avanzados de mantenimiento industrial". Editorial Díaz de Santos. Madrid, España
19. García González-Quijano, J [2004] "Mejora en la confiabilidad operacional de las plantas de generación de energía eléctrica: desarrollo de una metodología de gestión de Mantenimiento Basado en el Riesgo (RBM)". Tesis en opción al grado académico de Master en Gestión Técnica y Económica en el Sector Eléctrico. Universidad Pontificia Comillas, Madrid. España.
20. García-Ahumada, F. [2001] "Función del mantenimiento y las nuevas tecnologías". Revista Mantenimiento, No. 141, enero/febrero 2003. España.

21. González Danger, A. H. y Hechavarría Pierre, L. [2001] "Metodología para seleccionar sistemas de mantenimiento". Revista Club de Mantenimiento, No. 8; año 2, marzo, 2002. <http://www.datastream.net/latinamerica/mm/articulos/club.asp> Última consulta: 11.10.2014.
22. Huerta Mendoza, R [2001] "El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la Confiabilidad Operacional". Revista Club de Mantenimiento, No. 6. http://www.confiabilidad.net/art_05/RCM/rcm_8.pdf Última consulta: 13.01.2015
23. Jeira, C. y Gibson, P. [2004] "Las tendencias del mercado moderno. Outsourcing". KPMG Auditores Consultores Ltda. http://www.kpmg.cl/documentos/Final_Presentacion_BPO_July_2004.pdf Última consulta: 12.10.2014.
24. Lodola, E. [2006] "Maintenance global service contracts: a guide to develop maintenance management strategies and performance indicators". Tesis en opción al grado académico de Master en Gestión de la Ingeniería, Universidad de Pisa. Italia.
25. Moubray, J. M. [1997] "RCM II. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad". Segunda Edición. Ellmann, Sueiro y Asociados. España. pp. 433.
26. Muntasell i Arcarons, J. [1994] "Como gestionar el mantenimiento contratado de grandes edificios". Revista Mantenimiento, España. 73: 11-19.
27. Sánchez Sánchez, R. [1999] "Contribución al perfeccionamiento del sistema de gestión del mantenimiento a las máquinas y equipos productivos y energéticos en la fase de operación en las fábricas de azúcar crudo cubanas". Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad Central de las Villas (UCLV). Santa Clara. Cuba.
28. Sánchez Sánchez, R. [1999] "Contribución al perfeccionamiento del sistema de gestión del mantenimiento a las máquinas y equipos productivos y energéticos en la fase de operación en las fábricas de azúcar crudo cubanas". Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad Central de las Villas (UCLV). Santa Clara. Cuba.
29. Stefano, L. [2006] "Maintenance global service contracts: a guide to develop maintenance management strategies and performance indicators". Tesis en opción al grado de Especialista en Administración de la Ingeniería. Universidad de Pisa. Italia.
30. Tavares, L. A. [1999] "Administración Moderna de Mantenimiento" 1ra Edición. Editorial Novo Polo Publicacao. Brasil. 158 p.
31. Tavares. L.A, Calixto. M y Poydo. P.R [2005] "Manutencao Centrada no Negocio"

Editorial: Novo Polo Publicacoes. Brazil. 155 p.

32. Tom lingson, P. D. [2007] "Achieving World-Class Maintenance Status". Coal Age. Vol. 112, No. 8. pp. 40-42.
33. Torres, J. [1997] "A MCC-Manutenção Centrada na Confiabilidade e o Capítulo-4 do Manual de directrizes da linha seg: Uma proposta para racionalização das tarefas e redução do custo de manutenção". II Seminario de Manutenção CEMAN, Brasil
34. Torres, L. D. [2005] "Mantenimiento. Su implementación y gestión". Editorial UNIVERSITAS. 2da Edición. Argentina. 347 p.
35. Torres, L. D. [2005] "Mantenimiento. Su implementación y gestión". Editorial UNIVERSITAS. 2da Edición. Argentina. 347 p.
36. Torres, L. D. [2005] "Mantenimiento. Su implementación y gestión". Editorial UNIVERSITAS. 2da Edición. Argentina. 347 p.

Anexos



Anexo No.1: Metodología del coeficiente de Kendall.

Para calcular el número de expertos se utilizó la distribución binomial de probabilidad siguiente:

$$M = \frac{p*(1-p)*k}{i^2}$$

Donde:

M: número necesarios de expertos.

p: proporción estimada de errores de los expertos.

k: constante asociada al nivel de confianza.

i: nivel de precisión deseado.

