

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE BOLÍVAR
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO PARA REEMPLAZO DEL REFRIGERANTE E INCREMENTO DE LA CONFIABILIDAD DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE BUTANOS A BAJA TEMPERATURA DE LA UNIDAD DE DESHIDROGENACIÓN DE LA EMPRESA PRODUCTORA DE M.T.B.E. – ESTADO ANZOÁTEGUI.

TRABAJO FINAL DE GRADO PRESENTADO POR LA BACHILLER VERÓNICA ROSALES ARÉVALO, PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL

CIUDAD BOLÍVAR, AGOSTO 2010

HOJA DE APROBACIÓN

Este trabajo de grado intitulado “**Análisis Costo-Beneficio para reemplazo del refrigerante e incremento de la confiabilidad del Sistema de Recuperación de Butanos a Baja Temperatura de la Unidad de Deshidrogenación de la Empresa productora de M.T.B.E.-Estado Anzoátegui.**”, presentado por la bachiller: **Rosales Arévalo, Verónica**, ha sido aprobado de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente, por el jurado integrado por los profesores:

Nombres:

Firmas:

Profesora Marilín Arciniegas

(Asesor)

Profesor Dafnis Echeverría

Jefe del Departamento de Ingeniería Industrial

Ciudad Bolívar, Agosto de 2010.

DEDICATORIA

Quiero dedicar mi trabajo de grado a mi madre, Marisol Sandoval de Mora, ya que este logro ha sido posible gracias a tu orientación y el ejemplo que me has dado de luchar por lo que quiero y buscar la manera para cumplir mis metas, sin tí yo no hubiese podido llegar tan lejos. A mi madre Marisol Arévalo, porque lo más importante es el amor incondicional que siempre me has dado, quiero dedicarte este trabajo porque es fruto de todo mi esfuerzo y sacrificio, y quiero que con esto te sientas orgullosa de ver hasta donde he llegado por ahora.

A mi padre Carlos José Rosales, que aunque estés lejos de mí, sé que siempre has querido lo mejor para mí, y quiero que sepas que te quiero muchísimo y que siempre te tengo presente en mis pensamientos y en mi corazón, de tí aprendí muchas cosas que me han ayudado a realizar esta meta tan importante en mi vida.

A mis hermanos, Victoria y Jason, porque son parte de mí y los quiero muchísimo y quiero dedicarles este logro para darles el ejemplo de que un ser sin estudio es un ser incompleto, el conocimiento nos enriquece, a mi abuelo que ha sido como mi padre, Carlos Mora, a mis abuelos Carmencita y Sixto Rosales los adoro, a mis tías que son como mis hermanas, Endrina y Carla Mora, a toda mi familia, porque son lo más valioso que tengo en la vida. Héctor, gracias por apoyarme y estar conmigo cuando te necesito, te amo.

Verónica Rosales

AGRADECIMIENTO

A las ingenieras Dianella Lucietto y Yoanny Avilez, por darme la oportunidad de trabajar con ustedes y aportarme sus conocimientos, muchísimas gracias por orientarme y dedicarme una parte de su tiempo.

A la Profesora Marilín Arciniegas, por orientarme durante la realización de este proyecto, muchas gracias por atenderme siempre al instante, fue algo fundamental para mí y para el logro de mis objetivos.

A la Empresa SUPER OCTANOS, C.A., por darme la oportunidad de desarrollar mi trabajo en sus instalaciones, en las cuales pude poner en práctica los conocimientos teóricos de mi carrera.

A la Universidad de Oriente y a todos los profesores por haberme dado la capacidad y los conocimientos necesarios para desenvolverme exitosamente como Ingeniero Industrial, en especial le quiero agradecer al Profesor Luis Franco, porque sus palabras fueron muy valiosas para mí, gracias por incentivarnos a tomar riesgos, a cumplir con cualquier responsabilidad, y siempre a pensar en superarnos constantemente. A todas las personas que colaboraron para la realización de este proyecto. A todos MUCHAS GRACIAS.

Verónica Rosales

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo principal analizar el costo-beneficio para el reemplazo del refrigerante e incremento de la confiabilidad del Sistema de Recuperación de Butanos a Baja Temperatura (LTRS) de la unidad de deshidrogenación de la planta productora de Metil Terbutil Éter (MTBE) del estado Anzoátegui. Se tomó como población la unidad de deshidrogenación y como muestra el LTRS, debido al requerimiento de la empresa de realizar un estudio para reemplazar el refrigerante actual Freón R-22, ya que según gaceta oficial, decreto N° 4335, artículo 2, el R-22 saldrá del mercado a partir del año 2015 por sus efectos negativos sobre la capa de ozono. Se realizó un estudio costo-beneficio para seleccionar el refrigerante que mejor se adaptara al sistema, resultando R-507 y amoniaco, como opciones de reemplazo a corto y largo plazo, respectivamente. El amoniaco, aunque ofrece mayores beneficios, requiere una inversión considerablemente mayor según los indicadores de rentabilidad: valor presente neto y tasa interna de retorno. Adicionalmente, se analizó el historial de fallas del LTRS para determinar el equipo crítico del sistema con la finalidad de aplicar metodologías de confiabilidad que permitan mejorar el desempeño del mismo. El equipo 200-K-401 presentó la mayor frecuencia de fallas, principalmente, por deficiencia de lubricación. Se aplicaron las metodologías de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF) y árbol lógico de decisiones para proponer planes de mantenimiento efectivos que permitan disminuir la frecuencia de fallas del equipo, y así, incrementar la confiabilidad del sistema. Se estableció el principio de Pareto, el 20% de las acciones producirá el 80% de los efectos, para ello, se determinó el Nivel de Riesgo (RPN) por causa de falla, y se recomendaron acciones de mantenimiento para el primer 20% de las causas totales, ordenadas de mayor a menor, según el RPN.

CONTENIDO

HOJA DE APROBACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN.....	v
CONTENIDO	vi
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABLAS	x
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	3
SITUACIÓN A INVESTIGAR	3
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Objetivos de la investigación	6
1.2.1 Objetivo general	6
1.2.2 Objetivo específicos.....	6
1.3 Justificación.....	6
1.4 Alcance de la investigación.....	7
CAPÍTULO II	8
GENERALIDADES	8
2.1 Reseña histórica	8
2.2 Misión, visión, objetivos y políticas.....	9
2.2.1 Misión	9
2.2.2 Visión	10
2.2.3 Objetivos	10
2.2.4 Políticas de calidad de la empresa.....	10
2.3 Ubicación geográfica de la empresa	12
2.4 Descripción general de la planta	12
2.4.1 Área de proceso.....	13
2.4.2 Área de servicio.....	13
2.4.3 Área de almacenamiento	13

2.5 Estructura organizativa general.....	19
CAPÍTULO III.....	20
MARCO TEÓRICO.....	20
3.1 Antecedentes de la investigación	20
3.2 Bases teóricas	21
3.2.1 Mantenimiento	21
3.2.2 Análisis costo-beneficio.....	25
3.2.3 Confiabilidad.....	28
3.2.5 Definición de términos.....	46
CAPÍTULO IV.....	51
METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	51
4.1 Tipo de investigación	51
4.2 Diseño de la investigación	51
4.3 Población de la investigación.....	51
4.4 Muestra de la investigación.....	52
4.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	52
4.5.1 Revisión documental.....	52
4.5.2 Observación directa.....	53
4.5.3 Libreta de anotaciones.....	53
4.6 Técnicas de ingeniería industrial a utilizar.....	53
4.6.1 Análisis costo-beneficio.....	53
4.6.2 Análisis de confiabilidad.....	53
4.6.3 Diagrama de Pareto	54
4.6.4 Diagrama de Gantt	54
CAPÍTULO V.....	55
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	55
5.1 Diagnóstico de la situación actual del LTRS de la Unidad 200.....	55
A continuación, se presenta un diagnóstico de la situación actual del LTRS, en donde se describe el proceso de producción para la comprensión del sistema y de los equipos, se recolecta el historial de fallas de los últimos 5 años para cuantificar las paradas imprevistas del sistema y determinar los equipos que mayor impactan la operación del LTRS, y finalmente, calcular el total de	

pérdidas de dinero asociadas a las paradas imprevistas del sistema en el período mencionado.	55
5.1.1 Nomenclatura de los activos en Súper Octanos, C.A. (TAG).....	55
5.1.2 Descripción del proceso del LTRS	56
5.1.3 Análisis de la información histórica de las fallas, información operacional y datos técnicos de los componentes que conforman el LTRS.....	60
5.2 Evaluación de las ventajas y desventajas de los refrigerantes existentes en el mercado que no deterioran la capa de ozono	64
5.3 Determinación del nuevo refrigerante por medio del estudio costo-beneficio .	66
5.3.1 Parámetros para la evaluación técnica	67
5.3.2 Evaluación técnica de los refrigerantes.....	73
5.3.3 Evaluación económica de los refrigerantes propuestos	75
5.4 Análisis de modo y efecto de falla (AMEF) al equipo crítico del sistema	85
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	112
Conclusiones	112
Recomendaciones.....	114
REFERENCIAS	116
APÉNDICES.....	118
APÉNDICE A	118
Cálculos del valor presente neto para el R-507.....	118
APÉNDICE B	121
Cálculos del valor presente neto para el Amoniaco	121

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Ubicación geográfica de la empresa SUPER OCTANOS, C.A. (Google Earth, 2010).....	12
Figura 2.2 Vista parcial de las unidades de isomerización y desisobutanizadora.....	14
Figura 2.3 Vista parcial de la unidad de deshidrogenación.	15
Figura 2.4. Unidad de síntesis de MTBE.	16
Figura 2.5 Unidad de almacenamiento.....	18
Figura 2.6. Estructura organizacional de la empresa	19
Figura 3.1 Esquema del árbol lógico de decisión.	42
Figura 5.1 Diagrama de Pareto.....	110

LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1 Clasificación de la probabilidad de ocurrencia. (Nowlan y Heap, 1978).	35
Tabla 3.2 Clasificación de la consecuencia (gravedad). (Nowlan y Heap, 1978).	39
Tabla 3.3 Clasificación de probabilidad de detección. (Nowlan y Heap, 1978).	44
Tabla 5.1 Historial de falla del LTRS en el año 2006.	60
Tabla 5.2 Historial de fallas del LTRS en el año 2007.	61
Tabla 5.3 Historial de fallas del LTRS en el año 2008.	61
Tabla 5.4 Historial de fallas del LTRS en el año 2009.	62
Tabla 5.5 Historial de fallas del LTRS en el año 2010.	63
Tabla 5.6 Equipos que originaron parada del LTRS entre los años 2006 y 2010.	64
Tabla 5.7 Composición química de los posibles refrigerantes sustitutos del R-22.	65
Tabla 5.8 Compatibilidad de los refrigerantes con los tipos aceites en el sistema.	66
Tabla 5.9 Características de los refrigerantes existentes en el mercado.	68
Tabla 5.10 Puntuación según la importancia de cada criterio tomado en cuenta para la evaluación a realizar.	70
Tabla 5.11 Clasificación de la seguridad.	70
Tabla 5.12 Distribución del puntaje para la clasificación de la seguridad.	70
Tabla 5.13 Distribución del puntaje para la clasificación del impacto ambiental.	71
Tabla 5.14 Distribución del puntaje para la clasificación de la compatibilidad metalúrgica.	72
Tabla 5.15 Distribución del puntaje para la clasificación del desempeño.	72
Tabla 5.16 Distribución del puntaje para la clasificación de la disponibilidad en el mercado nacional.	73
Tabla 5.17 Evaluación técnica para los refrigerantes que no requieren reemplazo de metalurgia.	73
Tabla 5.18 Evaluación técnica para los refrigerantes que requieren reemplazo de metalurgia.	74
Tabla 5.19 Inversión R-507.	77
Tabla 5.20 Beneficio del R-507.	77
Tabla 5.21 Flujo de efectivo para la propuesta del R-507.	78
Tabla 5.22 Resultados del VPN del R-507 a diferentes tasas de interés.	79
Tabla 5.23 Pérdidas económicas en caso de parada del LTRS.	80

Tabla 5.24 Inversión Amoniaco.....	82
Tabla 5.25 Flujo de efectivo para la propuesta del Amoniaco.....	82
Tabla 5.26 Resultados del VPN del Amoniaco a diferentes tasas de interés.....	83
Tabla 5.27 Resumen del VPN y TIR.	84
Tabla 5.28 AMEF de proceso.	87

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se realizó un análisis costo-beneficio con la finalidad de seleccionar el refrigerante más atractivo para reemplazar el Freón R-22 del sistema de refrigeración del LTRS, ya que se estableció en el Protocolo de Montreal, que los refrigerantes hidroclorofluorocarbonos (HCFC) como el Freón R-22, deben salir del mercado para el año 2010, y eliminados completamente de los sistemas para el año 2015, por ser sustancias agotadoras de la capa de ozono. Este estudio es de gran importancia ya que si no se reemplaza el R-22 para la fecha establecida, la empresa podría ser sancionada por incumplimiento de la legislación, y se arriesgaría a la parada indefinida del LTRS por no disponer de R-22, lo que se traduce en considerables pérdidas económicas.

Adicionalmente, se realizó un análisis de confiabilidad al sistema de refrigeración basado en la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC) con la finalidad de mitigar las fallas del mismo.

Actualmente, la empresa Súper Octanos, C.A., está implantando un proyecto de gestión de activos basados en la confiabilidad, el cual les proporcionará las herramientas necesarias para un mejoramiento continuo en la operación y vida útil de los sistemas y equipos.

Este trabajo tiene como propósito, la selección del refrigerante que reemplazará al Freón R-22, además de aplicar metodologías de confiabilidad para minimizar las posibles fallas del sistema de refrigeración, por lo tanto, este estudio tiene gran importancia para la empresa al permitir minimizar el riesgo de parada imprevista del LTRS.

La presente investigación se estructura en cinco capítulos. En el capítulo I se presenta el planteamiento del problema, objetivos de la investigación, objetivos de la investigación, justificación y alcance de la investigación. El capítulo II, corresponde a la reseña histórica, generalidades, misión, visión y objetivos de la empresa Súper Octanos, C.A. En el capítulo III se exponen las bases teóricas de la investigación. La descripción de la metodología empleada para la recolección de la información será mostrada en el capítulo IV. En el capítulo V se plantea el Análisis e interpretación de la información. Por último, las conclusiones y recomendaciones de la investigación realizada, bibliografías consultadas y apéndices correspondientes al estudio.

CAPÍTULO I

SITUACIÓN A INVESTIGAR

1.1 Planteamiento del problema

El análisis de costo-beneficio es un proceso que involucra, ya sea explícita o implícitamente, un peso total de los gastos previstos en contra del total de los beneficios de una o más acciones con el fin de seleccionar la mejor opción o la más rentable.

El costo-beneficio es una lógica o razonamiento basado en el principio de obtener los mayores y mejores resultados al menor esfuerzo invertido, tanto por eficiencia técnica como por motivación humana. Se supone que todos los hechos y actos pueden evaluarse bajo esta lógica, aquellos dónde los beneficios superan el coste son exitosos, caso contrario fracasan.

La confiabilidad se puede definir como la probabilidad en que un activo realizará su función prevista sin incidentes por un período de tiempo especificado y bajo condiciones indicadas.

El mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC), es una de las metodologías con la finalidad de ayudar a las personas a determinar las políticas para mejorar el desempeño de los activos y manejar las consecuencias de sus fallas. Es una herramienta que permite ajustar las acciones de control de fallas (estrategias de preservación) al entorno operacional, está basada en un procedimiento sistemático que genera planes óptimos de mantenimiento, su mayor impacto se refleja en sistemas complejos con diversidad de modos de falla, permite detectar oportunidades de mejoras y solución de problemas a través de rediseños y otros análisis específicos.

La empresa Súper Octanos (SOCA) ubicada en el Complejo Petroquímico “José Antonio Anzoátegui” tiene una capacidad instalada de 550 MTMA de Metil Terbutil Éter (M.T.B.E), donde se procesan butanos y metanol como materia prima. Dentro de sus principales unidades de proceso se encuentra la unidad de deshidrogenación (U-200), la cual contiene el Sistema de Recuperación de Butanos a Baja Temperatura (LTRS), cuya función es enfriar una corriente de hidrocarburos con el refrigerante Freón R-22 para recuperar el 90 % de los butanos contenidos en esa corriente y retornarlos al sistema para su reprocesamiento como materia prima. Al pararse el LTRS, la corriente que alimenta a este sistema es enviada al mechurrio, por lo tanto, se queman los butanos contenidos en esta corriente. Por otra parte, también se disminuye la carga a la unidad de deshidrogenación en un 6 % para enviar menor cantidad de butanos al mechurrio, lo que se traduce en menor producción de MTBE.

Durante los últimos años la cantidad de paradas del LTRS se ha incrementado considerablemente, trayendo como consecuencia la no recuperación de butanos, lo que se traduce en pérdidas de dinero asociadas al incremento del consumo de materia prima para compensar los butanos enviados al mechurrio y disminución de la producción de MTBE.

Adicionalmente, de acuerdo a regulaciones ambientales implantadas en la Gaceta Oficial en el año 2006, se prohíbe el uso de Freón R-22 por ser una sustancia agotadora de la capa de ozono, cuyo decreto establece como fecha límite de aplicación el año 2015. Con la aplicación de este decreto, la empresa Súper Octanos se afectaría considerablemente al no disponer de Freón R-22 en el mercado, trayendo como consecuencia la parada indefinida del LTRS, lo cual impactaría la operación de la planta al requerir disminución de la producción de MTBE y el envío continuo de butanos al mechurrio.

De esta forma, surge la necesidad de realizar un estudio al LTRS para disminuir las paradas imprevistas del sistema, y por otra parte, seleccionar un refrigerante en el mercado para reemplazar al Freón R-22 del sistema de refrigeración con la finalidad de garantizar continuidad operativa del LTRS, para ello se aplicarán las metodologías de mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC) y análisis costo-beneficio, respectivamente.

Una vez planteado el problema, surgen las siguientes interrogantes:

- ¿Cuál es la situación actual del LTRS?.
- ¿Cuáles son los antecedentes de fallas del LTRS?.
- ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de los refrigerantes existentes en el mercado?.
- ¿Cuál sería la mejor opción de refrigerante a elegir según estudio costo-beneficio?.
- ¿Qué modelo puede proporcionar los posibles escenarios de fallas del sistema y como quedaría reflejado?.
- ¿Cuáles son los equipos críticos del LTRS?.

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Analizar el costo-beneficio para el reemplazo del Refrigerante e incremento de la confiabilidad del Sistema de Recuperación de Butanos a Baja Temperatura de la Unidad de Deshidrogenación de la Planta Productora de M.T.B.E, ubicada en Jose, Estado Anzoátegui.

1.2.2 Objetivo específicos

1. Diagnosticar la situación actual del LTRS de la Unidad 200.
2. Evaluar las ventajas y desventajas de los refrigerantes existentes en el mercado que no deterioran la capa de ozono.
3. Determinar por medio de un estudio costo-beneficio el refrigerante que mejor se adapte a los requerimientos ambientales y del sistema.
4. Analizar por medio de un análisis de modo y efecto de falla (AMEF) al equipo crítico del sistema.

1.3 Justificación

La parada del sistema de refrigeración con R-22, causa un gran impacto desde el punto de vista económico para la empresa, ya que al quedar fuera de servicio el LTRS se genera una pérdida de 1.195,46 U\$/h, principalmente, por el envío de la corriente de alimentación al mechurrio, cese de la producción de hidrógeno proveniente del LTRS e incremento en el consumo de gas combustible de Pequiven

para compensar la corriente de gas proveniente del LTRS que se deja de enviar hacia la red principal de gas combustible.

En la Gaceta Oficial N° 38392 publicada el 07 de Marzo del 2006, decreto N° 4335, en el artículo 2, se establece que para el año 2015 el consumo de R-22 deberá ser de 0 Kg, además de la prohibición de emisiones a la atmósfera. Esto conlleva a implantar una estrategia para sustituir el sistema R-22 por un paquete que cumpla con las regulaciones ambientales, ya que causa un grave problema para la comunidad y el medio ambiente.

Adicionalmente, con la realización de este tipo de investigación, el estudiante dará cumplimiento al último requisito establecido por la Universidad de Oriente para optar por el título de Ingeniero Industrial, además, la institución podrá corroborar el aprendizaje que obtuvo el estudiante durante el curso de su carrera, su creación profesional, capacidad de desenvolvimiento en el ámbito empresarial, aporte de sus conocimientos en pro de la mejora, innovación y desarrollo del sistema laboral y del país.

1.4 Alcance de la investigación

Este estudio abarca los equipos que conforman el sistema de recuperación de butanos a baja temperatura (LTRS) de la unidad de deshidrogenación de la planta productora de MTBE ubicada en Jose, estado Anzoátegui, cuya finalidad es proponer un refrigerante que no deteriore la capa de ozono para el reemplazo del Freón R-22 del sistema de refrigeración del LTRS e identificar los equipos críticos del LTRS que generan las fallas del sistema para sugerir actividades efectivas de mantenimiento y/o posibles modificaciones al arreglo de los equipos, a fin de incrementar la confiabilidad del sistema y disminuir los costos asociados a las paradas imprevistas del mismo.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES

2.1 Reseña histórica

Un paso fundamental para el desarrollo petroquímico del Oriente de Venezuela fue la constitución de Súper Octanos, C.A. el 24 de Marzo de 1.987 y posterior apertura en Marzo de 1.991 de la primera planta de Metil-Ter-Butil-Éter (MTBE) del país, una de las mayores de su tipo en el Hemisferio Occidental y en el Mundo, ubicada en el Complejo Petroquímico “José Antonio Anzoátegui” en Jose, Jurisdicción del municipio Bolívar del estado Anzoátegui, cuya capacidad de producción alcanza las 500 mil toneladas métricas anuales de MTBE, producto oxigenado no contaminante que se agrega a la gasolina para elevar su octanaje, en sustitución de aditivos como el tetraetilo de plomo.

Súper Octanos, C.A. es una empresa mixta constituida por ECOFUEL, subsidiaria de AGIP PETROLI, firma Italiana filial de ENTE NAZIONALE IDROCARBURI (ENI), y por PEQUIVEN, filial de Petróleos de Venezuela (PDVSA).

La alimentación o materia prima de la planta MTBE está formada por normal butano e isobutano, suministrados por la planta de Fraccionamiento de Gas, Jose, el Complejo Criogénico de Oriente de Corpoven. También forma parte de la alimentación una corriente de metanol de alta pureza, insumo que fue importado hasta 1994, año en el cual dos plantas de metanol, Metor y Supermetanol comenzaron sus actividades en el Complejo Petroquímico de Oriente.

La producción de MTBE se logra a través del proceso: Isomerización de normal butano (Unidad 110); Fraccionamiento de la mezcla normal butano/isobutano, proveniente de la unidad de Isomerización como producto. Se usa el isobutano de PDVSA Gas como reflujo de tope de la torre fraccionadora (Desisobutanizadora- Unidada 120); Deshidrogenación del isobutano (Unidad 200) proveniente de la unidad 120 (Desisobutanizadora), transformándolo en isobutileno, y por último la Síntesis de MTBE (Unidad 300).

2.2 Misión, visión, objetivos y políticas

2.2.1 Misión

La misión empresarial de Súper Octanos, C.A., es generar el mayor rendimiento económico posible a sus accionistas, lo cual implica:

1. La satisfacción cabal de sus clientes.
2. La óptima calidad de su producción industrial, de acuerdo a los más altos niveles de exigencia internacional.
3. El desempeño eficiente y productivo de su personal en la ejecución de las labores encomendadas.
4. El desarrollo profesional y personal de sus recursos humanos, así como una remuneración justa y competitiva por las labores que realizan.
5. Todo ello exige una excelencia organizacional y la calidad total en todos los procesos.

2.2.2 Visión

La visión representa el propósito Corporativo de la Dirección de cara al futuro y como proyecta su imagen hacia el cliente externo.

Súper Octanos, C.A. se proyecta como una empresa económicamente viable, rentable y estable en el tiempo, altamente competitiva internacionalmente por las ventajas comparativas de sus insumos industriales, merecedora de ser un proveedor seguro, confiable y preferido de su producción industrial.

2.2.3 Objetivos

El principal objetivo de Súper Octanos, C.A. es la producción de MTBE (Metil-Ter-Butil-Éter) para su comercialización.

Por otra parte, Súper Octanos, C.A. persigue mejorar las políticas para el desarrollo del Recurso Humano, esfuerzos aplicados en las distintas etapas del proceso de producción, lo cual garantiza que sus actividades tanto operativas como administrativas se realicen con un alto grado de productividad.

2.2.4 Políticas de calidad de la empresa

Es de vital importancia para Súper Octanos, C.A. enmarcar todas las actividades de la empresa dentro de la búsqueda continua de la excelencia en todas sus operaciones, con el propósito que sea reconocida internacionalmente por sus clientes como un proveedor de MTBE confiable, seguro, competitivo y por ende preferido.

En atención a ello, es Política de Súper Octanos, C.A.:

1. La calidad total es el principio que orienta todas las decisiones y operaciones empresariales e industriales.
2. La estrategia, los criterios, las técnicas e instrumentos para el mejoramiento iterativo de la calidad y búsqueda de la excelencia, penetren en todos los estratos jerárquicos de la organización.
3. La medida para el alcance de la calidad es el grado de aumento iterativo de la satisfacción de:

Los clientes internos, unidades organizacionales o individuales de la Empresa, que utilizan el trabajo o productos de otras unidades o personas para agregar valor a la cadena productiva hasta el cliente final.

Los clientes externos que consideran Súper Octanos, C.A., como proveedor preferido por la calidad y competitividad de su producción industrial y confiabilidad comercial de la Empresa.

La búsqueda de la excelencia organizacional y la calidad total, constituye la filosofía del trabajo de la Empresa. Ello exige de parte de todos los niveles de supervisión, la acción motivadora, la capacitación del personal a su cargo y servir de modelo para que toda la organización convierta esa política en la manera usual de trabajo.

El alcance individual y colectivo de altos índices de calidad y productividad es un componente básico que se asocia al crecimiento profesional y personal de todos los trabajadores de la Empresa, la cual distingue y premia el esfuerzo individual y/o colectivo en el alcance de las metas de calidad total.

2.3 Ubicación geográfica de la empresa

La empresa SUPER OCTANOS, CA., se encuentra ubicada en la autopista Barcelona - Jose, Estado Anzoátegui. (Figura 2.1).

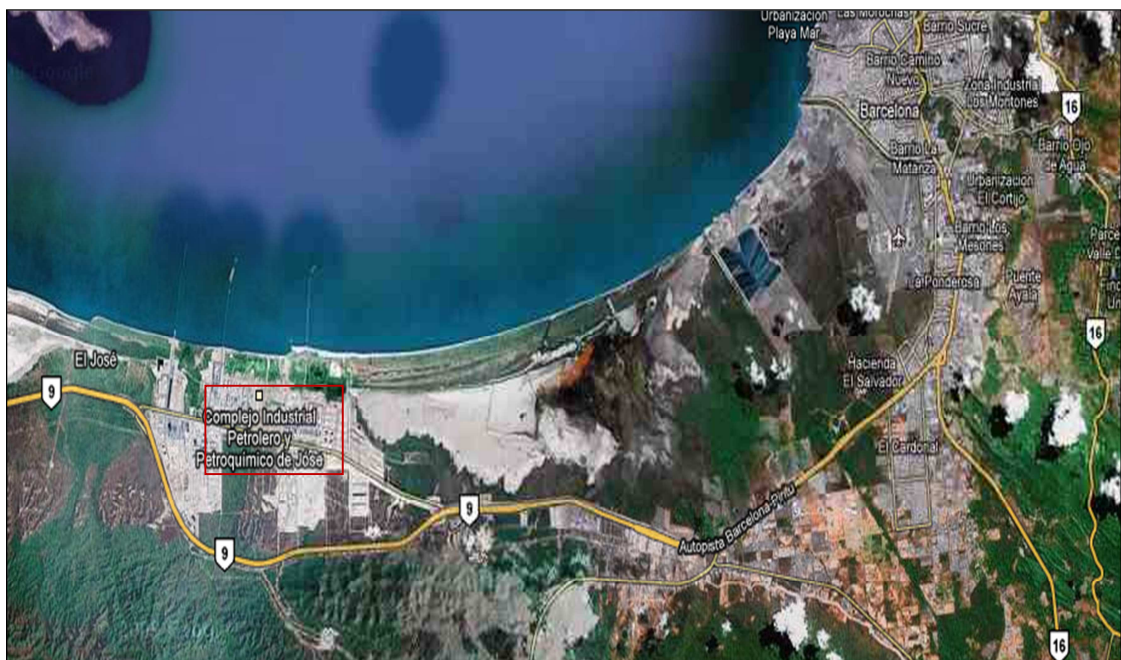


Figura 2.1 Ubicación geográfica de la empresa SUPER OCTANOS, C.A. (Google Earth, 2010).

2.4 Descripción general de la planta

La planta consta de cuatro unidades de procesos principales, una de servicios y una de almacenamiento, que se describen a continuación:

2.4.1 Área de proceso

Es el área donde la materia prima es procesada para obtener el producto final (MTBE o ISOOCTANO).

2.4.2 Área de servicio

Es el área donde se producen los insumos necesarios para operar todos los equipos de la planta.

2.4.3 Área de almacenamiento

En esta área se almacenan los productos finales así como también los productos de alimentación de la planta.

1. Isomerización de normal butano (unidad 110) y Desisobutanizadora (unidad 120): en esta planta, de licencia UOP, se convierte catalíticamente el normal butano, proveniente de las unidades de fraccionamiento de gas de PDVSA - GAS, en isobutano. Esta unidad está compuesta por dos reactores en serie, constituidos por un lecho fijo donde se produce la reacción en presencia de hidrógeno para impedir la formación de olefinas como intermediarios de la reacción, así como también se inyectan trazas de cloro orgánico, para promover la reacción con la formación de ácido clorhídrico.

En la unidad 120 se produce el fraccionamiento de la mezcla de normal butano/isobutano, proveniente de la unidad de isomerización como producto. En esta torre fraccionadora, el producto de isomerización (normal butano – isobutano) es separado, usando como reflujo el isobutano de PDVSA - GAS. Se obtiene isobutano de alta pureza por el tope, mezcla de normal butano e isobutano como corte lateral

que es enviada a la unidad 110, unidad de isomerización, y como producto de fondo pentanos y butanos. Para vista parcial de estas unidades. (Figura 2.2).



Figura 2.2 Vista parcial de las unidades de isomerización y desisobutanizadora.

2. Deshidrogenación de isobutano (unidad 200): en esta unidad se logra la conversión de isobutano en isobutileno, mediante un proceso de deshidrogenación, licencia ABB Lummus, usando un catalizador de cromo. El proceso se lleva a cabo en un rango de temperatura de 400 °C a 800 °C, una presión de 0,35 kg/cm² absoluta. Además de la reacción principal, la cual convierte isobutano en isobutileno, se producen reacciones laterales donde se forman hidrocarburos pesados y livianos así como depósitos de coque en el catalizador.

La reacción se produce en cuatro reactores de lecho fijo, los cuales operan en un ciclo de manera de lograr un flujo continuo de la corriente de producto. En un ciclo, la alimentación es deshidrogenada y luego el reactor es purgado con vapor e

inyectado con aire para quemar el coque depositado en el catalizador. Estos pasos son seguidos por la evacuación y reducción del reactor y luego la iniciación de otro ciclo.

La corriente que se obtiene de esta unidad contiene una concentración de isobutileno que oscila entre 47 y 50 % en peso. Esta planta maneja una carga combinada de 102 toneladas de hidrocarburos por hora. (Figura 2.3).



Figura 2.3 Vista parcial de la unidad de deshidrogenación.

3. Eterificación o síntesis del MTBE (unidad 300): en esta planta central, de licencia Snamprogetti, se produce una reacción entre la corriente de hidrocarburos que contiene el isobutileno y el metanol, para obtener MTBE. La reacción se lleva a cabo bajo condiciones de temperatura moderada con una resina de intercambio iónico

como catalizador, siendo la reacción exotérmica y bastante rápida, y la vida útil del catalizador es muy larga.

La unidad maneja una carga de 96 toneladas por hora de hidrocarburos, obteniéndose 47 toneladas de MTBE por hora, con una pureza de 99 % en peso. (Figura 2.4).



Figura 2.4. Unidad de síntesis de MTBE.

4. Unidad de Hidrogenación (U-400): ésta unidad hace la conversión de isoocteno a isooctano mediante un proceso de hidrogenación, licenciante Snamprogetti. Usa un catalizador 0.5 % Pd/Alumina Shepe D/UR (BASF). El proceso

se lleva en un rango de temperatura de 210-480 °C y presión de 29Kg/Cm² g, tiene reactores de lecho fijos.

5. Unidad de Servicios Industriales (U-700): como se mencionó anteriormente, esta unidad produce todos los servicios básicos necesarios para la continuidad operativa de todas las unidades de Planta.

Esta área está compuesta por las siguientes unidades:

Unidad 710: Sistema agua de enfriamiento.

Unidad 720: Sistema generación de vapor.

Unidad 730: Sistema mechorrio y venteo.

Unidad 740: Sistema aire de Instrumentos y servicios.

Unidad 750: Sistema de gas combustible.

Unidad 760: Sistema manejo de efluentes.

Unidad 770: Sistema agua desmineralizada.

Unidad 780: Sistema de nitrógeno.

Unidad 790: Sistema de aguas residuales.

6. Unidad de Almacenamiento: esta unidad está compuesta por dos esferas y cinco tanques, donde se almacenan tanto el producto final de la planta como las materias primas utilizadas en el proceso. (Figura 2.5).



Figura 2.5 Unidad de almacenamiento.

La planta cuenta con una sala de control computarizada, donde se recibe la totalidad de las señales del proceso y se controlan las variables de operaciones de la planta, a través de un sistema de control distribuido TDC-3000 de la empresa Honeywell. Así mismo, dispone de un laboratorio central, equipado con cromatógrafos líquido – líquido, líquido – gas, necesarios para conducir el monitoreo continuo de la calidad de todos los insumos, productos y subproductos de la planta. También se realizan análisis del agua desmineralizada, del agua de enfriamiento y de los efluentes de la planta.

2.5 Estructura organizativa general

A continuación, se presenta la forma en la que se encuentra estructurada la empresa Súper Octanos, C.A. (Figura 2.6).

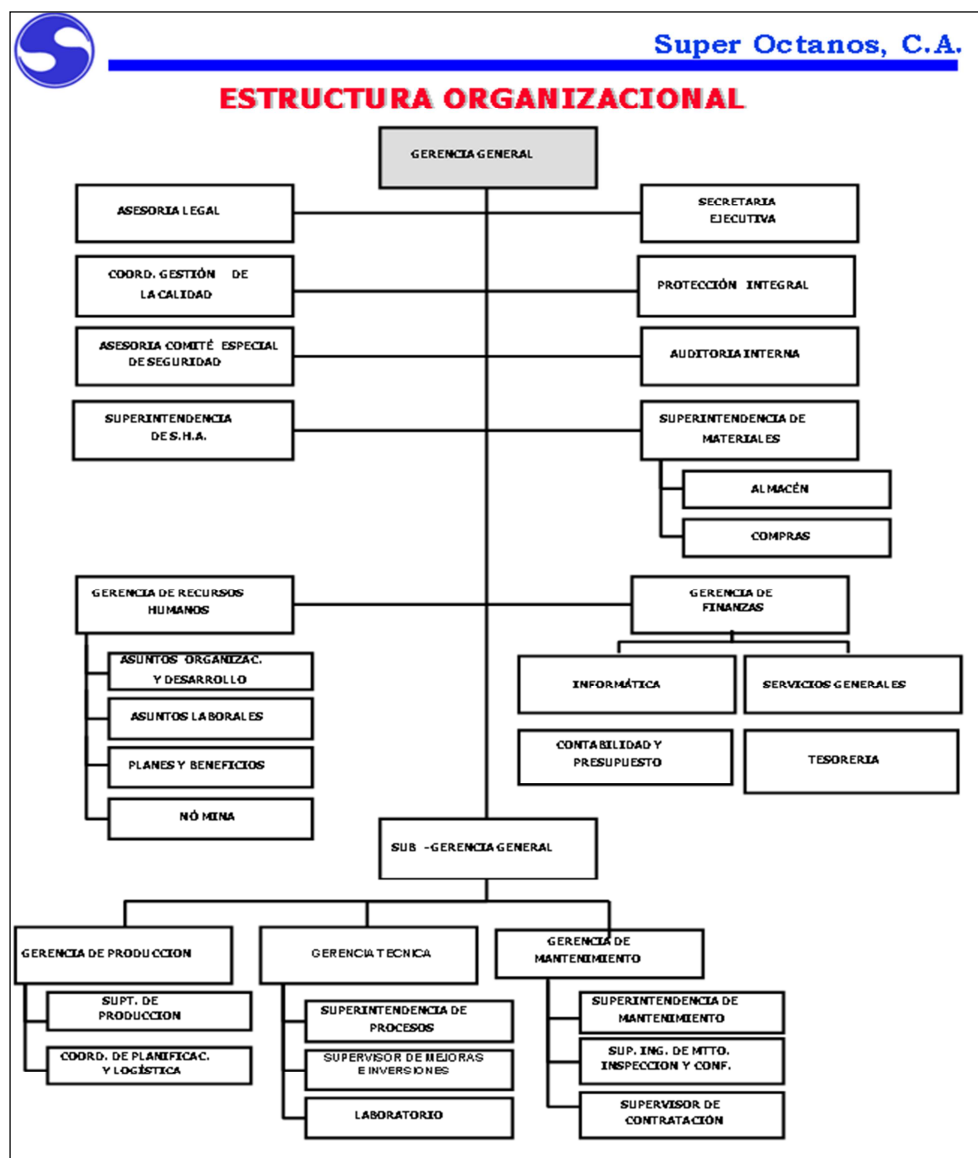


Figura 2.6. Estructura organizacional de la empresa

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes de la investigación

La investigación sobre los reemplazos del R-22 por el agotamiento de la capa de ozono es algo confusa, debido a que en el mercado hay diversas soluciones para un mismo problema, pero muchas de esas soluciones no han sido pensando en el sustituto adecuado para cada aplicación, si no con la finalidad de ofrecer un producto nuevo al mercado, esto dificulta un poco la investigación debido a las contradicciones existentes, pero que a fin de cuentas, han ayudado a aclarar las disyuntivas del trabajo.

1. Brooktherm. (2009). **THE BROOKTHERM 2010 REPLACEMENT PROGRAMME**. En este boletín de información, se confirma la situación actual del R-22 para luego establecer un programa de reemplazo, donde comparan las opciones disponibles para los sistemas con R-22.

2. Eckhoff Wolfgang. (2009). Flohr Felix, Puhl Christian, Selmer Kai. **R22-SUBSTITUTION – WHAT HAS TO BE CONSIDERED?**. En este artículo, establecen una comparación de todos los refrigerantes disponibles en el mercado que pueden sustituir al R-22, tomando en cuenta la compatibilidad con los materiales y equipos, eficiencia energética, capacidad de refrigeración, entre otros.

3. Gutiérrez, Fernando. (2009). **ARTÍCULO N° 22: DOS MENSAJES MEDIOAMBIENTALES**. En este artículo, el ingeniero expone dos aspectos de necesidades generales sobre el cambio del refrigerante R-22 y el control y minimización de fugas.

4. Santos, Antonio. (1992). **EL AMONIACO COMO REFRIGERANTE UN MÉTODO DEMOSTRADO**. Se compara el Amoniaco con los refrigerantes actuales en el mercado, demostrando que el Amoniaco es la mejor opción a la hora de sustituir cualquier refrigerante.

3.2 Bases teóricas

A continuación, se presentan una serie de conceptos generales para el fácil entendimiento de las técnicas a utilizar para el desarrollo de esta investigación e información sobre los componentes que posee la empresa.

3.2.1 Mantenimiento

Es un servicio que agrupa una serie de actividades cuya ejecución permite alcanzar un mayor grado de confiabilidad en los equipos, máquinas, construcciones civiles, instalaciones. (Ellman, E. 2008).

3.2.1.2 Objetivos del mantenimiento

1. Evitar, reducir, y en su caso, reparar las fallas sobre los activos.
2. Disminuir la gravedad de las fallas, que no se lleguen a evitar.
3. Evitar detenciones inútiles o paro de máquinas.
4. Evitar accidentes.
5. Evitar casi-accidentes y aumentar la seguridad para las personas.
6. Conservar los activos en condiciones seguras y preestablecidas de operación.
7. Balancear el costo de mantenimiento con el correspondiente al lucro cesante.
8. Alcanzar o prolongar la vida útil de los activos.

El mantenimiento adecuado, tiende a prolongar la vida útil de los activos, a obtener un rendimiento aceptable de los mismos durante más tiempo y a reducir el número de fallas.

Decimos que algo falla cuando deja de brindarnos el servicio que debía darnos o cuando aparecen efectos indeseables, según las especificaciones de diseño con las que fue construido o instalado el activo en cuestión.

3.2.1.3 Mantenimiento preventivo: la finalidad del mantenimiento preventivo es encontrar y corregir los problemas menores antes de que estos provoquen fallas. El mantenimiento preventivo puede ser definido como una lista completa de actividades, todas ellas realizadas por: usuarios, operadores, y mantenedores para asegurar el correcto funcionamiento de la planta, edificios, máquinas, equipos, vehículos, etc.

✓ Características del mantenimiento preventivo

1. Básicamente consiste en programar revisiones de los activos, apoyándose en el conocimiento de la máquina en base a la experiencia y los históricos obtenidos de las mismas.

2. Se confecciona un plan de mantenimiento para cada activo, donde se realizaran las acciones necesarias, engrasan, cambian correas, desmontaje, limpieza, etc.

✓ Ventajas del mantenimiento preventivo

1. Se hace correctamente, exige un conocimiento de los activos y un tratamiento de los históricos que ayudará en gran medida a controlar la maquinaria e instalaciones.