A continuación se muestran los valores correspondientes a P y K:

P (1 - δ)	K
0.90	2.6896
0.95	3.8416
0.99	6.6564

Para determinar si es o no confiable el juicio emitido por los expertos y para dar un orden de prioridad se utiliza el coeficiente de concordancia de Kendall.

Primera mente se realiza una ponderación de las necesidades otorgándole un valor del 1 a 10, asignándole 1 a la más importante y 10 al menos importante.

Con el resultado se procede a determinar la concordancia, para ello se utiliza siguiente expresión:

$$W = \frac{12 * \sum \Delta^2}{M^2 * (K^3 - K)}$$

Donde:

W: Coeficiente de concordancia de Kendall.

M: Número de expertos.

K: Número de prioridades o índice a evaluar.

Δ: Desviación del valor medio de los juicios emitidos. Valor que se determina a través de la expresión siguiente:

$$\Delta = \sum_{j=1}^m a_{ij} - \tau$$

Donde

a_{ij} : Juicio de importancia del índice i dado por el experto j .

τ : Número de observaciones en un grupo ligado por un rango dado

Para el cálculo de τ se utiliza la expresión:

$$\tau = 1/2 * M(K + 1)$$

W debe estar entre (0-1), hay autores que plantean que:

(1.00--0.5) es confiable,

(0.49--0.0) no es confiable.

Para validarlo estadísticamente se utilizó el estadígrafo X^2 , por ser la cantidad de elementos igual que 7. El estadígrafo X^2 se calcula de la siguiente manera:

$$X^2 = M(N-1)W$$

$X^2 \delta; n-1$

RC: $X^2 > X^2 \delta; n-1$

H_0 : No hay concordancia entre los expertos.

H_1 : Si hay concordancia entre los expertos.

Anexo 2 Tipos de bombas según ubicación

NU Operal	NUMERO DE EQUIPO	Tipo	NU IMB	MARCA	Modelo	No. Serie	CAP.	Altura	Vel. rpm	E	S	Tipo de Sello	RECAMBIOS	
													Coupling	Queto
PLANTA DE DESTILACION ATMOSFERICA														
P-101-A	Bomba de Reflujo a Tqpe	Centrifuga	1/2 534	Chesteron						2'	1"	S Mec		
P-101-B	Bomba de Reflujo a Tqpe	Centrifuga	1/2 1731	ITUR	INP50315	27599	305m ³ h	462 Ms	1730	3'	2'	S Mec 50mm	1 2308	1 3308A
P-102-A	Bomba de Produccion de Queso	Centrifuga		EBARA	5040 UCVWI		50gpm	70Fes	1750	2'	2'	S Mec 38mm	1 6309	1 6310
P-102-B	Bomba de Produccion de Queso	Centrifuga		EBARA	5040 UCVWI		50gpm	70Fes	1750	2'	2'	S Mec 38mm	1 6309	1 6310
P-103-A	Bomba de Agua para Enfriamiento	Centrifuga		Lee Hw										
MU4	Mid bomba de Enfriamiento	Centrifuga												
MU5	Mid bomba de Enfriamiento	Centrifuga												
P-105-A	Bomba de Inyector	Reciprocante			MI-4M	17	25m ³ h	20kgc		6'	4'	Emp	355x150x305	
P-105-B	Bomba de Inyector	Reciprocante			MI-4M	18	25m ³ h	20kgc		6'	4'	Emp	355x150x305	
P-106-A	Bomba de Combustible a Hornos (Fuera de Servicio)	Reciprocante		Nat. Transit		4526				2'	2'	Emp	5/4x31/2x5'	
P-106-B	Bomba de Combustible a Hornos	Reciprocante		Nat. Transit		4527				2'	2'	Emp	5/4x31/2x5'	
P-106-C	Bomba de Combustible a Hornos	Rolatoria		PRECISON	PQ150	EXM47987	30gpm	140Ms	1160	2'	2'	Emp		
P-106-D	Bomba auxiliar a Caceras	Rolatoria												
P-108-A	Bomba de la Trampa Central	Centrifuga	1/2 3217	Lee Hw						4'	3'			