2. El cuidado periódico conlleva un estudio óptimo de conservación con la que es indispensable una aplicación eficaz para contribuir con un correcto sistema de calidad y a la mejora continua.

3. Reducción del mantenimiento correctivo representará una disminución de costos de producción y un aumento de la disponibilidad, esto hace posible una mejor planificación de los trabajos del departamento de mantenimiento, así como una previsión de los recambios o medios necesarios.

4. Se concreta de mutuo acuerdo el mejor momento para realizar el paro de las instalaciones con producción, para la intervención de los activos.

✓ Desventajas del mantenimiento preventivo

1. Representa una inversión inicial en infraestructura y mano de obra. El desarrollo de planes de mantenimiento se debe realizar por técnicos especializados.

2. Si no se hace un correcto análisis del nivel de mantenimiento preventivo, se puede sobrecargar el costo de mantenimiento sin mejoras sustanciales en la disponibilidad.

3. Los trabajos rutinarios cuando se prolongan en el tiempo produce falta de motivación en el personal, por lo que se deberán crear sistemas imaginativos para convertir un trabajo repetitivo en un trabajo que genere satisfacción y compromiso, la implicación de los operarios de preventivo es indispensable para el éxito del plan.

✓ Actividades básicas del mantenimiento preventivo: El objetivo de las actividades de mantenimiento que se aplican a los equipos de una instalación es mantener la funcionalidad de la misma.

Limpieza: Constituye la actividad más sencilla y eficaz para reducir desgastes, deterioros y roturas. Este trabajo se adjudica con frecuencia al operario, no se presta atención especial a las instrucciones, evidentemente es un error, porque todo trabajo necesita instrucciones. A veces, las máquinas son complicadas hasta el extremo que el operario le sería imposible limpiarla sin una pérdida considerable de tiempo, en este caso el mantenedor es el encargado de esta tarea.

Inspección: Se realizan para verificar el funcionamiento seguro, eficiente y rentable de los activos. La actividad de inspección no solo revela la condición de la máquina, sino que supone, la corrección y eliminación de circunstancias que pueden ser causa de averías o deterioro de la máquina. El sistema consiste en cinco (5) niveles de inspección diferentes, cada uno con su objetivo particular.

Nivel 1: Observación diaria: la lleva a cabo el operario, implica la observación del funcionamiento de la máquina, en su ciclo normal de trabajo comprobando todas sus funciones.

Nivel 2: Observación semanal: la realiza el encargado de lubricación durante la operación de la máquina. Incluye observaciones adicionales del aspecto y presión del aceite, el funcionamiento de los dispositivos de lubricación y las fugas de aceite.

Nivel 3: Inspección menor: lo realiza un empleado de mantenimiento especialmente entrenado, con buenos conocimientos de máquinas, herramientas y sistemas eléctricos e hidráulicos de control.

Nivel 4: Inspección general: requiere paro de máquina. Se comprueban: el nivel de la máquina, el juego del cojinete del eje principal, el paralelismo de la guía respecto a la línea de centro. También incluye ajuste de embragues y frenos, chavetas y cojinetes, cambio de piezas desgastadas, sustitución de correas, etc. Suele hacerse cada dos años, cada año o cada seis meses en dos turnos, según el tipo de máquina.

Nivel 5: Inspección de Control de Calidad: suele ser cada tres años, al instalar una máquina nueva o reconstruida o bien por solicitud. A veces, el departamento de producción lo solicita para máquina de precisión especial o puede que haya quejas o devoluciones por control de calidad del producto.

Lubricación: Un lubricante es toda sustancia que al ser introducida entre dos partes móviles, reduce el frotamiento, calentamiento y desgaste, debido a la formación de una capa resbalante entre ellas. La elección de lubricantes, su almacenamiento, su distribución y empleo en producción, el establecimiento de intervalos adecuados para las operaciones de lubricación y el registro y comprobación de la lubricación son responsabilidad del ingeniero de mantenimiento. La lubricación diaria y semanal corre a cargo del operario y por tanto la comprobación está a cargo de producción.

Ajuste: Es una consecuencia directa de la inspección, ya que es a través de ellas que se detectan las condiciones inadecuadas de los equipos y maquinarias evitándose así posibles fallas.

3.2.2 Análisis costo-beneficio

La técnica costo-beneficio tiene como objetivo fundamental proporcionar una medida de la rentabilidad de un proyecto, mediante la comparación de los costos

previstos con los beneficios esperados en la realización del mismo. (Morales, L. 2008).

Esta técnica es una herramienta fundamental para la toma de decisiones, ya que permite definir la confiabilidad de las alternativas planteadas o de un proyecto a ser desarrollado.

La utilidad de la técnica es la siguiente: para valorar la necesidad y oportunidad de la realización de un proyecto, para seleccionar la alternativa más beneficiosa de un proyecto, para estimar adecuadamente los recursos económicos necesarios, en el plazo de realización de un proyecto.

3.2.2.1 Valor presente neto (VPN): es el método más conocido a la hora de evaluar proyectos de inversión a largo plazo. El VPN permite determinar si una inversión cumple con el objetivo básico financiero: maximizar la inversión. El Valor Presente Neto permite determinar si dicha inversión puede incrementar o reducir el valor de las PyMES. Ese cambio en el valor estimado puede ser positivo, negativo o continuar igual. Si es positivo significa que el valor de la firma tendrá un incremento equivalente al monto del VPN. Si es negativo quiere decir que la firma reducirá su riqueza en el valor que arroje el VPN. Si el resultado del VPN es cero, la empresa no modificará el monto de su valor. Adicionalmente, se convierte en un mecanismo muy importante para la toma de decisiones a la hora de presentarse cambios en la tasa de interés. (Váquiro, J. 2010).

Es importante tener en cuenta que el valor del Valor Presente Neto depende de las siguientes variables: la inversión inicial previa, las inversiones durante la operación, los flujos netos de efectivo, la tasa de descuento y el número de períodos que dure el proyecto.

La fórmula para el cálculo del valor presente en cada año es la siguiente:

$$Vp_n = \frac{VF}{(1+i)^n} \quad (3.1)$$

Donde:

Vp= Valor presente.

Vf= Valor futuro.

i= Tasa de interés.

n= Año.

Seguidamente, para el cálculo del VPN se utiliza la siguiente fórmula:

$$VPN = - \text{Inv. } I_0 + Vp_1 + Vp_2 + Vp_3 + Vp_4 + Vp_n \dots \quad (3.2)$$

Donde:

Inv. I_0 = Inversión inicial.

Vp_n = Valores presentes.

3.2.2.2 Tasa interna de retorno (TIR): es la tasa que iguala el valor presente neto a cero. La tasa interna de retorno también es conocida como la tasa de rentabilidad producto de la reinversión de los flujos netos de efectivo dentro de la operación propia del negocio y se expresa en porcentaje. También es conocida como Tasa crítica de rentabilidad cuando se compara con la tasa mínima de rendimiento requerida (tasa de descuento) para un proyecto de inversión específico. (Váquiro, J. 2010).

La evaluación de los proyectos de inversión cuando se hace con base en la Tasa Interna de Retorno, toman como referencia la tasa de descuento. Si la Tasa Interna de Retorno es mayor que la tasa de descuento, el proyecto se debe aceptar pues estima un rendimiento mayor al mínimo requerido, siempre y cuando se reinviertan los flujos netos de efectivo. Por el contrario, si la Tasa Interna de Retorno es menor que la tasa de descuento, el proyecto se debe rechazar pues estima un rendimiento menor al mínimo requerido.

Para calcular la TIR, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{TIR} = \text{VPN} = 0 \quad (3.3)$$

3.2.3 Confiabilidad

Probabilidad de que un objeto puede realizar su función deseada durante un intervalo especificado, bajo las condiciones establecidas.

3.2.3.1 Mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC): Nowlan y Heap definieron el MCC como “Una disciplina lógica para desarrollar un programa de mantenimiento programado que toma en cuenta los niveles de confiabilidad inherentes de equipos complejos a un costo mínimo.” (Nowlan y Heap, 1978).

3.2.3.2 Metas del MCC

1. Asegurar la realización de la seguridad y confiabilidad inherentes del sistema y equipo.

2. Restaurar el equipo a sus niveles inherentes (funcionales) cuando se presenta el deterioro.

3. Obtener la información necesaria para las mejoras del diseño en donde se prueba que la confiabilidad inherente no es adecuada.

4. Lograr estas metas a un costo de ciclo de vida total mínimo. (Nowlan y Heap, 1978).

3.2.3.3 Principios del MCC

1. Orientado hacia las funciones.
2. Enfocado en el sistema.
3. Centrado en la confiabilidad
4. Reconoce los límites del diseño.
5. Controlado por la seguridad y la economía.
6. Define la falla.
7. Usa el árbol lógico de decisión.
8. Las tareas se deben aplicar.
9. Las tareas deben ser efectivas.

10. Tareas de mantenimiento: con base en tiempos o ciclos y con base en condiciones.

11. Sistema siempre vivo. (Nowlan y Heap, 1978).

3.2.3.4 Análisis MCC: siete preguntas.

1 ¿Cuáles son las funciones y estándares de desempeño asociados con este contexto de operación?.

2 ¿De qué formas el activo no cumple con su función?.

3 ¿Qué provoca cada una de las fallas funcionales?.

4 ¿Qué pasa cuando se presenta la falla?.

5 ¿En qué forma cada una de las fallas importa?.

6 ¿Qué se puede hacer para predecir o prevenir cada falla?.

7 ¿Qué se debe hacer si no se puede encontrar una tarea de mantenimiento adecuada?.

Antes de hacer las siete preguntas, se necesita realizar un paso preliminar. La metodología MCC utiliza un enfoque de sistemas. En lugar de tratar a las máquinas como objetos independientes, el MCC analiza el sistema como una unidad de funcionamiento con elementos que interactúan entre sí. El paso preliminar es el

proceso de identificación de los sistemas, o agrupamiento necesario para asegurar que se entienda por completo la pérdida de función.

Virtualmente, cualquier planta, instalación, sistema, línea de proceso o activo físico, se puede definir de una manera en donde se pueden identificar los datos de entrada, datos de salida, recursos y restricciones. Se puede utilizar un enfoque de arriba hacia abajo o viceversa, para construir los sistemas ligados. De esta manera, los procesos complejos se pueden desglosar en sub-sistemas interconectados. De la misma forma, los activos físicos se pueden incorporar dentro de un sistema. El límite por lo regular se basa en un proceso en donde un dato de entrada se ingresa, lo que da como resultado un dato de salida. Los rubros opcionales que se utilizan en el proceso pueden ser recursos consumidos en el proceso y restricciones o condiciones relacionados con el proceso.

A menudo los límites se establecen en los puntos de una brida de tubería o una conexión eléctrica y puede incluir los circuitos de control, ciclos de retroalimentación o circuitos de seguridad. Sin embargo, el límite no se necesita limitar a un área física definida. Por ejemplo, un sistema de enfriamiento se puede ligar a una brida de descarga del condensador (la entrada al sistema de enfriamiento) y la válvula de descarga de la línea de retorno de agua de enfriamiento. Los activos físicos están dentro de este sistema que se pueden localizar en un área de proceso, a través de puntos de conexión múltiples, y en una torre de enfriamiento. La entrada al sistema no es líquido caliente; la salida del sistema es líquido enfriado. Los recursos relacionados con el sistema podrían incluir el medio de enfriamiento, energía para mover el líquido o para forzar el enfriamiento, sistemas de control, etc. Las restricciones pueden ser las temperaturas ambientales y las condiciones de producción. Las etiquetas de entrada, salida, recurso y restricción simplemente se utilizan para entender que se incluye en este sistema agrupado y que se necesitará

analizar fuera del sistema agrupado. Es más importante que se identifique un elemento y no tan importante si está etiquetado, por ejemplo, como entrada y fuente.

Se pueden identificar fuentes de información múltiples para ayudar a construir el límite del sistema. Las fuentes incluyen diagramas de bloque funcionales, manuales de operación del sistema y el equipo, procedimientos o manuales de operación y diagramas de cómo se construyeron.

✓ Pregunta # 1: ¿Cuáles son las funciones y estándares de desempeño asociados con este contexto de operación?.

Estándares de funciones y desempeño asociado: la identificación y funciones del sistema de documentación son un pre-requisito crítico para identificar las fallas, modos de falla y poder desarrollar estrategias de mantenimiento efectivas. La función y la falla son las dos caras de la misma moneda. Un planteamiento sobre la falla no tiene sentido si no se entiende y cuantifica cuál es la función del sistema o de la máquina. La función de un objeto se puede cuantificar de varias formas como la cantidad de material en el objeto o sus parámetros de desempeño. Por ejemplo, la tubería tendrá un espesor de pared inicial; una bomba tendrá una presión de descarga especificada; y un motor tendrá un valor de resistencia de aislamiento. Una vez que se entiende cuál es la función, no solo quedarán claras las condiciones de la falla, si no también, se pueden establecer las condiciones de degradación que llevan a una tendencia hacia la falla.

Sin embargo, no quiere decir que es trivial definir la función (es). Veamos el caso de una tubería a más detalle. Una de las funciones que puede parecer obvia es que la tubería es un conducto que permite el movimiento de un líquido de un lugar hacia otro. Otras funciones menos obvias y estándares de desempeño menos obvios incluyen, la contención de un líquido dentro de un rango de presión especificado,

mover un volumen específico, y resistir los cambios térmicos. Así que, aunque a simple vista una tubería pudiese parecer completamente funcional porque el líquido sigue fluyendo, es posible que haya fallado si está parcialmente bloqueada con desperdicios, o la acumulación de incrustaciones y ya no puede mover el volumen requerido. Es posible que también tenga una falla potencial si la corrosión o la erosión ha adelgazado la pared de la tubería; la tubería podría fallar si se presenta una fluctuación de la presión.

1. Funciones primarias: son los motivos básicos por las que se adquirió e instaló el sistema.

2. Funciones secundarias: las que respaldan la función primaria, son menos obvias, pero aun así, puede tener consecuencias de falla muy serias y se deben comprender.

✓ Pregunta # 2: ¿De qué formas el activo no cumple con su función?.

Falla funcional: es la interrupción del funcionamiento o desempeño adecuado, el incumplimiento del desempeño de lo que se solicita o se espera, o la incapacidad de cumplir con un estándar.

Falla oculta: la falla no es evidente para el usuario u operador de un sistema o máquina en condiciones normales.

Falla potencial: condición de degradación del material que indica una falla futura.

✓ Pregunta # 3: ¿Qué provoca cada una de las fallas funcionales?.

Modo de falla: la falla ya se ha definido como la interrupción del funcionamiento o desempeño adecuado. El modo de falla es la forma en que se puede presentar la falla. Por ejemplo, se detuvo el motor, esa es la falla. El rodamiento se engarrotó es el modo de falla. Por cada falla hay por lo menos un modo de falla y por lo regular hay modos de falla múltiples. En algunos casos hay un modo de falla dominante.

El desarrollo y el entendimiento de los modos de falla son críticos ya que todas las actividades de mantenimiento se seleccionan para solucionar el modo de falla.

Al identificar el modo de falla primero identifique el componente o enuncie la falla. Después, utilice la frase “debido a” y enuncie la forma en qué falló. Esto ayuda a enfocar o aclarar qué ha fallado y cómo.

Análisis de falla – Modos de falla conocidos y potenciales: el análisis de falla debe considerar tanto los modos de falla conocidos, como los modos de falla potenciales. Los modos de falla conocidos a menudo se entienden en el equipo industrial. La información sobre los modos de falla conocidos se puede encontrar en los registros de mantenimiento y en publicaciones industriales. Los modos de falla potenciales son aquellos eventos que todavía no se presentan, pero con base en un entendimiento del diseño y operación, ha determinado que se puede presentar una falla.

Probabilidad de que ocurra (ocurrencia): tanto para los modos de falla conocidos como potenciales, solo se deben analizar esos modos de falla considerados como responsables de la probabilidad de que ocurra. La probabilidad de falla razonable es un término bastante vago, por tanto se debe aplicar un buen juicio de cuántos modos de falla se debe analizar.

Esta sub-sección, contiene diversos lineamientos para cuantificar la probabilidad de que ocurra. La tabla 3.1 que se presenta a continuación está adaptada para la industria automotriz, e identifica 10 categorías de probabilidad de que ocurra.

Tabla 3.1 Clasificación de la probabilidad de ocurrencia. (Nowlan y Heap, 1978).

Clasificación		Probabilidad Relativa de Ocurrencia
10	Muy alta	Índice de falla muy alto. Casi seguro que va a provocar problemas
9	De alta a muy alta	Índice de falla de alto a muy alto. Altamente probable que provoque problemas
8	Alta	Índice alto de falla. Similar al diseño pasado, ha tenido en el pasado índices de falla muy altos que han provocado problemas.
7	Moderada a Alta	Índice de falla de moderada a alto. . Similar al diseño pasado, ha tenido en el pasado índices de falla muy altos que han provocado problemas.
6	Moderada	Índices de falla moderada. Similar al diseño pasado que, en el pasado, ha tenido índices de falla moderados para ciertos volúmenes.
5	Ocasional a moderada	Índices de falla de ocasionales a moderadas. Similar al diseño pasado que, en el pasado, ha tenido índices de falla moderados para cierto volumen.
4	Ocasional	Índices de falla ocasional. Similar al diseño pasado que, en el pasado, ha tenido índices de falla similares para cierto volumen.
3	Bajo	Índice de falla bajo. Similar al diseño pasado que ha tenido, en el pasado, índices de falla bajos para cierto volumen
2	Muy bajo	Índice de falla muy bajo. Similar al diseño pasado que ha tenido, en el pasado, índices de falla muy bajos para cierto volumen
1	Remota	Probabilidad remota de ocurrencia; poco probable que se presente una falla.

Análisis de modo y efectos de falla (AMEF): es una tabulación de los objetos del equipo de una instalación, sus modos de falla potenciales y los efectos de estas fallas en el equipo o en las instalaciones. El modo de falla es simplemente una

descripción de lo que provocó que fallara el equipo. El efecto es el accidente, consecuencia o respuesta del sistema ante la falla.

El AMEF identifica los modos de falla únicos que pueden provocar o contribuir a la causa de un accidente. El AMEF no es útil en la identificación de combinación de fallas que puedan llevar a los accidentes. Se puede utilizar junto con otras técnicas de identificación de peligros tales como el HAZOP (Hazard and Operability Study) para investigaciones especiales tales como sistemas críticos o sistemas de instrumentación complejos.

El propósito de un AMEF es identificar los modos de falla del equipo y el efecto de cada uno de los modos de falla en el sistema del proceso. En la fase de diseño, el AMEF se puede utilizar para identificar la necesidad de sistemas de protección adicionales o redundancia. Durante las modificaciones de la instalación, se puede utilizar para identificar los efectos de las modificaciones en campo al equipo existente. El AMEF también es útil durante la operación para identificar fallas únicas que pueden dar como resultado en accidentes importantes.

- ✓ Pregunta # 4: ¿Qué pasa cuando se presenta la falla?.

Efectos de la falla: los efectos y consecuencias de la falla están muy relacionados (en algunas ocasiones los términos se utilizan de forma intercambiable). Ayuda a pensar en los efectos como un resultado directo del modo de falla (impacto en el equipo) y en las consecuencias como el resultado de un factor de seguridad/ambiental o económico (impacto en la planta).

Falla oculta: es una falla que no es evidente para los operadores o para otras personas en el área y es de preocupación especial. Esta falla nunca tiene una consecuencia directa (si tuviese una consecuencia directa no sería oculta). Sin

embargo cuando se presenta un segundo evento que necesita la función, entonces la falla oculta se vuelve evidente. La falla oculta merece una preocupación especial porque a menudo se relaciona con la seguridad, sistemas de alarmas o controles o de indicación (aunque seguramente no se limita a estas funciones). Por ejemplo, ha fallado una válvula de liberación de presión del sistema de presión. ¿Cómo lo puedo saber? La única forma de estar seguros que la válvula funciona es retirarla y probarla.

- ✓ Pregunta # 5: ¿En qué forma cada una de las fallas importa?.

Consecuencias de la falla

1. Consecuencias de seguridad, salud y ambiente: al evaluar las consecuencias de la falla, primero analice las consecuencias de seguridad, salud y ambiente. Afortunadamente para el personal de mantenimiento y operación, la identificación de riesgos potenciales de la falla en términos de seguridad, salud y ambiente se deben identificar en la fase de diseño y el diseño final debe incorporar las características que reduzcan la probabilidad de que se presente dicha falla. Infortunadamente, el diseño puede incluir características que requieran una acción de mantenimiento para reducir la probabilidad de que falle. Y a menudo, la característica puede tener un modo de falla oculto. Por estos motivos, es útil re-visitar las técnicas que utilizan los diseñadores para identificar y cuantificar los riesgos de seguridad, ambiente y salud. Hay dos rubros que normalmente son dos indicadores clave de riesgo potencial para la seguridad, salud y ambiente del personal. Busque:

Energía almacenada.

Material tóxico.

2. Consecuencias económicas: Después de identificar los riesgos de la falla en relación con la seguridad, salud y ambiente, se identifican todos los demás riesgos de

fallas mediante el uso de términos económicos. Es altamente probable que los modos de falla relacionados con la seguridad salud y ambiente, también tengan una consecuencia económica. Los factores económicos que se deben considerar en el proceso del análisis de consecuencias MCC incluyen:

3. Costo por la pérdida de funciones: evaluar el costo de perder la función incluye el paro de la producción, cantidad y calidad de la producción. La pérdida de los costos de la función a menudo se pasa por alto, pero a menudo es el costo más importante. La pérdida de la función podría resultar en la incapacidad de cumplir con las expectativas del cliente con la pérdida asociada del ingreso actual y futura. La reducción en la calidad de la producción dará como resultado en los costos de re-trabajo o pérdidas completas del producto. La pérdida de producción requiere costos para recuperarse del paro (por ejemplo, salarios por tiempo extra para cumplir con las demás demandas de producción). Cada sistema dentro de una organización industrial o servicios tiene una función con cierta relación para lograr el éxito de esa organización. Se debe enfocar en el costo para la organización cuándo se pierde la función.

4. Costo de reparación: considere las partes, material y mano de obra necesaria para restaurar la función. Adicionalmente considere los costos de las primas para los contratistas externos y equipo ya sea para realizar o facilitar la reparación.

5. Daño colateral: ¿existe el potencial de sistemas de daño no relacionados o equipo cuando se da la falla? Por ejemplo, si se rompe una línea de agua en una sala de control eléctrica se va a dañar e incurrir en más pérdidas funcionales?.

6. Litigio o sanciones: ¿la organización violará un contrato o una ley u ordenanza si se presenta una falla? Estos acontecimientos pueden dar como resultado en una sanción financiera. En casos extremos puede haber sanciones penales.

7. Cuantificación de las consecuencias de la falla: es similar a la clasificación de la falla, es posible proporcionar una clasificación de la cuantificación de las consecuencias de la falla.

Un método para clasificar los sistemas, adaptado de la industria automotriz e identifica 10 categorías de la consecuencia (o gravedad) se muestra en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Clasificación de la consecuencia (gravedad). (Nowlan y Heap, 1978).

Clasificación		Consecuencia (Gravedad) Comentarios
10	Peligro	Problema potencial de Seguridad, Salud o Ambiente. La falla se presentará sin advertencia.
9	Peligro	Problema potencial de Seguridad, Salud o Ambiente. La falla se presentará con advertencia.
8	Muy alto	Una interrupción muy alta en la función de la instalación. Se pierde toda la producción. Retraso significativo en la restauración de la función.
7	Alto	Una interrupción muy alta en la función de la instalación. Se pierde parte la producción. Retraso significativo en la restauración de la función.
6	Moderado a alto	Interrupción moderada de la función de la instalación. Se pierde parte la producción. Hay un retraso moderado en la restauración de la función.
5	Moderado	Interrupción moderada de la función de la instalación. 100% la producción es posible que se necesite re-trabajar o se retrasa el proceso.
4	Bajo a moderado	Interrupción moderada de la función de la instalación. Parte de la producción es posible que se necesite re-trabajarse o se retrasa el proceso.
3	Bajo	Interrupción menor de la función de la instalación. Es posible que la reparación de la falla sea más prolongada, pero no retrasa la producción.
2	Muy bajo	Interrupción menor de la función de la instalación. La reparación de la falla se puede hacer durante una llamada telefónica para solucionar el problema.
1	Ninguno	No hay motivo para esperar que la falla tenga algún efecto sobre la seguridad, salud, ambiente o producción.

- ✓ Pregunta # 6: ¿Qué se puede hacer para predecir o prevenir cada falla?.

Selección de las tareas de mantenimiento: las tareas de mantenimiento recaen dentro de una de las dos categorías. Acciones de mantenimiento con base en tiempo o ciclos. Una tercera estrategia se puede describir de mejor forma como no acción de mantenimiento. Esta es la estrategia que permite a las máquinas correr hasta la falla.

1. Con base en tiempo o ciclos: Las tareas tradicionales tales como la lubricación, desecho aquellas acciones tales como el reemplazo de un filtro y la restauración de objetos desgastados. De forma conjunta, a estos rubros normalmente se les llama Mantenimiento Preventivo (PM).

Prueba e inspección, se hace para encontrar las fallas ocultas.

Monitoreo de Condiciones, se realiza para identificar y cuantificar la condición del material.

2. Con base en condiciones: Acciones de mantenimiento de reparación que se llevan a cabo como resultado del monitoreo de condiciones o pruebas e inspecciones.

El término con base a condiciones, quiere decir, inspección programada con el fin de detectar fallas potenciales.

Un diagrama de decisiones lógicas MCC proporciona un modelo para seleccionar las tareas de mantenimiento adecuadas como se muestra en la figura 3.1.

Monitoreo de condiciones: es el monitoreo continuo o periódico y el diagnóstico del equipo y componentes para poder predecir las fallas. Un elemento clave del MCC es el entendimiento de que el mantenimiento con base en ciclos o tiempo en algunas ocasiones no es el más efectivo, puede introducir problemas dentro

de máquinas por decirlo así saludables, o en casos extremos, dar como resultado en una revisión o reemplazo prematuro.

Probabilidad de detección: la detección de la falla es más que observar el no-desempeño. Claramente el uso del monitoreo de condiciones debe proporcionar cierta visión sobre las condiciones del material en degradación. De la misma forma, algunas condiciones de falla no serán de inmediato aparentes.

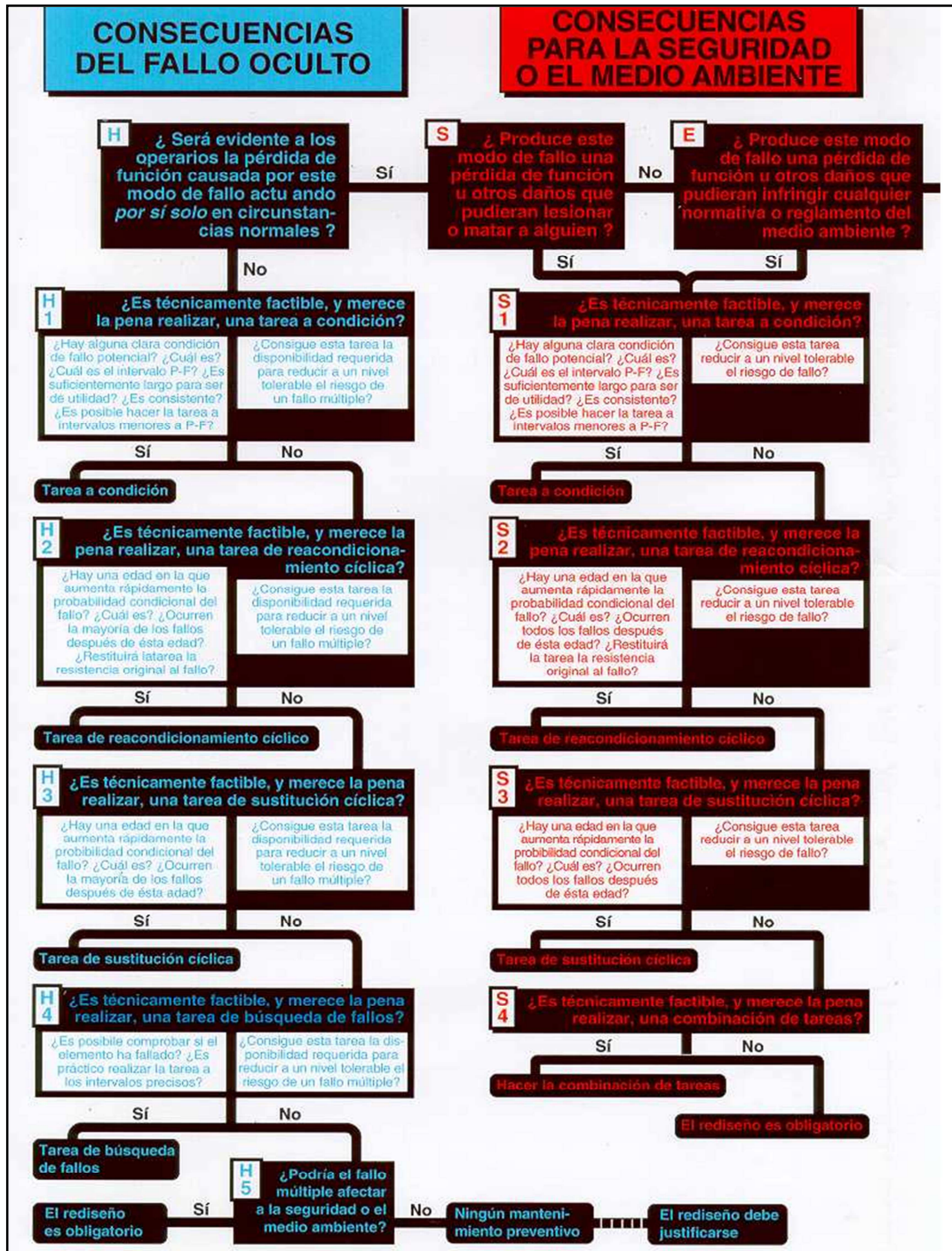
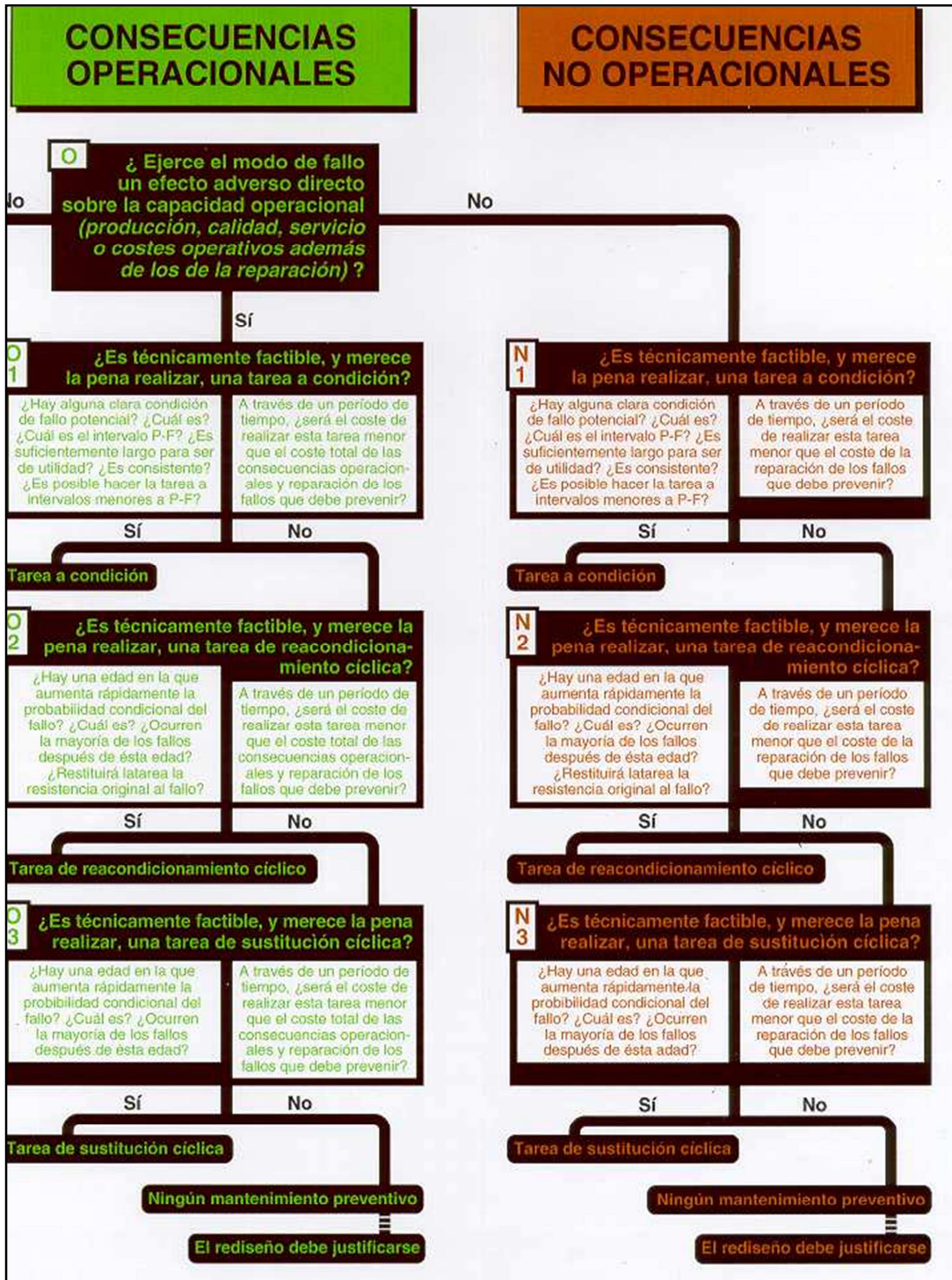


Figura 3.1 Esquema del árbol lógico de decisión.

Continuación Figura 3.1.



La tabla de clasificación de probabilidad de detección proporciona un ejemplo de cómo cuantificar la detección. La cuantificación de la detección se vuelve importante al evaluar la efectividad de la tarea de mantenimiento. (Tabla 3.3).

Tabla 3.3 Clasificación de probabilidad de detección. (Nowlan y Heap, 1978).

Clasificación		Probabilidad de detección
10	Muy baja	Falla oculta: falla que no es detectable sin una prueba o inspección especial. El inicio de la falla no se puede detectar.
9	Baja	No es posible identificar la falla a través de una actividad rutinaria. El inicio de la falla no se puede detectar.
8	Baja	Es probable que la falla se pueda identificar a través de una actividad rutinaria. El inicio de la falla no se puede detectar.
7	Moderada	El inicio de la falla se puede detectar con una anticipación de por lo menos 2 días.
6	Moderada	El inicio de la falla se puede detectar con una anticipación de 2 a 6 días.
5	Moderada	El inicio de la falla se detecta con una anticipación de 7 a 14 días.
4	Alta	El inicio de la falla es detectable con una anticipación de 15 a 30 días.
3	Alta	El inicio de la falla se puede detectar con una anticipación de 1 a 3 meses.
2	Muy alta	El inicio de la falla se puede detectar con una anticipación de 3 a 6 meses.
1	Muy alta	El inicio de la falla se puede detectar con una anticipación mayor a 6 meses.

Evaluación de la efectividad de las tareas de mantenimiento: una herramienta útil para evaluar las tareas de mantenimiento potenciales es el Número de Prioridad de Riesgo (RPN, por sus siglas en inglés). El RPN es el producto matemático de las tres tablas de clasificación antes presentadas:

1. Probabilidad de ocurrencia.

2. Consecuencias (Gravedad) de la falla.
3. Probabilidad de detección.

Al estimar el RPN antes de realizar el análisis MCC y después al recalcularlo el RPN después del análisis, podrá cuantificar su expectativa de cambio. Esta no es la única herramienta que utilizará. Necesitará determinar si la tarea es aplicable y efectiva y necesitará evaluar la efectividad general de sus cambios.

Aplicable y efectivo: las tareas de mantenimiento aplicables son aquellas actividades que reducirán la probabilidad de falla, identificarán el inicio de la falla o descubrirán la falla oculta. La selección de las tareas aplicables se basa en el mecanismo de falla. Por ejemplo, si se conoce que un dispositivo tiene una característica de falla relacionada con la antigüedad, entonces una tarea aplicable puede ser aquella que reemplace el dispositivo antes de la falla esperada. Puede haber muchas estrategias que se aplican a cualquier modo de falla. Una tarea de mantenimiento debe ser tanto aplicable como efectiva.

Las tareas de mantenimiento efectivas se caracterizan por realizar su función definida con un alto grado de éxito para un costo específico. Una tarea de mantenimiento primero debe ser aplicable y después efectiva. El beneficio de realizar la tarea se debe evaluar contra el costo. El costo incluye muchos elementos; el costo de la tarea, costos de reparación cuando se presenta la falla, daños colaterales provocados por la falla y el costo de la producción perdida o la pérdida de la misión debido a la pérdida del sistema y de la función del equipo colateral.

✓ Pregunta # 7: ¿Qué se debe hacer si no se puede encontrar una tarea de mantenimiento adecuada?.

Correr hasta la falla o rediseñar: el correr hasta la falla se ha planteado como un posible resultado del proceso del análisis MCC. Esta estrategia se acepta con base en un costo bajo, para equipos que son fácil de reparar y que no tienen una consecuencia grave si fallan. En algunas ocasiones el correr hasta la falla es la estrategia de mantenimiento más efectiva en cuanto a costos, aún cuando haya consecuencias de la falla. Por ejemplo, los sistemas computacionales se encuentran en todo el negocio y en toda la industria y su falla a menudo tiene consecuencias indeseables. Aún así, rara vez se cuenta con una estrategia de mantenimiento que reducirá la probabilidad de falla. En este caso, y en muchas condiciones similares en la industria, la única opción es tomar los pasos prudentes necesarios para manejar la falla aún cuando se presente. En el caso de los sistemas computacionales es simplemente contar con un programa riguroso para respaldar los datos críticos.

Para muchos sistemas industriales, de producción o de sistemas el correr hasta la falla no es una estrategia efectiva en cuanto a costos. Si la estrategia de mantenimiento que se ha desarrollado no proporciona el nivel requerido de confiabilidad funcional, entonces es posible que se necesite rediseñar el sistema. Debido a que la funcionalidad del sistema por lo regular es la meta principal, entonces el diseño del sistema puede ser la respuesta. En este caso, la confiabilidad del componente o del equipo puede permanecer sin cambios, pero se mejora en general. Por ejemplo, la instalación de un componente paralelo en el sistema mejorará la confiabilidad del mismo.

3.2.5 Definición de términos

3.2.5.1 Accidentes: es todo evento imprevisto y no deseado que interrumpe o interfiere el desarrollo normal de una actividad, originando una o más de las siguientes consecuencias: lesiones personales, daños al ambiente, daños a la

propiedad o pérdida de la imagen o reputación de Súper Octanos, C.A. (Súper Octanos, C.A, 2000).

3.2.5.2 Activo: todos los bienes que posee una empresa. (Súper Octanos, C.A, 2000).

3.2.5.3 Butanos: es un gas licuado, obtenido por destilación del petróleo, compuesto principalmente por butano normal (60%), propano (9%), isobutano (30%) y etano (1%), está formado por cuatro átomos de carbono y por diez de hidrógeno, cuya fórmula química es C_4H_{10} .

3.2.5.4 Capacidad frigorífica: es la medida de la potencia de un sistema de refrigeración que indica la cantidad de calor que es capaz de absorber por hora de funcionamiento.

3.2.5.5 Casi-accidente: todo evento relacionado con daños a personas o al ambiente, imprevisto y no deseado que bajo circunstancias un poco diferentes pudo haber resultado en pérdidas potencialmente mayores a la severidad leve. (Súper Octanos, C.A, 2000).

3.2.5.6 Compresor de tornillo: es una máquina rotativa, de desplazamiento positivo, con capacidad controlada, inundado de aceite. Consiste en un par de tornillos helicoidales operando entrelazados dentro de un área cerrada, donde el volumen del gas se entrapa dentro de un espacio cuyo volumen es entonces reducido aumentando la presión. (Milanese, 1990).

3.2.5.7 Condensador: se encarga de cambiar el flujo de estado gaseoso a líquido, está diseñado para retirar el calor de la carga del refrigerante más la potencia de entrada del compresor. (Milanese, 1990).

3.2.5.8 Deshidrogenación: reacción donde ocurre la pérdida de átomo de hidrógeno, es decir, una oxidación ya que la molécula pierde electrones. (Milanese, 1990).

3.2.5.9 Economizador: permite pasar el gas del receptor-economizador al compresor. (Milanese, 1990).

3.2.5.10 Eficiencia energética: es la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos y servicios finales obtenidos.

3.2.5.11 Expansor: es una máquina con un elemento rotativo donde un fluido pasa de mayor a menor presión, que trae asociada un decremento de la temperatura. (Milanese, 1990).

3.2.5.12 Freón R-22: un refrigerante HCFC que funciona a alta presión pero con un mínimo desplazamiento del compresor. El R-22 se utiliza especialmente en aplicaciones domésticas, comerciales e industriales.

3.2.5.13 Incidentes: sumatoria de los accidentes y casi-accidentes. (Súper Octanos, C.A, 2000).

3.2.5.14 Intercambiador: equipo en el que dos corrientes a distintas temperaturas fluyen sin mezclarse con el objeto de enfriar una de ellas o calentar la otra, o ambas cosas a la vez. (Milanese, 1990).

3.2.5.15 Low Temperature Recovery System (LTRS): por sus siglas en inglés, sistema de recuperación a baja temperatura, donde el objetivo de este proceso es enfriar una corriente de gas de proceso rico en hidrógeno principalmente

para incrementar la recuperación de butanos para su reprocesamiento. (Milanese, 1990).