P-108B	Bomba de la Trampa de Residuales	Centrifuga		ITUR	INP-150/250	388817	182 m³/h	30 Ms		10'	6'	S Mac	1 630	2 730
P-108C	Bomba de la Trampa de 45	Centrifuga		ITUR	INP-180/205		90 m³/h	23 Ms	1700					
P-109A	Bomba de Fondo de la Torre	Centrifuga		CHESTERION		11441 MI				3'	2'			
P-109B	Bomba de Fondo de la Torre	Reciprocante		DAVSON & LOWME		2265	120 gpm	60 psig				Emp	12X9/2X18	
P-109C	Bomba de Fondo de la Torre	Centrifuga		CHESTERION						3'	2'			
P-302	Bomba Dosificadora de Sosa Carbonato al Cub	Reciprocante		EKM	BAE 3225		.083 m³/h		99				30206, 6307	51102, 6006
P-303	Bomba Dosificadora de Sosa Carbonato al Cub (Corrosión)	Reciprocante		EKM	BAE 3225		.083 m³/h		99				30206, 6307	51102, 6006
P-305	Bomba Recircula Sosa en Línea			ITUR	INP 32/25	38834	6 m³/h	20 MS	340	2'	1'	S Mac 11/8	1 630Z	1 630Z

PLANTA DE DESTILACION AL VACIO

P-201A	Bomba del Fondo de Vácuo	Rotatoria		Arcor Pumps										
P-201B	Bomba del Fondo de Vácuo	Centrifuga		CHESTERION		11433 MI				3'	2'			
P-202A	Bomba de Reflujo a Torre de Vácuo	Centrifuga		CHESTERION		11087 MI				2'	1"			
P-202B	Bomba de Reflujo a Torre de Vácuo	Centrifuga		CHESTERION		11435 MI				2'	1"			
P-203A	Bomba de Fracciones de Aceite R-2yR-3	Centrifuga		CHESTERION		11427 MI				2'	1"			
P-203B	Bomba de Fracciones de Aceite R-2yR-4	Centrifuga		CHESTERION		11727 MI				3'	15'			
P-203C	Bomba de Fracciones de Aceite R-2yR-5	Centrifuga		CHESTERION		11724 MI				3'	15'			
P-204A	Bomba de Tratamiento de Gases	Centrifuga		Ingersoll Rand	20RVL		250 GPM	60	1750					
P-204B	Bomba de Tratamiento de Gases	Centrifuga		CHESTERION										
P-205B	Bomba de D-201	Centrifuga		CHESTERION		11723 MI				2'	1"			
P-205C	Bomba de D-201	Centrifuga		CHESTERION		11720 MI				2'	1"			

P20A	Bomba de Agua Perforamiento	Centrifuga		REIO	SAGUI		318 m³/h	80IMS		8'	6'			
P20B	Bomba de Agua Perforamiento	Centrifuga								8'	6'			
P20C	Bomba de Agua Perforamiento	Centrifuga								8'	6'			
P209	Bomba Lazo de Fuel	Centrifuga	1/2 159	EBARA					360					

OROS

P401A	Bomba de Vacío de Laboratorio	Reciprocante		Gilbarco		3729				2'	2'			
P401B	Bomba de Limpieza de Laboratorio	Centrifuga		VIDA									NO	NO
P412	Bomba de Searán	Centrifuga		LEE FLOW	3X3 4013	6743			360	3'	3'	SIMEE 118	NO	NO

PLANTA DE ACEITES

P501	Bomba de Agua para Refinadora	Centrifuga		HACC	N653570TB2	N13619	45 m³/h	42IMS	350	4'	3'		1 66412	1 66412
P502	Bomba de Agua para Refinadora	Centrifuga		HACC	N653570TB2	N13624	45 m³/h	42IMS	350	4'	3'		1 66412	1 66412
P503	Bomba de Agua para Refinadora	Centrifuga		HACC	N653570TB2	N13614	18 m³/h	185IMS	1700	4'	3'		1 66412	1 66412
P506	Bomba de Refinadora a Neutralizadoras	Centrifuga		REIO	BSA23035	397	60 m³/h	343Pa		6'	4'			
P507	Bomba de Neutralizadoras a Digestores	Centrifuga		ITUR	NL-80200B	572830	91 M³/h	14M	175					
P508	Bomba de Sosa y Agua Lavaca	Centrifuga		HACC	K20181-Z					2'	1.5'		2 62352451	
P509	Bomba de Sosa y Neutral. Gdron	Reciprocante			25 25010K4		250 L/h	10 Kg/cm		1.5'	1.5'		2 Rd.	1 C de B
P510	Bomba de Agua para Lavaca	Centrifuga			-200-320-T2	9'				6'	6'		1 6307	1 6307
P511	Bomba de Agua para Lavaca	Centrifuga			-200-320-T2					6'	6'		1 6307	1 6307
P512	Bomba de Agua para Aceites	Centrifuga			-200-320-T2					6'	6'		1 6307	1 6307
P513	Bomba de Agua para Aceites (Fuera de Servicio)	Centrifuga			-200-320-T2					6'	6'		1 6307	1 6307
P514	Bomba de Agua Resuales	Centrifuga		EBARA	50K40 CL/W1	R31045	30 GPM	57 PIES	1750	2'	1.5'	SIMEE	1 6309	1 6310