3.2.5.16 MTBE: es el nombre común de una sustancia química manufacturada llamada éter metil terbutílico. Es un líquido inflamable formado de la combinación de sustancias químicas tales como el isobutileno y metanol. (Milanese, 1990).

3.2.5.17 MTMA: mil toneladas métricas anuales.

3.2.5.18 Primas: es el coste de la probabilidad media teórica de que haya un siniestro

3.2.5.19 PyMES: pequeñas y medianas empresas.

3.2.5.20 Recibidor: es un recipiente, dimensionado para contener la carga de refrigerante de los otros componentes en el sistema. Entonces, cualquier ítem puede ser descargado y aislado para mantenimiento sin el uso de contenedores externos. (Milanese, 1990).

3.2.5.21 Refrigeración: proceso de reducción y mantenimiento de la temperatura de un objeto o sustancia a temperaturas inferiores del medio que lo rodea.

3.2.5.22 Retrofit: reemplazo de partes o modificaciones realizadas en el sistema de refrigeración.

3.2.5.23 Riesgo: egresos o pérdidas probables consecuencia de la probable ocurrencia de un evento no deseado o falla. (Probabilidad x Consecuencia).

3.2.5.24 Rubros: es un título o una categoría que permite reunir en un mismo conjunto a entidades que comparten ciertas características.

3.2.5.25 Tamiz molecular: es un material que contiene poros pequeños, que se utiliza como agente absorbente para gases y líquidos, las moléculas que son lo suficiente pequeñas para pasar por los poros son absorbidos. (Milanese, 1990).

3.2.5.26 Válvulas: son dispositivos mecánicos cuya función es la de controlar los fluidos en un sistema de tuberías. (Milanese, 1990).

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE TRABAJO

4.1 Tipo de investigación

El nivel de investigación tiene que ver con la profundidad con que se bordea un tema. (Hurtado de Barrera, 2000). Según los objetivos planteados el nivel de la investigación es de tipo evaluativa, porque mide los efectos de un programa o medida, en comparación con las metas propuestas y permite describir y comprender relaciones significativas entre variables y sustenta la toma de decisiones. Es factible, ya que proporciona respuestas o soluciones a problemas planteados en una realidad determinada, diagnostica la situación existente y determina las necesidades del hecho para formular la propuesta o modelo operativo.

4.2 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación, es la estrategia que adopta el investigador para responder al problema planteado, la cual puede ser de tres tipos: a) documental, b) de campo y c) experimental. Según el diseño de la investigación es de campo y no experimental. De campo, ya que los datos e información se obtienen a través de observaciones realizadas directamente en la planta de M.T.B.E. y no experimental, ya que se observan los fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para después analizarlos.

4.3 Población de la investigación

Balestrini, (1997), expresa que: “Una población o universo puede estar referido a cualquier conjunto de elementos de los cuales pretendemos indagar y conocer sus

características, o una de ellas, y para el cual serán válidas las conclusiones obtenidas en la investigación”. La planta, está conformada por las siguientes unidades: Isomerización (U-110), Desisobutanizadora (U-120), Deshidrogenación (U-200), Eterificación (U-300), Servicios Industriales (U-700), Almacenamiento (U-800), Despacho a Muelle (U-900), de las cuales se estableció la U-200 como la población de esta investigación.

4.4 Muestra de la investigación

Una vez determinada la población, se debe escoger la muestra, la cual fue tomada por necesidad de la empresa. De esta manera podemos señalar que la muestra está representada por el sistema de recuperación de butanos a baja temperatura (LTRS) que se encuentra dentro de la U-200 de la planta productora de M.T.B.E.

4.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

A continuación, se definen las técnicas o instrumentos utilizados para la recolección de datos durante la investigación.

4.5.1 Revisión documental

Durante la ejecución de esta investigación, se indagó información necesaria para una visualización amplia del proceso actual de la planta, a través del Data Book de la empresa, planos, información del intranet, entre otras fuentes.

4.5.2 Observación directa

A través de la observación directa se pudo identificar detalladamente el proceso de producción, las unidades, sistemas y equipos de toda la planta, con la finalidad de utilizar esos datos para llevar a cabo el estudio.

4.5.3 Libreta de anotaciones

Utilizada para la recolección de datos e información necesaria de la planta para realizar el estudio.

4.6 Técnicas de ingeniería industrial a utilizar

4.6.1 Análisis costo-beneficio

Pretende determinar la conveniencia de un proyecto mediante la enumeración y valoración posterior en términos monetarios de todos los costos y beneficios derivados directa e indirectamente de dicho proyecto.

4.6.2 Análisis de confiabilidad

Las herramientas de análisis de confiabilidad poseen una estructura que permiten pronosticar el comportamiento de un componente o sistema industrial, lo cual representa información valiosa a la hora de gerenciar un sistema productivo, desarrollando planes operativos y de mantenimiento mejor estructurados.

4.6.3 Diagrama de Pareto

Es una gráfica para organizar datos de forma que estos queden en orden descendente, de izquierda a derecha y separados por barras. Permite, pues, asignar un orden de prioridades. El diagrama permite mostrar gráficamente el principio de Pareto (pocos vitales, muchos triviales), es decir, que hay muchos problemas sin importancia frente a unos pocos graves. Mediante la gráfica colocamos los "pocos vitales" a la izquierda y los "muchos triviales" a la derecha. Hay que tener en cuenta que tanto la distribución de los efectos como sus posibles causas no es un proceso lineal sino que el 20% de las causas totales hace que sean originados el 80% de los efectos

4.6.4 Diagrama de Gantt

Este diagrama es utilizado para coordinar el tiempo en el cual se van a realizar las actividades del tema en estudio.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1 Diagnóstico de la situación actual del LTRS de la Unidad 200

A continuación, se presenta un diagnóstico de la situación actual del LTRS, en donde se describe el proceso de producción para la comprensión del sistema y de los equipos, se recolecta el historial de fallas de los últimos 5 años para cuantificar las paradas imprevistas del sistema y determinar los equipos que mayor impactan la operación del LTRS, y finalmente, calcular el total de pérdidas de dinero asociadas a las paradas imprevistas del sistema en el período mencionado.

5.1.1 Nomenclatura de los activos en Súper Octanos, C.A. (TAG)

Se explica brevemente como está formado el TAG de los equipos, a partir del siguiente ejemplo:

Unidad – Tipo de activo – N° del activo

200 - E - 102

Entre los tipos de activos podemos encontrar:

E = intercambiador

K= compresor

MS= filtro

N= calentador eléctrico

P= bomba

T= turbina/expansor

V= recipiente

X= paquete

5.1.2 Descripción del proceso del LTRS

A continuación, se describe el proceso de producción del LTRS para el conocimiento de la función del sistema y de los equipos.

1) Sección de enfriamiento del gas de alimentación y sección de enfriadores – 100: el gas alimentado al LTRS entra a la planta a 31 kg/cm^2 y 34°C y es enfriado con el gas de desecho en el intercambiador de gas de alimentación 200-E-101. Posteriormente, el gas es enfriado a 11°C mediante una corriente evaporada de R22 en el intercambiador 200-E-102. Luego esta corriente de gas entra al separador 200-V-101, donde algunos líquidos condensados son removidos, la corriente rica en butanos es enviada al 200-V-11 en conjunto con los butanos recuperados aguas arriba del sistema, mientras que la fase acuosa es descargada hacia el 200-V-23.

2) Secado del gas de alimentación-200: el gas que sale del tope del 200-V-101 entra al protector de cloruro de hidrogeno, 200-V-203, donde el cloruro de hidrógeno (HCl) es completamente removido mediante una cama de alúmina activada para prevenir ataques ácidos en los platos aleteados de los intercambiadores.

El gas libre de HCl entra a los absorbedores, 200-V-201 A/B, donde el residual de agua es removido a menos de 1 ppm en una cama de tamiz molecular para prevenir el congelamiento en la sección de baja temperatura (caja fría). Estos absorbedores también poseen una capa de alúmina activada que actúa como soporte del tamiz molecular.

La corriente de gas contiene otros componentes los cuales pueden entrar a la caja fría, normalmente hidrógeno y dióxido de carbono ya que la caja fría no opera a

temperaturas tan bajas como para que estos componentes se congelen. Sin embargo, una pequeña proporción de estos compuestos son co-absorbidos por el tamiz molecular y pasan a través del sistema de gas combustible después de la regeneración.

Los dos absorbedores operan con una secuencia de control de tiempo fijo mientras que un absorbedor está alineado el otro se encuentra en regeneración. El tiempo de regeneración es 8 horas.

La regeneración térmica de los absorbedores es llevada a cabo haciendo pasar una pequeña porción del gas de desecho que sale del intercambiador de reflujo, 200-E-301, por el calentador eléctrico de regeneración, 200-N-101 para luego de ser calentado a 200°C aproximadamente y pasar a través del absorbedor agotado. Después de la regeneración el calentador es apagado y el gas de regeneración enfría el lecho.

El periodo de calentamiento es 4.25 horas y el de enfriamiento 3.25 horas, además de 0.5 horas para el periodo de cambio de absorbedor. El gas de regeneración que sale del 200-V-201 es mezclado con el gas de desecho remanente para ser enviado como fuel gas rico en hidrógeno hacia: 200-V-7 como reciclo, Petromonagas como consumidor, y a la nueva unidad 400 para el proyecto de Isooctano cuando sea requerido.

3) Sección de la Caja Fría -300: el gas seco que proviene de los absorbedores entra al paquete de la caja fría 200-X-301 en cuyo interior se encuentra el intercambiador de reflujo 200-E-301 por donde se hace pasar el flujo de gas seco para ser enfriado con una corriente de gas de desecho y una corriente de refrigeración complementaria de R-22, donde este gas es parcialmente condensado. El líquido condensado corre hacia abajo por el interior del intercambiador donde se pone en

contacto con el gas de alimentación que está subiendo. Esto permite una separación extremadamente aguda de butanos de los propanos y componentes más ligeros.

El gas rico en hidrógeno sale por el tope del intercambiador de reflujo y el líquido rico en butanos sale del fondo. El líquido es enviado al separador 200-V-301. El líquido es removido bajo control de nivel y mezclado con la corriente rica en butanos proveniente del 200-V-101. Esta corriente es enviada al 200-V-11.

Una porción del gas rico en hidrogeno es recalentado en el intercambiador de reflujo, 200-E-301, saliendo a una temperatura de 9°C y es premezclado con una porción fría que sale del tope de este mismo intercambiador 200-E-301 a -51°C, la mezcla de estas corrientes entran al sistema de refrigeración con amoniaco 200-X-501, donde el gas de proceso es enfriado en un evaporador-intercambiador con amoniaco, 200-E-306, de -1°C a -23°C. Posteriormente, esta corriente a una presión de 29 Kg/cm²g y -23°C entra al expansor caliente, 200-T-301, donde la presión es reducida a 12,6 Kg/cm²g para alcanzar una temperatura a -44°C, y luego entra al expansor frío, 200-T-302, donde la presión es reducida a 7 Kg/cm²g y una temperatura de -62°C. Este gas retorna al 200-E-301 para ceder su calor y enfriar la corriente de entrada, y luego sale de este intercambiador a una temperatura de 10°C, donde una parte es utilizada para regenerar los absorbedores, 200-V-201A/B, y la otra se utiliza para enfriar la corriente de entrada en el 200-E-101 para luego ser enviada como fuel gas rico en hidrógeno en conjunto con el gas de desecho de los absorbedores al 200-V-7, Petromonagas o U-400.

4) Sección de la Unidad de Refrigeración -400: el sistema de refrigeración con R22 está compuesto por: un compresor de tornillo, un condensador, un recibidor, válvulas de expansión, y un sistema de control. Es importante destacar que la metalurgia del sistema está compuesta por acero al carbono.

La unidad de refrigeración no solo provee el R22 necesario para el intercambiador de la corriente de alimentación, 200-E-101, y el intercambiador de reflujo, 200-E-301, sino también suministra el R-22 necesario para enfriar una corriente de glicol en el intercambiador 200-E-102, que es utilizada para enfriar la corriente de refinado en la Unidad 300. El líquido desde el recibidor 200-V-402 es dividido y alimentado bajo control de nivel al separador 200-V-302, y hacia los intercambiadores 200-E-102 y 200-E-103.

El R-22 en el separador 200-V-302 es separado en dos fases, líquido y vapor. El líquido pasa a través del intercambiador de reflujo, 200-E-301, donde parte del líquido es evaporado. El resultado de la mezcla líquido/vapor es retornado al 200-V-302 donde el vapor es separado del líquido. El vapor que sale del 200-V-302 junto con los vapores provenientes de los intercambiadores 200-E-102 y 200-E-103 entran al compresor, 200-K-401.

El R-22 a alta presión condensa a 50°C mediante un flujo de agua a contra corriente en un intercambiador-condensador, 200-E-401. Luego el líquido es evaporado cuando entra al recibidor 200-V-402. El vapor desde el recibidor es retornado al compresor a una presión intermedia.

5) Sistema de lubricación para el compresor 200-K-401: el aceite que se encuentra en el reservorio 200-V-401, pasa por el intercambiador 200-E-402A/B, dependiendo del que se encuentre alineado, para enfriar el aceite a una temperatura de 28°C, seguidamente pasa por los filtros 200-MS-402A/B, para disminuir la cantidad de impurezas y poder lubricar el compresor 200-K-401, el aceite sale con una temperatura de 68°C y regresa al 200-V-401 para repetir el ciclo.

5.1.3 Análisis de la información histórica de las fallas, información operacional y datos técnicos de los componentes que conforman el LTRS

A continuación, se presenta la información histórica de las fallas del LTRS, que fue obtenida de los libros de la sala de control de Súper Octanos, C.A., con la finalidad de establecer el equipo crítico del sistema a partir de la frecuencia de la fallas. (Tablas 5.1 - 5.5)

Tabla 5.1 Historial de falla del LTRS en el año 2006.

2006	Fecha/hora				
<i>N°</i>	<i>Parada</i>	<i>Arranque</i>	<i>Tiempo fuera de servicio (h)</i>	<i>Equipo fallado</i>	<i>Causa de la falla</i>
1	16 Ene/18:40	23 Ene/8:40	158	200-E-102	Fuga de hidrocarburo
2	25 Ene/12:55	27 Ene/21:10	56	200-E-102	Fuga de hidrocarburo
3	26 Feb/1:30	26 Feb/14:05	12,3	200-MK-401	Recalentamiento del motor
4	06 Mar/15:30	06 Mar/20:00	4,5	200-K-401	Parada inesperada del compresor
5	15 Abr/00:00	15 Abr/9:40	9,6	200-K-401	Altas vibraciones
6	21 Oct/19:15	21 Oct/21:05	2	200-K-401	Fuga de aceite
TOTAL			242,4		

Tabla 5.2 Historial de fallas del LTRS en el año 2007.

2007	Fecha/hora				
<i>N°</i>	<i>Parada</i>	<i>Arranque</i>	<i>Tiempo fuera de servicio (h)</i>	<i>Equipo fallado</i>	<i>Causa de la falla</i>
1	17 Jul/16:55	31 Jul/19:05	338	200-E-303A	Fuga interna
2	26 Ago/4:30	26 Ago/9:15	8,75	200-K-401	Problemas con "Slide Valve"
3	18 Dic/8:30	28 Dic/18:20	230	200-K-401	Bombas de lubricación F/S
TOTAL			576,75		

Tabla 5.3 Historial de fallas del LTRS en el año 2008.

2008	Fecha/hora				
<i>N°</i>	<i>Parada</i>	<i>Arranque</i>	<i>Tiempo fuera de servicio (h)</i>	<i>Equipo fallado</i>	<i>Causa de la falla</i>
1	13 Mar/9:20	14 Mar/17:50	32,5	200-MK-401	Causa desconocida
2	2 May/7:54	12 May/10:40	242,7	200-K-401	Baja diferencial de aceite
3	13 May/11:20	13 May/19:55	8,8	200-K-401	Causa desconocida
4	22 May/23:20	23 May/6:30	7,1	200-K-401	Problemas en Slide Valve
5	24 May/6:10	7 Jun/00:50	305,7	200-K-401	Sin causa aparente
6	9 Jun/9:40	9 Jun/10:42	1	200-MK-401	Rotura de cable TAH-818
7	29 Jun/22:26	1 Jul/00:10	25	200-K-401	Slide valve no controla la presión

Continuación Tabla 5.3.

2008		Fecha/hora				
<i>N°</i>	<i>Parada</i>	<i>Arranque</i>	<i>Tiempo fuera de servicio (h)</i>	<i>Equipo fallado</i>	<i>Causa de la falla</i>	
8	5 Jul/15:21	5 Jul/17:01	1,6	200-K-401	Sin causa aparente	
9	31 Ago/15:24	31 Ago/ 19:35	4,18	200-K-401	Baja presión de succión	
10	8 Sep/12:25	16 Sep/ 17:35	197,16	200-K-401	Baja presión de succión	
11	18 Sep/15:00	2 Oct/00:40	321,7	200-K-401	Alto nivel en economizador	
12	7 Oct/9:00	7 Oct/22:00	13	200-K-401	Causa desconocida	
13	14 Oct/10:00	15 Oct/4:20	18,1	200-K-401	Causa desconocida	
14	18 Dic/11:00	21 Dic/5:15	66,25	200-T-301/302	Causa desconocida	
TOTAL			1244,79			

Tabla 5.4 Historial de fallas del LTRS en el año 2009.

2009		Fecha/hora				
<i>N°</i>	<i>Parada</i>	<i>Arranque</i>	<i>Tiempo fuera de servicio (h)</i>	<i>Equipo fallado</i>	<i>Causa de la falla</i>	
1	27 Ene/6:05	28 Ene/ 15:40	33,6	200-T-301/302	Causa desconocida	
2	1 Feb/9:29	9 Feb/10:00	192,5	200-T-301/302	Causa desconocida	
3	19 May/13:55	19 May/ 20:32	6,5	200-MK-401	Alto ruido en motor	
4	4 Ago/00:30	11 Ago/ 18:15	161	200-T-301/302	Parada de bomba de aceite y suciedad de los filtros	
5	14 Dic/4:30	15 Dic/11:00	30,5	200-T-301/302	Causa desconocida	
TOTAL			424,1			

Tabla 5.5 Historial de fallas del LTRS en el año 2010.

2010	Fecha/hora				
<i>N°</i>	<i>Parada</i>	<i>Arranque</i>	<i>Tiempo fuera de servicio (h)</i>	<i>Equipo fallado</i>	<i>Causa de la falla</i>
1	1 Feb/9:45	3 Feb/00:00	39	Tubería entre 200-E-102 y 200-V-101	Ruptura de tubería por pérdida de espesor
<i>N°</i>	<i>Parada</i>	<i>Arranque</i>	<i>Tiempo fuera de servicio (h)</i>	<i>Equipo fallado</i>	<i>Causa de la falla</i>
2	16 Abr/1:00	16 Abr/23:00	22	200-K-401	Falla switch de la temperatura de descarga
TOTAL			61		

Número total de paradas imprevistas del LTRS entre los años 2006 y 2010 = **30**

Horas totales de paradas imprevistas del LTRS entre los años 2006 y 2010 = **2549**

De acuerdo con la información contenida en las tablas de la 5.1 a la 5.5, donde se presentan las paradas imprevistas del LTRS durante el período 2006 – 2010, se elaboró la tabla 5.6 donde se organizan, en orden de impacto, los equipos que originaron dichas paradas.

Tabla 5.6 Equipos que originaron parada del LTRS entre los años 2006 y 2010.

EQUIPO	Tiempo de parada	
	Horas	%
200-K-401	1422	55,8
200-T-301/302	484	19,0
200-E-303A	338	13,3
200-E-102	214	8,4
200-MK-401	52	2,1
Tuberia entre 200-E-102 y 200-V-101	39	1,5
Total paradas LTRS	2549	100

Del total de 30 paradas imprevistas del LTRS, equivalentes a 2549 horas, el compresor 200-K-401 ocasionó 17 paradas correspondientes a 1422 horas, representando el 55,8 % del total de fallas del LTRS.

Debido al impacto que representó el compresor 200-K-401 para la operación del LTRS durante los años 2006 y 2010, se considera como el equipo más crítico del sistema. Por otra parte, basados en el historial de fallas y por opinión de expertos recolectada con el personal técnico de Súper Octanos, la falla del sistema de lubricación (sub-sistema del 200-K-401) ha sido una de las principales causas de parada del compresor, representando el 36 % de las paradas del equipo y el 20 % del total de paradas del LTRS.

5.2 Evaluación de las ventajas y desventajas de los refrigerantes existentes en el mercado que no deterioran la capa de ozono

A continuación, se presenta una serie de tablas en las cuales se establece de forma ordenada las características de los refrigerantes disponibles en el mercado, con la finalidad de visualizar las ventajas y desventajas de cada uno de ellos en comparación al refrigerante utilizado actualmente en el LTRS (Freón R-22).

En la tabla 5.7 se visualiza la composición química de cada refrigerante. Es importante destacar que el refrigerante R-422A es una mezcla no azeotrópica, es decir, la concentración de sus componentes varía en fase líquida y gaseosa, las fugas en el sistema alteran su composición. Por el contrario, los refrigerantes R-410A, R-507, R-134A y el amoníaco son mezclas azeotrópicas, su composición se mantiene constante en fase líquida y gaseosa, comportándose como un fluido puro, por lo tanto, las fugas no alteran su composición.

Tabla 5.7 Composición química de los posibles refrigerantes sustitutos del R-22.

Refrigerantes	Composición	
	Nombre químico	% peso
R-422A	1,1,1,2 – tetrafluoroetano (R-134A)	11,5
	Pentafluoroetano (R-125)	85,1
	Isobutano	3,4
R-410A	Difluoroetano (R-32)	50
	Pentafluoroetano (R-125)	50
R-507	Pentafluoroetano (R-125)	50
	1,1,1-trifluoroetano (143A)	50
R-134a	1,1,1,2 – tetrafluoroetano	100
Amoniaco	NH ₃	

La tabla 5.8 proporciona información sobre los aceites que pueden trabajar de forma eficiente con cada uno de los refrigerantes, se señala la compatibilidad de los mismos. Actualmente, en el sistema de refrigeración (LTRS) se emplea aceite mineral con el refrigerante R-22, cabe destacar que para reemplazar el aceite mineral por otro tipo de lubricante, se debe realizar una limpieza en el sistema debido a que no se deben mezclar dichos aceites.

Tabla 5.8 Compatibilidad de los refrigerantes con los tipos aceites en el sistema.

Refrigerante	Aceite		
	Mineral	Alquilbencénico	Polioléster
R-422A	Si	Si	Si
R410A	No	No	Si
R507	No	No	Si
R134a	No	No	Si
Amoniaco	Si	No	No
R-22	Si	Si	Si

En la tabla 5.9, se clasificaron los refrigerantes que no requieren cambio en la metalurgia y los que requieren el reemplazo completo de los equipos. Considerando sus características como ventajas y desventajas, se procede a realizar una evaluación técnica de los mismos, comparándolos entre si, según los criterios para la selección de refrigerantes, con la finalidad de determinar el más adecuado para el reemplazo del R-22, tomando en cuenta que los refrigerantes en estudio deben poseer como característica fundamental, un ODP (Potencial de Agotamiento de la Capa de Ozono) igual a cero, ya que es la causa principal para el reemplazo del R-22.

5.3 Determinación del nuevo refrigerante por medio del estudio costo-beneficio

Luego de visualizar las ventajas y desventajas de cada refrigerante en comparación con el R-22, se establecen los parámetros a considerar para realizar la evaluación técnica y seleccionar el que mejor se adapte a los requerimientos, para finalmente realizar la evaluación económica de los refrigerantes seleccionados con el propósito de determinar la factibilidad de dichas inversiones.

5.3.1 Parámetros para la evaluación técnica

Para la selección de los refrigerantes se deben tomar en cuenta ciertos criterios para realizar la evaluación técnica:

1. Criterio de seguridad: se determina la clasificación de la seguridad de los refrigerantes tomando en cuenta:

Inflamabilidad

Toxicidad

	No requieren reemplazo de metalurgia		Requiere reemplazo de metalurgia			Sistema actual
	R-422^a	R-507	R-410A	R-134a	Amoniaco	R-22
Toxicidad	Baja	Baja	Baja	Baja	Alta	Baja
Inflamabilidad	No propaga la llama	No propaga la llama	No propaga la llama	No propaga la llama	Inflamabilidad baja	No propaga la llama
ODP	0	0	0	0	0	0,055
GWP	3000	4000	1740	1300	0	1700
Costo del refrigerante (Bf/Kg)	41,83	78	48,46	50	7	37
Compatibilidad metalúrgica con el LTRS	SI	SI	NO	NO	NO	—
Tipo de mezcla	No azetrópico	Azeotrópico	Azeotrópico	Azeotrópico	Puro	Azeotrópico
Producción Nacional	NO	NO	NO	NO	SI	SI
Eficiencia energética	Menor que R-22	Mayor que R-22	Menor que R-22	Similar que R-22	Mayor que R-22	—
Capacidad de refrigeración	Menor capacidad que el R-22	Mayor capacidad que R-22	Mayor capacidad que el R-22.	Menor capacidad que el R-22	Mayor capacidad que el R-22	—

Tabla 5.9 Características de los refrigerantes existentes en el mercado.

2. Criterio ambiental: cada refrigerante posee un valor establecido de ODP y GWP, mientras más altos los valores más daño causa en el ambiente.

ODP (Ozone Depletion Potential) por sus siglas en inglés: Potencial de Agotamiento de la Capa de Ozono.

GWP (Global Warming Potential) por sus siglas en inglés: Potencial de Calentamiento Global.

3. Confiabilidad: de acuerdo a sus propiedades, con ayuda de expertos en metalurgia, se determina la compatibilidad con materiales y equipos del sistema.

4. Desempeño: se analiza el comportamiento del refrigerante en el sistema de acuerdo a las siguientes características:

Eficiencia energética.

Capacidad de refrigeración.

Estabilidad química.

Disponibilidad en el mercado Nacional.

5.3.1.1 Puntuación para cada criterio: Se presenta en la tabla 5.10 el puntaje establecido para cada criterio de evaluación. La ponderación de cada característica se realizó considerando la información técnica disponible, con ayuda de un grupo de expertos y basados en los requerimientos de la empresa. De esta forma, se asignó mayor puntuación a las características que la empresa consideró como mayores desventajas.

Tabla 5.10 Puntuación según la importancia de cada criterio tomado en cuenta para la evaluación a realizar.

Característica	Puntuación
Seguridad	6
ODP	20
GWP	20
Compatibilidad metalúrgica	14
Eficiencia energética	10
Capacidad de refrigeración	10
Estabilidad química	10
Disponibilidad en el mercado Nacional	10
TOTAL	100%

✓ Distribución del puntaje de los criterios para la evaluación: en las siguientes tablas se presenta la forma como se distribuyó la puntuación, según el criterio. Tomando en cuenta que el refrigerante que acumule la menor puntuación será el más adecuado para el reemplazo.

La seguridad de cada refrigerante posee dos características; que sea tóxico y/o inflamable, por lo tanto, se realizan las posibles combinaciones de la clasificación de la seguridad, para establecer su respectiva puntuación. (Tablas 5.11 y 5.12).

Tabla 5.11 Clasificación de la seguridad.

Toxicidad	Alta (B)	Baja (A)	
Inflamabilidad	No propaga la llama (1)	Inflamabilidad Baja (2)	Inflamabilidad Alta (3)

Tabla 5.12 Distribución del puntaje para la clasificación de la seguridad.

Seguridad	A1	A2	A3	B1	B2	B3
Puntaje	1	2	3	4	5	6

Se tomó una puntuación del 1 al 6, en la cual, el 1 indica que es el más seguro, es decir, de toxicidad baja y no propaga la llama y el 6 el menos seguro con alta toxicidad e inflamabilidad.

Para el impacto ambiental se escogió una puntuación en base a 20, ya que es el principal motivo por el cual se debe reemplazar el R-22. Para el GWP, el 5 indica que el refrigerante no contribuye al calentamiento global, y el número 20 indica que el refrigerante posee un elevado GWP lo cual contribuye considerablemente al calentamiento global. (Tabla 5.13).

Tabla 5.13 Distribución del puntaje para la clasificación del impacto ambiental.

ODP=0	Puesto que los refrigerantes analizados deben de cumplir con este requerimiento obligatoriamente.			
GWP	0-999	1000-1999	2000-2999	≥ 3000
Puntaje	5	10	15	20

Luego de haber realizado un estudio previo con especialistas en metalurgia, con una puntuación en base a 14, se estableció el 3 para los refrigerantes que solo requieren pequeños ajustes en el sistema, y 14, para los que requieren reemplazo de todo el paquete de refrigeración incluyendo los intercambiadores usuarios. (Tabla 5.14).

Tabla 5.14 Distribución del puntaje para la clasificación de la compatibilidad metalúrgica.

Compatibilidad metalúrgica	Ajustes	Cambio de aceite	Cambio de paquete	Cambio de paquete-aceite	Cambio de paquete-intercambiadores
Puntaje	3	7	10	12	14

Para evaluar el desempeño del refrigerante, se realizó una comparación con el R-22, donde los que poseen mayor eficiencia energética y mayor capacidad de refrigeración tienen un puntaje de 1, y los que tienen un desempeño deficiente o menor tienen un puntaje de 10. Seguidamente, de acuerdo a la estabilidad química del refrigerante, si son Azeótropos tienen una puntuación de 1, mientras que, si son No Azeótropos se les asigna una puntuación máxima de 10. (Tabla 5.15).

Tabla 5.15 Distribución del puntaje para la clasificación del desempeño.

Eficiencia energética	Mayor	Similar	Menor
Capacidad de refrigeración	Mayor	Similar	Menor
Puntaje	1	5	10
Estabilidad química	Azeótropo	No Azeótropo	
Puntaje	1	10	

Adicionalmente, se tomó en cuenta si el refrigerante es producido en Venezuela, lo que implica costos menores de adquisición y disponibilidad inmediata en caso de emergencia, mientras que, de ser importado, en caso de emergencia o grandes fugas del sistema, de no disponer de inventario por parte de la empresa o el proveedor del producto en Venezuela, se corre el riesgo de parar el LTRS por deficiencia de refrigerante. Por lo tanto, si el refrigerante es importado tiene la puntuación máxima establecida para este criterio de 10 puntos, y si es producido en Venezuela tiene una puntuación de 1. (Tabla 5.16).

Tabla 5.16 Distribución del puntaje para la clasificación de la disponibilidad en el mercado nacional.

Disponibilidad en el mercado Nacional	Producido en Venezuela	Importado
Puntaje	1	10

5.3.2 Evaluación técnica de los refrigerantes

Luego de haber establecido los parámetros de la evaluación, se procede a realizar la evaluación técnica de los refrigerantes, en base a sus ventajas y desventajas según el puntaje establecido para la selección del más adecuado. En la tabla 5.17 se muestra la evaluación de los refrigerantes que no requieren cambio de metalurgia y en la tabla 5.18 la evaluación de los refrigerantes que requieren el reemplazo de metalurgia.

Tabla 5.17 Evaluación técnica para los refrigerantes que no requieren reemplazo de metalurgia.

Sin reemplazo de metalurgia		
	R-422^a	R-507
Seguridad	1	1
ODP	0	0
GWP	20	20
Compatibilidad metalúrgica	3	7
Eficiencia energética	10	1
Capacidad de refrigeración	10	1
Estabilidad química	10	1
Disponibilidad en el mercado Nacional	10	10
TOTAL	64	41

De acuerdo con los resultados mostrados en la tabla 5.17, el R-507 es un refrigerante que puede ser utilizado como sustituto del R-22, según la información que se tiene hasta los momentos, este producto solo requiere reemplazar el aceite mineral del sistema por aceite POE, y verificar que los materiales del sistema existente sean compatibles con el refrigerante, como por ejemplo, los elastómeros. Con base en pruebas realizadas en otras instalaciones, con la aplicación del “retrofit” utilizando el R-507, la eficiencia energética y la capacidad frigorífica aumentan en un 5%. Adicionalmente, tiene una clasificación de seguridad A1, lo cual lo establece como un refrigerante seguro. Pero tiene como desventaja, que no es producido en Venezuela, por lo tanto, su disponibilidad es incierta, posee un alto GWP lo que implica que a pesar de no deteriorar la capa de ozono contribuye al calentamiento global, trayendo como consecuencia que, a futuro, cuando entre en vigencia el Protocolo de Kyoto, el cual establece que todos los refrigerantes que contribuyan al calentamiento global deben ser eliminados del mercado, se va a originar la misma problemática que se presenta actualmente en Súper Octanos con el R-22. Sin embargo, por lo antes expuesto, el R-507 se considera como la mejor opción técnicamente viable y de aplicación sencilla a corto plazo, dentro de los refrigerantes que no requieren reemplazo de metalurgia.

Tabla 5.18 Evaluación técnica para los refrigerantes que requieren reemplazo de metalurgia.

Con reemplazo de metalurgia			
	R-410A	R-134a	Amoniaco
Seguridad	1	1	5
ODP	0	0	0
GWP	10	10	5
Compatibilidad metalúrgica	12	12	10
Eficiencia energética	10	5	1

Continuación Tabla 5.18.

Con reemplazo de metalurgia			
	R-410A	R-134a	Amoniaco
Capacidad de refrigeración	1	10	1
Estabilidad química	1	1	1
Disponibilidad en el mercado Nacional	10	10	1
TOTAL	45	49	24

Según los resultados presentados en tabla 5.18, dentro de los refrigerantes que requieren reemplazo de la metalurgia, la opción más atractiva para sustituir el paquete de refrigeración de R-22 es el Amoniaco, ya que es un refrigerante natural que no contribuye con el deterioro de la capa de ozono ni con el recalentamiento global. Por otra parte, es producido en Venezuela, lo que permite inferir que presenta alta disponibilidad en el mercado nacional; presenta excelente eficiencia energética y capacidad de refrigeración en comparación con el R-22. Como desventaja requiere tomar precauciones para el manejo del mismo, ya que es altamente tóxico. Es una opción con posible aplicación a largo plazo, ya que requiere del reemplazo completo de la metalurgia, sin embargo, continúa siendo técnicamente la opción más conveniente si se considera que el estudio de la sustitución del R-22 viene dado por motivos ecológicos, basados en las características consideradas como impacto ambiental, el Amoniaco es el único refrigerante que no causa ningún impacto negativo al ambiente.

5.3.3 Evaluación económica de los refrigerantes propuestos

Como resultado del análisis técnico realizado a los refrigerantes existentes en el mercado, se seleccionaron dos productos como posibles sustitutos del Freón R-22 del LTRS. Por una parte, se consideró el R-507 como una propuesta sencilla y económica, ya que no requiere reemplazo de metalurgia, representa una opción para

aplicar a corto plazo debido a la regulación ambiental que entrará en vigencia a partir del año 2015; y por otra parte, se seleccionó el Amoniaco como una propuesta a largo plazo, ya que la inversión inicial es considerablemente elevada y demanda mayor tiempo para su aplicación, al requerir cambio de todos los equipos del sistema de refrigeración del LTRS.

Cabe resaltar que el Amoniaco se presenta como posible reemplazo definitivo al cumplir con todas las normativas ambientales, mientras que el R-507 se considera como sustituto temporal hasta la posible entrada en vigencia del Protocolo de Kyoto referente al recalentamiento global, cuya fecha de aplicación es incierta. Por tal motivo, se propone sustituir inicialmente el R-22 por el refrigerante R-507, y posteriormente, sustituir el R-507 por Amoniaco. Una vez conocidas las propuestas técnicas, se procede a realizar la evaluación económica de los refrigerantes seleccionados utilizando VPN y TIR.

5.3.3.1 Evaluación económica para el R-507: con la aplicación de este refrigerante se consideró como beneficio la continuidad operacional del LTRS (tabla 5.20), ya que, de no realizar el reemplazo de refrigerante oportunamente, existe un riesgo latente de parada indefinida del sistema, al no disponer de Freón R-22 en el mercado. Los detalles correspondientes a la inversión se reflejan en la tabla 5.19.

Tabla 5.19 Inversión R-507.

Ingeniería	14.000 US\$
Instalación y Puesta en Marcha	101.256,83 US\$
TOTAL	115.256,83 US\$

Esta inversión incluye el estudio técnico del sistema por especialistas y el procedimiento de limpieza y cambio de aceite del sistema.

Tabla 5.20 Beneficio del R-507.

Descripción	Ganancia asociada US\$/h
H2 suministrado a Petromonagas	0,12
Isobutileno recuperado en equivalentes de MTBE	856,27
Isobutano recuperado	292,92
Total	1.149,31

Del total 1.149,31 US\$ por horas, se lleva a anual de la siguiente manera:

$1.149,31 \text{ h} \times 24 \text{ h} = 27.582,72 \text{ US\$ diario.}$

$27.582,72 \text{ US\$ diario} \times 30 \text{ días} = 827.481,56 \text{ US\$ mensual.}$

$827.481,56 \text{ US\$ mensual} \times 10 \text{ meses} = \mathbf{8.274.815,63 \text{ US\$ anual.}}$

Para los costos de operación se estimó con ayuda de expertos en mantenimiento que sería aproximadamente el 50% de la inversión y esto incluiría: a) mano de obra, b) materiales y c) mantenimiento. Adicionalmente se suma el costo del refrigerante que se debe recargar cada dos años con 3000Kg, en la tabla 5.9 donde se comparan las características de cada refrigerante se señala que el R-507 tiene un costo de 78 Bf/Kg, es decir, que por 3000 Kg se debe cancelar una cantidad de 54.418,6 U\$.

Como premisa se asume que el sistema se mantiene recuperando el 90% de los butanos contenidos en la corriente de alimentación en un horizonte económico de 5 años. En la tabla 5.21 se presenta el flujo de efectivo correspondiente.

Tabla 5.21 Flujo de efectivo para la propuesta del R-507.

Montos en US\$						
Año	0	1	2	3	4	5
Inversión	115.257					
Beneficios		8.274.816	8.274.816	8.274.816	8.274.816	8.274.816
Costos de operación		57.628	57.628	57.628	57.628	57.628
Refrigerante		54.419		54.419		54.419
Costos de operación total		112.047	57.628	112.047	57.628	112.047
Flujo de caja neto	-115.257	8.162.769	8.217.187	8.162.769	8.217.187	8.162.769
Flujo de caja acumulado	-115.257	8.047.512	16.264.699	24.427.468	32.644.655	40.807.423

Utilizando la ecuación 3.1, se calculan los flujos de caja netos desde el año 1 hasta el año 5, seguidamente se calcula el VPN con la ecuación 3.2, utilizando varias tasas de interés para luego calcular la TIR a través de una interpolación, estimando la tasa de interés que haga cero (0) el VPN. (Ecuación 5.1). Para los cálculos del VPN. (Apéndice A). (Tabla 5.22).

Tabla 5.22 Resultados del VPN del R-507 a diferentes tasas de interés.

i	VPN
5%	34.852.524,83
10%	30.500.518,59
20%	24.034.708,08

$$\mathbf{TIR= VPN=0} \quad (5.1)$$

$$\mathbf{VPN= - Inv. I_0 + Vp_1 + Vp_2 + Vp_3 + Vp_4 + Vp_5 = 0}$$

$$\mathbf{VPN= - 115.256,83 + \frac{7.983.187,58}{(1+70.83)} + \frac{8.217.187,58}{(1+70.83)^2} + \frac{7.983.187,58}{(1+70.83)^3} + \frac{8.217.187,58}{(1+70.83)^4} +$$

$$\frac{7.983.187,58}{(1+70.83)^5}$$

$$\mathbf{VPN= 0}$$

$$\mathbf{TIR= 7083\%}$$

Tiempo de pago: 0.0144 años \rightarrow 5 días.

La evaluación económica del R-507 indica que la aplicación es altamente rentable, ya que el retorno de la inversión se obtiene en tan solo 5 días de operación. Cabe destacar, que los costos de mantenimiento podrían incrementar a través del tiempo, debido a que la mayoría de los equipos tienen 20 años en servicio, lo cual demanda la aplicación de actividades efectivas de mantenimiento para alargar la vida útil de los equipos.

5.3.3.2 Evaluación económica para el Amoniaco: a continuación se muestran los cálculos del beneficio, la inversión inicial y el flujo de efectivo correspondientes a este refrigerante.

✓ **Beneficio:** Debido a que la propuesta del Amoniaco requiere el reemplazo de la metalurgia y considerando los resultados del análisis de los equipos críticos del

sistema, (Tabla 5.6), se propone modificar el arreglo actual de los equipos, colocando un compresor de refrigeración paralelo al existente como equipo de respaldo, de esta forma se evitarían las paradas del sistema por falla inesperada del 200-K-401, ya que arrancaría de forma automática el compresor de respaldo. Para esta propuesta, el beneficio se determina en función de la reducción de paradas imprevistas del sistema por falla del 200-K-401.

✓ Impacto de desviar la alimentación del LTRS al mechorrio: en la tabla 5.23 se presenta el costo asociado por parada imprevista del sistema de refrigeración, lo cual requiere el envío de la alimentación del LTRS al mechorrio.