P607A	Bomba de Agua Caldera B607	Centrifuga															
P607B	Bomba de Agua Caldera B607	Centrifuga															
P607C	Bomba de Fuel Caldera B607	Rotatoria															
G602A	Compresor de Airep Familia Auxiliares				KIT6-T2	775667	53m3h	9Kg/cm2	850								
G602B	Compresor de Airep Familia Auxiliares				KIT6-T2	775667	53m3h	9Kg/cm2	850								
G602C	Compresor de Airep Familia Auxiliares			Worthington	RLR5000 EE2	6258866	342 m3h	10Bar									
G603A	Compresor de Aire p/Instrumentos			Hidrocare	ACE08sp1282	ACE08	551 L/seg	8Bar	1760								
P612	Bomba de Agua a Tratar	Centrifuga	1/2 5556	ITUR	NM480250B	5913942	90M3/H	23M	1760								
P613A	Bomba de Agua Tratada a Calderas	Centrifuga		ITUR	INP50125	387740	20m3h	10Ms	1760	3'	2'			1	330B		1" INDOB EC
P613B	Bomba de Agua Tratada a Calderas	Reciprocante		National Transit		45234				3'	4'	10X4X10					
P615	Bomba de Agua Usinera de Laboratorio	Centrifuga		VIDA	4	504	1.7L/seg	21 Ms		1"	12'	FEEN 20307		NO			NO
P616A	Bomba de Agua Varanapia	Centrifuga		ITUR	IN4802008	5720784	120M3/H	80M									
P616B	Bomba de Agua Varanapia	Centrifuga		ITUR	IN4802009		120M3/H	80M									
P617	Bomba de Agua Contra Incendios	Centrifuga		ITUR													
MD-14	Motobomba de Agua contra Incendios	Centrifuga															
OPERACIONES																	
P2104	Bomba de Comusidea IK8	Rotatoria		ITUR	RG3R	38820	50M3/H	41 MS	1775	3'	3'			4	620		
P228A	Bomba para Carga Asalto	Rotatoria		Borestan	V022-65	7194	75M3/H	1.6 Bar	1760	4'	4'						
P228B	Bomba para Carga Asalto	Rotatoria		Borestan	V022-65	7195	75M3/H	1.6 Bar	1760	4'	4'						

Anexo 3: Cálculo de tiempo Promedio entre Fallas y tasa de fallos (λ)

	Tiempo Promedio entre Fallos por meses											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Año 2013	0	0	0	3.72	7.4	2.36	2.8	7.56	5.86	0	2.38	3.29
Año 2014	0	1.90	4.5	0	2.5	0	0	0	0	4.8	3.0	0

	Tasa de Fallos (λ) por meses											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Año 2013	0	0	0	0.27	0.14	0.42	0.36	0.13	0.17	0	0.42	0.30
Año 2014	0	0.52	0.22	0	0.4	0	0	0	0	0.21	0.33	0

Anexo 4: Cálculo de la disponibilidad de las bombas

	Disponibilidad del equipo por meses											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Año 2013	0	0	0	46.67	62.50	88.88	92.22	1.6	79.16	0	93.33	74.72
Año 2014	0	84.82	81.54	0	90.47	0	0	0	0	79.16	91.96	95.43

Anexo 5: Cálculo de los costos de mantenimiento por facturación y por reposición

	Costos de Mantenimiento por facturación											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Año 2013	0	0	0	31.0	20.0	4.0	22.0	76.0	10.0	0	11.0	20.0
Año 2014	0	23.0	26.0	0	28.0	0	0	0	0	11.0	62.0	0

	Costos del Mantenimiento de reposición											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Año 2013	0	0	0	178.23	15.91	4.51	2.73	56.13	23.47	0	1.92	0.28
Año 2014	0	5.34	5.64	0	2.95	0	0	0	0	7.89	0.53	0