Tabla 5.23 Pérdidas económicas en caso de parada del LTRS

Descripción	Costo asociado U\$/h
H2 no suministrado a Petromonagas	0,08
Consumo de H2 de SUME para PSA 110	18
Isobutileno no recuperado en equivalentes de MTBE	856,27
Isobutano no recuperado	292,92
Gas Natural adicional de PEQUIVEN	28,19
TOTAL	1.195,46

Como se ha mencionado anteriormente, cuando ocurre una falla en el sistema de refrigeración se origina parada del LTRS, por lo tanto, la alimentación de este sistema se desvía hacia el mechorrio, suspendiendo el envío de hidrógeno a Petromonagas. Adicionalmente, es necesario consumir hidrógeno de Supermetanol para mantener en servicio el PSA de hidrógeno de la unidad 110. Durante el envío de la alimentación del LTRS al mechorrio se quema isobutileno e isobutano (butanos) que son materias primas para la producción de MTBE, y por otra parte, se incurre en un consumo adicional de gas natural proveniente de Pequiven para compensar la corriente de gas del LTRS que se deja de enviar a las calderas para la producción de

vapor. Estos eventos originados por la parada del LTRS implican un costo total de 1.195,46 U\$/h. Finalmente, se tiene que el beneficio viene dado por el costo asociado a las paradas del LTRS en función del tiempo fuera de servicio que se evitaría al colocar un compresor paralelo al 200-K-401:

1. Costo asociado a la corriente de alimentación del LTRS no procesada: **1.195,46 US\$/h.**
2. Tiempo correspondiente a las paradas del LTRS entre los años 2006 y 2010 originadas por el compresor 200-K-401: **1.422 horas.**
3. Beneficio: resulta de la multiplicación de los términos anteriores: **1.699.944,12 U\$.**

No se consideró como beneficio evitar la parada indefinida del sistema por la posible aplicación del Protocolo de Kyoto, ya que existe gran incertidumbre en relación a este tema, la fecha de su posible entrada en vigencia es desconocida. Solo se considera como beneficio, evitar las pérdidas económicas asociadas por parada del LTRS a causa del 200-K-401. Como beneficio adicional, se tiene que, con la aplicación del Amoniaco se elimina la contribución al recalentamiento global del planeta, el cual, es incalculable.

Por otra parte, Súper Octanos manifestó la disposición de aplicar a largo plazo esta propuesta para colaborar con el ambiente, de tal forma que, de aplicarse en un futuro el Protocolo de Kyoto, no se correrá el riesgo de parada indefinida del sistema.

✓ Inversión: Para el estimado de la inversión inicial, se solicitó un estimado de costos del paquete de refrigeración con amoniaco a la reconocida empresa de refrigeración comercial e industrial FES Systems, C.A. (Tabla 5.24).

Tabla 5.24 Inversión Amoniaco.

Equipos	US\$
Skip, Chillers, Compresor adicional	2.387.636,13
Transporte, Fletes e impuestos	907.301,7294
Instalación y Puesta en Marcha	101.256,83
Total	3.396.194,69

El estimado de costos incluye: el paquete de refrigeración con amoniaco, los intercambiadores usuarios y un compresor adicional paralelo al 200-K-401, también se incluye el transporte, fletes e impuestos y la instalación del paquete de refrigeración en planta. A continuación se muestra el flujo de efectivo para el Amoniaco en la tabla 5.25.

Tabla 5.25 Flujo de efectivo para la propuesta del Amoniaco.

Montos en US\$						
Año--->	0	1	2	3	4	5
Inversión	3.396.195					
Beneficios		1.699.944	1.699.944	1.699.944	1.699.944	1.699.944
Costos de operación		339.619	339.619	339.619	339.619	339.619
Refrigerante		4.884		4.884		4.884
Costo de operación total		344.503	339.619	344.503	339.619	344.503
Flujo de caja neto	-3.396.195	1.355.441	1.360.325	1.355.441	1.360.325	1.355.441
Flujo de caja acumulado	-3.396.195	2.040.754	-680.429	675.012	2.035.336	3.390.777

Para los cálculos del VPN se realiza el mismo procedimiento aplicado en la propuesta del R-507. (Apéndice B). En la tabla 5.26 se muestran los resultados.

Tabla 5.26 Resultados del VPN del Amoniaco a diferentes tasas de interés.

i	VPN
5%	2.480.603,48
10%	1.749.365,29
20%	663.150,58

Para determinar la TIR se repite el procedimiento que se realizó para el R-507.

$$\mathbf{TIR = VPN = 0} \quad (5.2)$$

$$\mathbf{VPN = -Inv. I_0 + V_{p1} + V_{p2} + V_{p3} + V_{p4} + V_{p5} = 0}$$

$$\mathbf{VPN = -3.396.194,7 + \frac{1.355.441}{(1+0,2860613)} + \frac{1.360.325}{(1+0,2860613)^2} + \frac{1.355.441}{(1+0,2860613)^3} + \frac{1.360.325}{(1+0,2860613)^4} + \frac{1.355.441}{(1+0,2860613)^5}}$$

$$\mathbf{VPN = 0}$$

TIR: 28,6061%

Tiempo de pago: 2,5 años → 30 meses.

Consideraciones:

Horizonte económico: 5 años.

Costos de operación: 10% de la inversión.

Mano de obra.

Materiales.

Mantenimiento.

Refrigerante: 3000Kg de carga cada dos años. 3000Kg = 4.883,72US\$.

Costos de operación total: costos de operación + refrigerante.

La inversión inicial para el Amoniaco es rentable a una tasa menor de 28,6%, que se retornaría en aproximadamente 2.5 años.

5.3.3.3 Selección de la propuesta: A continuación se presenta en la tabla 5.27 un resumen de la evaluación económica de los dos refrigerantes seleccionados del análisis técnico y la sugerencia para la empresa.

Tabla 5.27 Resumen del VPN y TIR.

	R-507	Amoniaco
VPN (20%)	24.034.708	552.625
TIR (%)	7083,00	28,60

Se observa en la tabla 5.27 que las dos opciones: el R-507 y el Amoniaco son rentables, el R-507 con un retorno de la inversión en apenas 5 días a partir del año 2015, y el amoniaco en un horizonte de 2.5 años de implementarse en el año 2011, ya que a partir del año 2015 también se debe incluir en el VPN, el beneficio de 8.274.816 \$US anuales por evitar la parada indefinida del LTRS. Evidentemente, se destaca el R-507 por su alto VPN a una tasa del 20 %, sin embargo, adicional al análisis económico, se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos técnicos del amoniaco que no fueron cuantificados económicamente:

El principal motivo para el reemplazo es el impacto ambiental que causa el R-22; comparando el Amoniaco con el R-507, se tiene que el Amoniaco es un refrigerante natural que no deteriora el ambiente, mientras que el R-507 tiene un alto GWP contribuyendo al calentamiento global del planeta.

La propuesta del amoníaco considera el reemplazo de los equipos actuales del sistema de refrigeración del LTRS, los cuales tienen 20 años en servicio. Esto beneficia al sistema ya que se colocarían equipos nuevos, minimizando los costos de mantenimiento en comparación con la propuesta del R-507, la cual requiere de un mantenimiento más costoso para incrementar la vida útil de los equipos actuales.

El Amoníaco es el único refrigerante propuesto que se produce en Venezuela, por lo tanto, el costo del producto es menor al del R-507, y por tal motivo, tiene alta disponibilidad en el mercado, a diferencia del R-507 el cual es importado, lo que implica un alto costo del refrigerante y disponibilidad incierta.

Por las razones expuestas, dentro de los refrigerantes existentes actualmente en el mercado que no deterioran la capa de ozono, el Amoníaco es el más adecuado para realizar el reemplazo del R-22, sin embargo, se mantiene como propuesta de inversión a corto plazo el refrigerante R-507.

5.4 Análisis de modo y efecto de falla (AMEF) al equipo crítico del sistema

Como resultado del análisis realizado en el punto 5.1, referido a la situación actual del LTRS, se obtuvo como equipo más crítico del sistema, el compresor de refrigeración 200-K-401 (tabla 5.6). Adicionalmente, en la propuesta de aplicación del Amoníaco, se consideró la instalación de un compresor en paralelo como respaldo del 200-K-401, aprovechando la oportunidad que brinda esta propuesta de poder realizar cambios al arreglo existente, al requerir el reemplazo total de los equipos del sistema de refrigeración del LTRS.

Por otra parte, independientemente de la propuesta de refrigerante seleccionada, se consideró mejorar la confiabilidad del sistema aplicando la metodología de

mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC), la cual incluye la elaboración de un análisis de modo y efecto de falla (AMEF) al equipo más crítico del sistema.

A continuación, se presenta un AMEF como modelo representativo que proporcionará los posibles escenarios de falla y sus efectos. Para llevar a cabo este análisis, se tomo en cuenta la opinión de expertos del personal técnico de Súper Octanos, para ello, se definió el sistema de lubricación del 200-K-401 para el análisis del MCC, debido a la complejidad del equipo y a las fallas que ha generado en el sistema. La finalidad de este estudio es proporcionar actividades de mantenimiento efectivos que contribuyan a la disminución de las fallas del sistema de lubricación del compresor 200-K-401, y a su vez, del LTRS. Se toma como base el Principio de Pareto para establecer los RPN a tomarse en cuenta para la propuesta de mantenimiento. (Tabla 5.28). (Figura 5.1).

Tabla 5.28 AMEF de proceso.

Sistema: sistema de compresión 200-K-401	Sub-sistema : sistema de lubricación	Responsable: Verónica Rosales												
Función	Falla funcional	Modo y causa de una falla potencial	Efectos y consecuencia potenciales	Gravedad	Ocurrencia	Detección	RPN	Recomendaciones	Intervalo/Unidades	Gravedad	Ocurrencia	Detección	RPN	Responsabilidad, Fecha objetivo, Acción tomada
Sistema de lubricación: transportar aceite al compresor con una presión de [16;20] Kg/cm ² a una temperat	No transporta	Contactor de la bomba de aceite se dispara antes de que arranque el compresor debido al exceso de consumo de corriente en el motor de la bomba de aceite	Se activa alarma y se dispara el compresor. Se ven impactados la producción y el ambiente por un espacio de 4 horas.	8	4	10	320							

<p>ura entre [28;68] °C, con un nivel de aceite situado por encima de la parte superior del visor inferior, con un grado de impureza según código ISO menor a 20/18/15</p>	<p>Contactor de la bomba de aceite se dispara antes de que arranque el compresor debido a que la bomba esta atascada</p>	<p>Se activa alarma y se dispara el compresor. Se ven impactados la producción y el ambiente por un espacio de 2 horas</p>	8	2	10	160							
	<p>Desprendimiento del vástago de la válvula de descarga por desgaste</p>	<p>Se dispara el compresor. Se ven impactados la producción y el ambiente por un espacio de 4 horas</p>	10	2	10	200							

		El motor de la bomba de aceite no arranca debido a sobrecarga en el motor	Se activa alarma y se dispara el compresor. Se ven impactados la producción y el ambiente por un espacio de 4 horas.	8	3	8	19 2							
		El motor de la bomba de aceite se para inesperadamente debido a desajuste en la bornera de conexión	Se activa alarma y se dispara el compresor. Se ven impactados la producción y el ambiente por un espacio de 2	8	1	1 0	80							

			horas											
--	--	--	-------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Continuación Tabla 5.28.

Sistema : sistema de compresión 200-K-401		Sub-sistema: sistema de lubricación		Responsable: Verónica Rosales										
Función	Falla funcional	Modo y causa de una falla potencial	Efectos y consecuencia potenciales	Gravedad	Ocurrencia	Detección	RP N	Recomendaciones	Intervalo/Unidades	Gravedad	Ocurrencia	Detección	RP N	Responsabilidad, Fecha objetivo, Acción tomada
		El motor de la bomba de aceite se para inesperada mente debido a recalentamiento en embobinad	Se activa alarma y se dispara el compresor. Se ven impactados la producción y el ambiente por un	8	6	7	336							

	o	espacio de 4 horas.											
	El motor de la bomba de aceite se para inesperadamente debido a un cortocircuito de fases	Se activa alarma y se dispara el compresor. Se ven impactados la producción y el ambiente por un espacio de 8 horas.	8	2	10	160							
	El motor de la bomba de aceite no arranca debido a un desbalance de fases	Se activa alarma y se dispara el compresor. Se ven impactados la producción y el ambiente por un espacio de 2 horas.	8	4	10	320							

	Transp orta pero con Presión de aceite < 16 kg/cm²	Restricción en el filtro de aceite debido a exceso de suciedad	Se activa alarma por baja presión de aceite lo que puede significar daño en los componentes internos. Tiene un impacto sobre la producción y el ambiente. Se coloca el filtro stand by lo que se lleva 20 min aproximada mente.	6	1 0	8	48 0							
		Válvula reguladora no funciona debido al vencimient o del resorte	Se activa alarma por baja presión de aceite lo que puede significar daño en los componentes internos.	8	2	1 0	16 0							

		Rotura del filtro debido a que la suciedad sobre pasa la capacidad de resistencia	Se activa alarma por baja presión de aceite lo que puede significar daño en los componentes internos. Tiene un impacto sobre la producción y el ambiente por un tiempo de 6 horas.	8	3	8	192							
		Desprendimiento de los componentes del filtro debido a mala	Se activa alarma por baja presión de aceite lo que	8	1	8	64							

		instalación	puede significar daño en los componentes internos. Tiene un impacto sobre la producción y el ambiente por un tiempo de 3 horas.												
		Insuficiencia en la capacidad de la bomba de aceite debido a desgaste interno de la bomba	Se activa alarma por baja presión de aceite lo que puede significar daño en los componentes	8	4	8	256								

			internos. Tiene un impacto sobre la producción y el ambiente por un tiempo de 2 horas.										
	Transporta pero con Temperatura > 49°C	Suciedad en el intercambiador debido a residuos del agua de enfriamiento	Se activa alarma por alta temperatura lo que puede acarrear daño en los componentes internos. Tiene un impacto sobre la producción y el	8	10	8	640	Se recomienda un monitoreo de temperatura en la entrada y salida del intercambiador, para detectar la caída de eficiencia del mismo. Adicionalmente, la instalación de un filtro	Monitoreo: diario				

			ambiente por un tiempo de 2 horas.					con bypass antes del intercambiador, de manera que restrinja la entrada de impurezas al equipo. Recomendación a cargo de sala de control y producción.					
--	--	--	------------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Continuación Tabla 5.28.

Sistema: sistema de comprensión 200-K-401	Sub-sistema: sistema de lubricación	Responsable: Verónica Rosales											
Función	Falla funcional	Modo y causa de una falla	Efectos y consecuencias	RP	Recomendaciones	Intervalo/Unidades	RP	Responsabilidad,					

		potencial	ncia potencial es											Fecha objetivo, Acción tomada
		Desprendimiento del vástago/tapón de la válvula en la línea de enfriamiento por desgaste	Se activa alarma por alta temperatura lo que puede acarrear daño en los componentes internos. Tiene un impacto sobre la producción y el ambiente por un tiempo de 4 horas.	8	3	8	19 2							

		Fuga en la línea de agua de enfriamiento debido a ruptura	Se activa alarma por alta temperatura lo que puede acarrear daño en los componentes internos. Tiene un impacto sobre la producción y el ambiente por un tiempo de 4 horas.	8	4	5	160							
Transporta pero con el nivel de aceite por		Fuga externa de aceite debido a desajuste de bridas	Se activa alarma por bajo nivel de aceite o se deja	8	5	8	320							

	debajo de la especificación	de visualizar aceite en el visor inferior, lo que conlleva a daño en los componentes internos. Tiene un impacto sobre la producción y el ambiente por un tiempo de 2 horas.												
	Fuga externa de aceite debido a rotura en las tuberías	Se activa alarma por bajo nivel de aceite o se deja	8	3	5	120								

		de visualizar aceite en el visor inferior, lo que conlleva a daño en los componentes internos. Tiene un impacto sobre la producción y el ambiente por un tiempo de 4 horas.											
		Fuga externa debido a desajuste en el prensaempa	Se activa alarma por bajo nivel de aceite o se deja	8	4	8	25 6						

Continuación Tabla 5.28.

Sistema : sistema de compresión 200- K-401	Sub-sistema : sistema de lubricación	Responsable: Verónica Rosales												
Función	Falla funcional	Modo y causa de una falla potencial	Efectos y consecuencia potenciales	Gravedad	Ocurrencia	Detección	RP N	Recomendaciones	Intervalo/Unidades	Gravedad	Ocurrencia	Detección	RP N	Responsabilidad, Fecha objetivo, Acción tomada
		Fuga externa debido a mala instalación del filtro	Se activa alarma por bajo nivel de aceite o se deja de visualizar aceite en el visor inferior, lo que conlleva	6	1	8	48							

			a daño en los componentes internos. Tiene un impacto sobre la producción y el ambiente por un tiempo de 20 min.										
		Fuga externa debido a que la empacadura de tapa del filtro está defectuosa	Se activa alarma por bajo nivel de aceite o se deja de visualizar aceite en el visor inferior, lo que conlleva a daño en los compo	6	4	8	19 2						

		ntes internos. Tiene un impacto sobre la producción y el ambiente por un tiempo de 20 min.											
		Fuga interna de aceite debido a rotura en el intercambiador	Se activa alarma por bajo nivel de aceite o se deja de visualizar aceite en el visor inferior, lo que conlleva a daño en los componentes internos. Tiene un	8	4	8	25 6						

		impacto sobre la producción y el ambiente por un tiempo de 6 horas.												
		El aceite no retorna al cárter del compresor debido a la mezcla del aceite con el refrigerante	Se activa alarma por bajo nivel de aceite o se deja de visualizar aceite en el visor inferior, lo que conlleva a daño en los componentes internos. Tiene un impacto sobre la producción	8	10	8	640	Se recomienda el estudio completo del sistema para detectar la causa de la disminución en la recuperación del aceite, así mismo, el entrenamiento o del personal para actuar al presentarse la falla. Recomendación a cargo de	A la brevedad posible					

			ón y el ambiente por un tiempo de 3 horas.					producción.						
--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--

Continuación Tabla 5.28.

Sistema : sistema de compresión 200-K-401	Sub-sistema: sistema de lubricación	Responsable: Verónica Rosales												
Función	Falla funcional	Modo y causa de una falla potencial	Efectos y consecuencia potenciales	Gravedad	Ocurrencia	Detección	RP N	Recomendaciones	Intervalo/Unidades	Gravedad	Ocurrencia	Detección	RP N	Responsabilidad, Fecha objetivo, Acción tomada
	Transp orta con Grado de impureza >	Contacto entre metales debido a la alta vibración	Se visualiza mediante rondas operacionales y puede ocasionar	9	4	7	252							

	20/18/15	daño en los componentes internos. Tiene un impacto sobre la producción y el ambiente por un tiempo de 3 días.											
		Se deja de visualizar aceite en el visor inferior. Daño en los componentes internos. Tiene un impacto sobre la producción y el ambiente por un tiempo de 6 horas	8	4	7	22 4							

		<p>Contacto entre metales debido a la alta temperatura en el aceite</p> <p>Se activa alarma por alta temperatura, Recalentamiento en el sistema. Tiene un impacto sobre la producción y el ambiente por un tiempo de 2 días</p>	9	2	7	12 6								
--	--	---	---	---	---	---------	--	--	--	--	--	--	--	--

Total RPN: 6346

20% del total RPN: 1269

Los RPN con un valor de 640 acumulan el 20% de las fallas, por lo tanto, se establecen recomendaciones para los modos de falla con dichos RPN. (Figura 5.1).

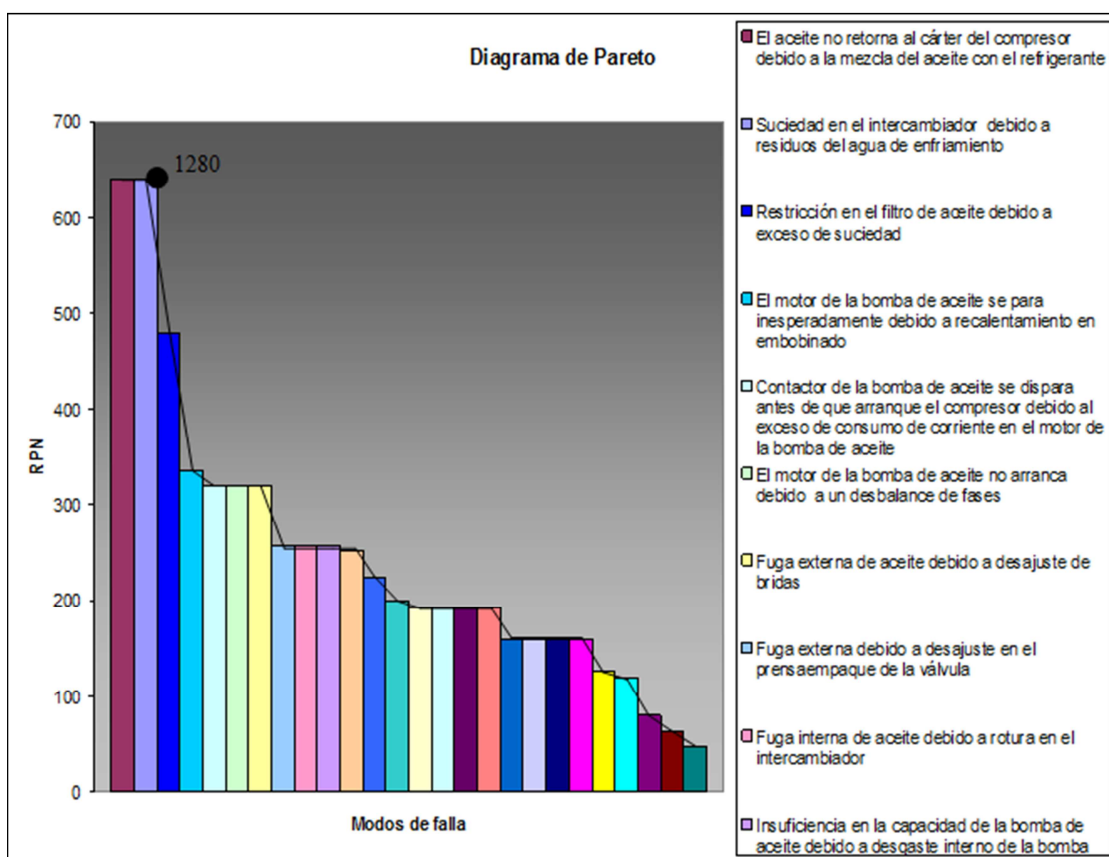


Figura 5.1 Diagrama de Pareto.

Al ordenar en forma descendente los RPN resultantes de cada modo de falla, se obtiene que la suma de los dos (2) primeros es de 1280, cubriendo el valor del 20% considerado por el Principio de Pareto para este caso (1269), por lo tanto, a estos

modos de falla se les debe asignar actividades efectivas de mantenimiento para lograr disminuir el 80% de las fallas presentadas por el sistema de lubricación del compresor 200-K-401.

Como resultado del análisis tenemos:

Para el modo de falla: Suciedad en el intercambiador debido a residuos del agua de enfriamiento se recomienda un monitoreo de temperatura en la entrada y salida del intercambiador, para detectar la caída de eficiencia del mismo. Adicionalmente, la instalación de un filtro con bypass antes del intercambiador, de manera que restrinja la entrada de impurezas al equipo. Recomendación a cargo de sala de control y producción de forma diaria.

Para el modo de falla: el aceite no retorna al cárter del compresor debido a la mezcla del aceite con el refrigerante se recomienda el estudio completo del sistema para detectar la causa de la disminución en la recuperación del aceite, así mismo, el entrenamiento del personal para actuar al presentarse la falla. Recomendación a cargo de producción a realizarse a la brevedad posible.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Aplicadas las metodologías de costo-beneficio para el reemplazo del refrigerante Freón R-22 en el LTRS, y de mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC) para el incremento de la confiabilidad, se formulan las siguientes conclusiones:

✓ En el historial de fallas del LTRS desde enero 2006 hasta junio 2010, se contabilizaron 30 paradas imprevistas, equivalentes a 2549 horas del sistema fuera de servicio. El 55,8 % de estas fallas, con un acumulado de 1422 horas, se originó por la parada del compresor 200-K-401, destacándose la deficiencia del sistema de lubricación del equipo, el cual representó el 36 % de las paradas del compresor, y a su vez, el 20 % del total de paradas del LTRS.

✓ La información disponible sobre los refrigerantes existentes en el mercado presenta cierta incertidumbre, y en algunos casos, contradicción, ya que es un tema actualmente en desarrollo, por tal motivo, fue difícil ubicar una clara información, sin embargo, a través de consultas con expertos se aclararon aspectos técnicos que permitieron realizar el análisis.

✓ De la evaluación de las ventajas y desventajas de los refrigerantes existentes en el mercado, se determinó que no existe un refrigerante ideal, ya que cada uno tiene ciertas desventajas, unas más impactantes que otras, sin embargo, se concluye que el Amoniaco es el refrigerante que presenta mayores beneficios.

✓ El Amoniaco es un refrigerante puro, compatible con el aceite mineral que actualmente se usa en el sistema de refrigeración, es producido a nivel nacional, tiene mayor eficiencia energética y mayor capacidad de refrigeración que el R-22, y lo más importante, no deteriora la capa de ozono y no contribuye con el calentamiento global. La desventaja del Amoniaco es su característica de inflamable y tóxico, por lo tanto, se deben considerar las medidas de seguridad recomendadas para el manejo de este producto.

✓ A diferencia del Amoniaco, el resto de los refrigerantes disponibles en el mercado como posibles sustitutos del Freón R-22, contribuyen con el calentamiento global, por lo tanto, no se deberían aplicar como solución definitiva, ya que el motivo principal para el reemplazo del R-22 es netamente por impacto ambiental.

✓ Como solución temporal para el reemplazo del R-22, se concluyó que la mejor alternativa es el refrigerante R-507, ya que su aplicación es sencilla y económica al no requerir cambios mayores en el sistema.

✓ Del estudio costo – beneficio, se concluye que la aplicación del R-507 es altamente rentable en comparación con la aplicación del Amoniaco, con un VPN igual a 24.034.708 \$US Vs. 663.150,58 \$US para el amoniaco a una tasa del 20 %, sin embargo, se debe considerar que el precio unitario del producto supera en un 1000 % el precio del Amoniaco por tratarse de un producto de importación, esto hace que su disponibilidad no esté garantizada.

✓ El reemplazo del R-22 por el R-507, tiene un retorno de la inversión de apenas 5 días a partir del año 2015, mientras que el amoniaco, en un horizonte de 2.5 años de implementarse entre los años 2011 – 2012, ya que a partir del año 2015 se considera el beneficio adicional de 8.274.816 \$US anuales por evitar la parada indefinida del LTRS debido a la aplicación de la Gaceta Oficial N° 38392.

✓ Del AMEF realizado al sistema de lubricación del compresor 200-K-401, se determinó que los modos de falla que representan el 20 % de las causas de paradas de este sistema son: El aceite no retorna al cárter del compresor debido a la mezcla de aceite con refrigerante; y suciedad en el intercambiador debido a residuos del agua de enfriamiento.

Recomendaciones

✓ Reemplazar el Freón R-22 del sistema de refrigeración del LTRS por el Amoniaco como sustituto definitivo.

✓ Debido a la aplicación de la Gaceta Oficial N° 38392 a partir del año 2015 y considerando el alto costo de la aplicación del amoniaco, se recomienda sustituir temporalmente el Freón R-22 por el refrigerante R-507, como una solución rápida para evitar parada indefinida del LTRS.

✓ Realizar un estudio técnico detallado del LTRS, específicamente del sistema de refrigeración, para confirmar la compatibilidad de los productos seleccionados como posibles sustitutos del Freón R-22 con los equipos y materiales del sistema.

✓ Ubicar información técnica más detallada de la Caja Fría del LTRS, ya que existe poca información disponible. Se requiere conocer mejor este sistema para poder emitir recomendaciones acertadas en cuanto a su impacto en el reemplazo del refrigerante.

✓ Crear y mantener un registro actualizado de las fallas ocurridas en el sistema de fácil acceso, que contenga información detallada de cada parada.

✓ De aplicar la propuesta del Amoniaco, por tratarse de un producto tóxico, se recomienda la adquisición de detectores de fuga para minimizar el riesgo de exposición del personal que labora en el área del LTRS.

✓ Debido al gran impacto que tiene la parada del compresor 200-K-401 en la operación del LTRS, se recomienda modificar el arreglo actual del sistema colocando un compresor en paralelo al existente que funcione como respaldo del 200-K-401.

✓ Para el modo de falla del sistema de lubricación del 200-K-401 “El aceite no retorna al cárter del compresor debido a la mezcla de aceite con refrigerante” se recomienda realizar un estudio completo del sistema para detectar la causa de la disminución en la recuperación del aceite.

✓ Para el modo de falla del sistema de lubricación del 200-K-401 “Suciedad en el intercambiador debido a residuos del agua de enfriamiento” se recomienda mantener monitoreo frecuente de temperatura en la entrada y salida del intercambiador, para detectar la disminución de eficiencia de intercambio. Adicionalmente, se recomienda la instalación de un filtro con desvío antes del intercambiador, de manera que restrinja la entrada de impurezas al equipo.

REFERENCIAS

Balestrini, M. (1997) **COMO SE ELABORA EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**. BL Consultores Asociados. Servicio Editorial. Caracas, Venezuela, pp. 25-28.

Brooktherm. (2009). **THE BROOKTHERM 2010 REPLACEMENT PROGRAMME**. Londres, Inglaterra, Boletín p. 1

Eckhoff, Wolfgang. (2009). **R22- SUBSTITUTION – WHAT HAS TO BE CONSIDERED?**. 20 de Marzo 2010. [www.fuchs-europe.de].

Ellman, Enrique (2008). **CONFIABILIDAD, UNA ESTRATÉGIA DE NEGOCIOS DIFERENTE**. 26 de Marzo 2010. [<http://docs.google.com/viewer?a>]

Gutiérrez, Fernando. (2009). **ARTÍCULO N° 22: DOS MENSAJES MEDIOAMBIENTALES**. España. P 14.

Heap, Howard, Nowlan, F. Stanley (1978). **RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE**. United Airlines and Dolby Press. Anexo. 4-4.

Heap, Howard, Nowlan, F. Stanley (1978). **RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE**. United Airlines and Dolby Press. Glossary. p 463.

Hurtado de Barrera, J. (2000). **EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**. Edición SYPAL, pp 54-72.

Milanese, Donato (1990). **MANUAL DE PROCESO**. Jose, Venezuela, p. 99.

Morales Díaz, Leonel (2008). **ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO**. 26 marzo 2010. [<http://www.ingenieriasimple.com/problemas>].

Normas para regular y controlar el consumo, la producción, importación, exportación y el uso de las sustancias agotadoras de la capa de ozono. (2006, Marzo 7) **GACETA OFICIAL DELA REPÚBLICA DE VENEZUELA N° 38.392** Marzo, 2010.

Sabino, C. (1986) **EL PROCESO DE LA INVESTIGACIÓN**. Editorial Panapo. Caracas, Venezuela, pp. 48-51.

Santos, Antonio. (1992). **EL AMONIACO COMO REFRIGERANTE UN MÉTODO DEMOSTRADO**. Revista Danfoss, volumen 1, p 14.

Súper Octanos, C.A. **MANUAL DE PROCESOS GESTIÓN DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO Y CONFIABILIDAD**. GIMC-P-01. P 4.

Váquiro, José Didier (2010). **EL VALOR PRESENTE NETO – VPN**. 23 Junio 2010. [<http://www.pymesfuturo.com/vpneto.htm>].

Váquiro, José Didier (2010). **TASA INTERNA DE RETORNO – TIR**. 23 Junio 2010. [<http://www.pymesfuturo.com/tiretorno.htm>].

APÉNDICES

APÉNDICE A

Cálculos del valor presente neto para el R-507

Tasa de interés $i=5\%$

Con la ecuación 3.1 se procede a calcular el valor presente en cada año con una tasa de interés $i=5\%$

$$V_{p1} = \frac{7.983.187,58}{(1+0,05)} = 7.603.035,79$$

$$V_{p2} = \frac{8.217.187,58}{(1+0,05)^2} = 7.453.231,36$$

$$V_{p3} = \frac{7.983.187,58}{(1+0,05)^3} = 6.896.177,58$$

$$V_{p4} = \frac{8.217.187,58}{(1+0,05)^4} = 6.760.300,55$$

$$V_{p5} = \frac{7.983.187,58}{(1+0,05)^5} = 6.255.036,36$$

Con la ecuación 3.2, se determina el VPN con $i=5\%$

$$\mathbf{VPN} = - \text{Inv. } I_0 + V_{p1} + V_{p2} + V_{p3} + V_{p4} + V_{p5}$$

$$\text{VPN} = - 115.256,83 + 7.603.035,79 + 7.453.231,36 + 6.896.177,58 + 6.760.300,55 + 6.255.036,36$$

$$\text{VPN} = \mathbf{34.852.524,83}$$

Tasa de interés $i = 10\%$

Con la ecuación 3.1 se procede a calcular el valor presente en cada año con una tasa de interés $i = 10\%$

$$V_{p1} = \frac{7.983.187,58}{(1 + 0,1)} = 7.257.443,25$$

$$V_{p2} = \frac{8.217.187,58}{(1 + 0,1)^2} = 6.791.064,12$$

$$V_{p3} = \frac{7.983.187,58}{(1 + 0,1)^3} = 5.997.886,98$$

$$V_{p4} = \frac{8.217.187,58}{(1 + 0,1)^4} = 5.612.449,68$$

$$V_{p5} = \frac{7.983.187,58}{(1 + 0,1)^5} = 4.956.931,39$$

Con la ecuación 3.2, se determina el VPN con $i = 10\%$

$$\text{VPN} = - 115.256,83 + 7.257.443,25 + 6.791.064,12 + 5.997.886,98 + 5.612.449,68 + 4.956.931,39$$

$$\text{VPN} = \mathbf{30.500.518,59}$$

Tasa de interés $i = 20\%$

Con la ecuación 3.1 se procede a calcular el valor presente en cada año con una tasa de interés $i = 20\%$

$$V_{p1} = \frac{7.983.187,58}{(1+0,2)} = 6.652.656,32$$

$$V_{p2} = \frac{8.217.187,58}{(1+0,2)^2} = 5.706.380,26$$

$$V_{p3} = \frac{7.983.187,58}{(1+0,2)^3} = 4.619.900,22$$

$$V_{p4} = \frac{8.217.187,58}{(1+0,2)^4} = 3.962.764,07$$

$$V_{p5} = \frac{7.983.187,58}{(1+0,2)^5} = 3.208.264,04$$

Con la ecuación 3.2, se determina el VPN con $i=20\%$

$$\mathbf{VPN} = - 115.256,83 + 6.652.656,32 + 5.706.380,26 + 4.619.900,22 + 3.962.764,07 + 3.208.264,04$$

$$\mathbf{VPN} = \mathbf{24.034.708,08}$$

APÉNDICE B

Cálculos del valor presente neto para el Amoniaco

Tasa de interés $i=5\%$

Con la ecuación 3.1 se procede a calcular el valor presente en cada año con una tasa de interés $i=5\%$

$$V_{p1} = \frac{1.355.441}{(1+0,05)} = 1.290.896,19$$

$$V_{p2} = \frac{1.360.325}{(1+0,05)^2} = 1.233.854,87$$

$$V_{p3} = \frac{1.355.441}{(1+0,05)^3} = 1.170.880,89$$

$$V_{p4} = \frac{1.360.325}{(1+0,05)^4} = 1.119.142,74$$

$$V_{p5} = \frac{1.355.441}{(1+0,05)^5} = 1.062.023,49$$

Con la ecuación 3.2, se determina el VPN con $i=5\%$

$$\text{VPN} = - \text{Inv. } I_0 + V_{p1} + V_{p2} + V_{p3} + V_{p4} + V_{p5}$$

$$\text{VPN} = - 3.396.194,7 + 1.290.896,19 + 1.233.854,87 + 1.170.880,89 + 1.119.142,74 + 1.062.023,49$$

$$\text{VPN} = \mathbf{2.480.603,48}$$

Tasa de interés $i = 10\%$

Con la ecuación 3.1 se procede a calcular el valor presente en cada año con una tasa de interés $i = 10\%$

$$V_{p1} = \frac{1.355.441}{(1 + 0,1)} = 1.232.219,09$$

$$V_{p2} = \frac{1.360.325}{(1 + 0,1)^2} = 1.124.235,53$$

$$V_{p3} = \frac{1.355.441}{(1 + 0,1)^3} = 1.018.362,88$$

$$V_{p4} = \frac{1.360.325}{(1 + 0,1)^4} = 929.120,27$$

$$V_{p5} = \frac{1.355.441}{(1 + 0,1)^5} = 841.622,22$$

Con la ecuación 3.2, se determina el VPN con $i=10\%$

$$\text{VPN} = - 3.396.194,7 + 1.232.219,09 + 1.124.235,53 + 1.018.362,88 + 929.120,27 + 841.622,22$$

$$\text{VPN} = 1.749.365,29$$

Tasa de interés $i = 20\%$

Con la ecuación 3.1 se procede a calcular el valor presente en cada año con una tasa de interés $i = 20\%$

$$V_{p1} = \frac{1.355.441}{(1 + 0,2)} = 1.129.534,16$$

$$V_{p2} = \frac{1.360.325}{(1 + 0,2)^2} = 944.670,14$$

$$V_{p3} = \frac{1.355.441}{(1 + 0,2)^3} = 784.398,72$$

$$V_{p4} = \frac{1.360.325}{(1 + 0,2)^4} = 656.020,93$$

$$V_{p5} = \frac{1.355.441}{(1 + 0,2)^5} = 544.721,33$$

Con la ecuación 3.2, se determina el VPN con $i=20\%$

$$\text{VPN} = - 3.396.194,7 + 1.129.534,16 + 944.670,14 + 784.398,72 + 656.020,93 + 544.721,33$$

VPN= 663.150,58

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/5

Título	Análisis costo-beneficio para reemplazo del refrigerante e incremento de la confiabilidad del Sistema de Recuperación de Butanos a Baja Temperatura de la Unidad de Deshidrogenación de la empresa productora de M.T.B.E.- Estado Anzoátegui.
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Rosales A., Verónica M.	CVLAC	18450136
	e-mail	Veronica412r@hotmail.com
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Palabras o frases claves:

Costo-beneficio
Confiabilidad
AMEF
VPN
TIR
Refrigerante
Árbol lógico de decisión

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/5

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Departamento de Ingeniería Industrial	Ingeniería Industrial

Resumen (abstract):

La investigación tuvo como objetivo principal analizar el costo-beneficio para el reemplazo del refrigerante e incremento de la confiabilidad del Sistema de Recuperación de Butanos a Baja Temperatura (LTRS) de la unidad de deshidrogenación de la planta productora de Metil Terbutil Éter (MTBE) del estado Anzoátegui. Se tomó como población la unidad de deshidrogenación y como muestra el LTRS, debido al requerimiento de la empresa de realizar un estudio para reemplazar el refrigerante actual Freón R-22, ya que según gaceta oficial, decreto N° 4335, artículo 2, el R-22 saldrá del mercado a partir del año 2015 por sus efectos negativos sobre la capa de ozono. Se realizó un estudio costo-beneficio para seleccionar el refrigerante que mejor se adaptara al sistema, resultando R-507 y amoníaco, como opciones de reemplazo a corto y largo plazo, respectivamente. El amoníaco, aunque ofrece mayores beneficios, requiere una inversión considerablemente mayor según los indicadores de rentabilidad: valor presente neto y tasa interna de retorno. Adicionalmente, se analizó el historial de fallas del LTRS para determinar el equipo crítico del sistema con la finalidad de aplicar metodologías de confiabilidad que permitan mejorar el desempeño del mismo. El equipo 200-K-401 presentó la mayor frecuencia de fallas, principalmente, por deficiencia de lubricación. Se aplicaron las metodologías de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF) y árbol lógico de decisiones para proponer planes de mantenimiento efectivos que permitan disminuir la frecuencia de fallas del equipo, y así, incrementar la confiabilidad del sistema. Se estableció el principio de Pareto, el 20% de las acciones producirá el 80% de los efectos, para ello, se determinó el Nivel de Riesgo (RPN) por causa de falla, y se recomendaron acciones de mantenimiento para el primer 20% de las causas totales, ordenadas de mayor a menor, según el RPN.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/5

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
Arciniegas R., Marilín	ROL	C <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> T <input checked="" type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/> x
	CVLAC	17381584
	e-mail	arciniegasmarilyn@yahoo.com
	e-mail	
Franco, Luis	ROL	C <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/> x
	CVLAC	8895654
	e-mail	Luisjosefranco67@yahoo.com
	e-mail	
Castellano, César	ROL	C <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/> x
	CVLAC	4898838
	e-mail	Rc_cesarcast@yahoo.com
	e-mail	
	ROL	C <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/>
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Fecha de discusión y aprobación:

Año Mes Día

2010	10	8
------	----	---

Lenguaje: spa

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/5

Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
Tesis- Análisis costo-beneficio para reemplazo del refrigerante.doc	Application/msword

Caracteres permitidos en los nombres de los archivos: **A B C D E F G H I J K L M
N O P Q R S T U V W X Y Z a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z 0 1 2
3 4 5 6 7 8 9 _ - .**

Alcance:

Espacial: Súper Octanos, C.A. (Opcional)

Temporal: _____ (Opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo: Ingeniero Industrial

Nivel Asociado con el Trabajo: Pre-grado

Área de Estudio: Departamento de Ingeniería Industrial

Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado: Universidad de Oriente

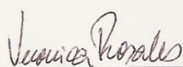
Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/5

Derechos:

De acuerdo al artículo 44 del reglamento de trabajos de grado

**“Los Trabajos de grado son exclusiva propiedad de la
Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizadas a otros
fines con el consentimiento del consejo de núcleo respectivo,
quien lo participara al Consejo Universitario”**

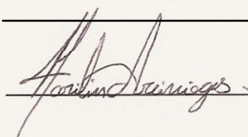
Condiciones bajo las cuales los autores aceptan que el trabajo sea distribuido. La idea es dar la máxima distribución posible a las ideas contenidas en el trabajo, salvaguardando al mismo tiempo los derechos de propiedad intelectual de los realizadores del trabajo, y los beneficios para los autores y/o la Universidad de Oriente que pudieran derivarse de patentes comerciales o industriales.



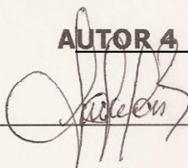
AUTOR 1

AUTOR 2

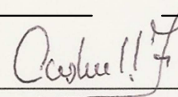
AUTOR 3



TUTOR

AUTOR 4


JURADO 1



JURADO 2

POR LA SUBCOMISION DE TESIS:

