



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**



**EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE UN ADITIVO DEL LUBRICANTE EN LA
EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN**

Tutor académico:

Prof. Galo Ruíz.

Tutor industrial:

Ing. Enrique Cossé

Autores:

ABDUL HAMID, Omar

PÉREZ, Marlon

Jurado: Prof. Carlos Jiménez

Prof. Jorge Rey Lago

Valencia, Mayo de 2011



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**



**EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE UN ADITIVO DEL LUBRICANTE EN LA
EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN**

Tutor académico:

Prof. Galo Ruíz

Tutor industrial:

Ing. Enrique Cossé

Autores:

ABDUL HAMID, Omar

PÉREZ, Marlon

Valencia, Mayo de 2011



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**



**EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE UN ADITIVO DEL LUBRICANTE EN LA
EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN**

*Trabajo especial de grado presentado ante la ilustre
Universidad de Carabobo para optar al
título de Ingeniero Electricista*

**ABDUL HAMID, Omar
PÉREZ, Marlon**

Valencia, Mayo de 2011



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**



CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado para estudiar el Trabajo Especial de Grado titulado: **“EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE UN ADITIVO DEL LUBRICANTE EN LA EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN”**, realizado por los bachilleres: Abdul Hamid H., Omar, C.I: 17.570.545 y Pérez C., Marlon X., C.I: 19.197.440, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo y que no nos hacemos responsables de su contenido, pero lo encontramos correcto en su forma y presentación.

Prof. Galo Ruíz

Presidente

Prof. Carlos Jiménez

Jurado

Prof. Jorge Rey Lago

Jurado

Valencia, Mayo de 2011

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios.

A nuestros padres y hermanos.

A nuestra familia y amigos.

Al ingeniero Galo Ruíz, nuestro tutor académico.

Al ingeniero Jorge Romero.

Al ingeniero Carlos Jiménez y demás profesores.

A los ingenieros Patrick Van De Wall, Enrique Cossé y Carlos Rojas.

A Mary Herrera y Eberto Bolaños.

A Carla Parra.

A Subner Tirado, Leonardo Peña, Luis Ruiz y Pedro Hernández.

Omar Abdul Hamid H.

Marlon X. Pérez C.

RESUMEN

En el presente trabajo se proyectó la evaluación del impacto de un aditivo en la eficiencia de un sistema de refrigeración. Esto se llevó a cabo en dos unidades de refrigeración encargadas de climatizar el segundo piso del edificio principal de la empresa (Industrias Venoco). Se dividió la evaluación en dos períodos de tiempo, el primero estuvo enfocado a la elaboración de una base de datos para tener un historial acerca de la condición inicial de los equipos, para esto se realizó el registro y medición de variables específicas para determinar el trabajo del compresor, la capacidad de refrigeración del sistema, análisis de vibración y estudios físico-químicos del aceite en uso; el segundo período del trabajo de campo constituyó el mismo procedimiento de la etapa anterior pero con la incorporación del aditivo en las unidades de refrigeración. Entonces, a partir de la rigurosa observación y comparación de los resultados obtenidos en los análisis de aceites, estudios de vibración y el cálculo de los parámetros necesarios para determinar la eficiencia del sistema en las dos etapas de la evaluación, se logró llegar a las conclusiones globales de la investigación, entre las que se encuentra que después de agregar el aditivo se dió lugar a una reducción del trabajo del compresor, hecho que está íntimamente relacionado con un ahorro de consumo energético, además de observarse una disminución del movimiento vibratorio de la máquina.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I. EL PROBLEMA	
1.1. LA EMPRESA.....	2
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.3. OBJETIVOS.....	4
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	5
1.5. ALCANCE.....	6
1.6. LIMITACIONES.....	6
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	8
2.2 BASES TEÓRICAS.....	11
2.2.1. Ciclo de Carnot.....	11
2.2.2 Sistema de Refrigeración.....	13
2.2.3 Descripción del sistema de refrigeración.....	14
2.2.4 Ley de conservación de la energía.....	16
2.2.5 Código de limpieza ISO 4406.....	17
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.....	18
CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO	
3.1. NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	31
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	32
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN.....	33
3.4. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.....	34
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	
4.1. DEFINIR LAS VARIABLES A MEDIR QUE SON NECESARIAS PARA	42

LOGRAR UN ESTUDIO EXHAUSTIVO QUE PERMITA EVALUAR LA INFLUENCIA DEL ADITIVO EN EL SISTEMA.....	
4.2. MEDIR Y REGISTRAR LOS PARÁMETROS NECESARIOS PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD DE REFRIGERACIÓN Y EL TRABAJO DEL COMPRESOR DE DOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN ANTES Y DESPUÉS DE AGREGAR EL ADITIVO.....	48
4.3. MUESTREAR EL ACEITE UTILIZADO EN DOS UNIDADES DE REFRIGERACIÓN CON Y SIN ADITIVO, PARA LUEGO SOLICITAR SU ANÁLISIS DE ACIDEZ, VISCOSIDAD, CONTEO DE PARTÍCULAS, MISCIBILIDAD, FLUIDEZ Y METALES DISUELTOS EN EL LABORATORIO CENTRAL DE LA EMPRESA.....	49
4.4. DETERMINAR LA VIBRACIÓN EN LA PARED DEL COMPRESOR ANTES Y DESPUÉS DE AGREGAR EL ADITIVO.....	59
4.5. COMPARAR LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN CUANTO AL ANÁLISIS DE ACEITE, TRABAJO DEL COMPRESOR, CAPACIDAD DE REFRIGERACIÓN Y ESTUDIO DE VIBRACIÓN PARA EVALUAR LA INFLUENCIA DEL ADITIVO EN LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN.....	60
<i>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i>	
5.1. CONCLUSIONES.....	65
5.2. RECOMENDACIONES.....	66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67
APÉNDICE A.....	70
APÉNDICE B.....	75
APÉNDICE C.....	89
APÉNDICE D.....	104

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 3.1 Instrumento de recolección de datos para determinar la vibración en la pared del compresor.....	39
Tabla 3.2 Tabla comparativa de resultados.....	40
Tabla 3.3 Tabla comparativa de resultados (Código ISO).....	40
Tabla 3.4 Herramienta utilizada para llevar a cabo la comparación de los resultados obtenidos en cuanto a la fluidez de la mezcla virgen del aceite y aditivo con la norma COVENIN1926:1997.....	41
Tabla 4.1 Trabajo y capacidad de refrigeración de los compresores A y B antes de agregar el aditivo.....	48
Tabla 4.2 Trabajo y capacidad de refrigeración de los compresores A y B después de agregar el aditivo.....	49
Tabla 4.3 Análisis del aceite virgen y el aceite usado antes de agregar el aditivo.....	50
Tabla 4.4 Análisis del aceite después de agregar el aditivo.....	50
Tabla 4.5 Datos experimentales obtenidos para determinar la vibración en la pared del compresor (A) antes de agregar el aditivo.....	59
Tabla 4.6 Datos experimentales obtenidos para determinar la vibración en la pared del compresor (B) antes de agregar el aditivo.....	59
Tabla 4.7 Datos experimentales obtenidos para determinar la vibración en la pared del compresor (A) después de agregar el aditivo.....	59
Tabla 4.8 Instrumento de recolección de datos para determinar la vibración en la pared del compresor (B) después de agregar el aditivo.....	60
Tabla 4.9 Comparación de resultados (trabajo, capacidad, vibración).....	60
Tabla 4.10 Comparación de resultados (código ISO).....	62
Tabla A.1 Aceites lubricantes para compresores de refrigeración. Especificaciones de comportamiento.....	70
Tabla A.2 Aceites lubricantes para compresores de refrigeración. Requisitos físico-químicos.....	71

Tabla A.3 Propiedades del aire (sistema internacional).....	71
Tabla A.4 Propiedades del aire (sistema Ingles).....	72
Tabla A.5 Constantes B, C Y n. Para convección natural de aire Sistema Internacional.....	72
Tabla A.6 Tubos de cobre comercial tipo: K, L, M.....	73
Tabla A.7 Niveles de limpieza del aceite de acuerdo con la Norma ISO 4406....	73
Tabla A.8 Propiedades termofísicas de sólidos metálicos seleccionados.....	74
Tabla A.9 Datos típicos del aceite Suniso.....	74
Tabla B.1 Análisis de aceite del Suniso 4GS virgen.....	75
Tabla B.2 Análisis de aceite sin aditivo para el compresor A.....	77
Tabla B.3 Análisis de aceite sin aditivo para el compresor B.....	79
Tabla B.4 Análisis de aceite con aditivo para el compresor A.....	81
Tabla B.5 Análisis de aceite con aditivo para el compresor B.....	83
Tabla B.6 Segundo análisis de aceite con aditivo para el compresor A.....	85
Tabla B.7 Segundo análisis de aceite con aditivo para el compresor B.....	87
Tabla C.1 Datos experimentales obtenidos en la primera medición hecha en el compresor A antes de agregar el aditivo.....	89
Tabla C.2 Datos experimentales obtenidos en la primera medición hecha en el compresor antes de agregar el aditivo.....	89
Tabla C.3 Datos experimentales obtenidos en la segunda medición hecha en el compresor A antes de agregar el aditivo.....	90
Tabla C.4 Datos experimentales obtenidos en la segunda medición hecha en el compresor B antes de agregar el aditivo.....	90
Tabla C.5 Datos experimentales obtenidos en la tercera medición hecha en el compresor A antes de agregar el aditivo.....	91
Tabla C.6 Datos experimentales obtenidos en la tercera medición hecha en el compresor B antes de agregar el aditivo.....	91
Tabla C.7 Datos experimentales obtenidos en la cuarta medición hecha en el compresor A antes de agregar el aditivo.....	92
Tabla C.8 Datos experimentales obtenidos en la cuarta medición hecha en el compresor B antes de agregar el aditivo.....	92
Tabla C.9 Datos experimentales obtenidos en la quinta medición hecha en el compresor A antes de agregar el aditivo.....	93
Tabla C.10 Datos experimentales obtenidos en la quinta medición hecha en el compresor B antes de agregar el aditivo.....	93

Tabla C.11 Datos experimentales obtenidos en la sexta medición hecha en el compresor A antes de agregar el aditivo.....	94
Tabla C.12 Datos experimentales obtenidos en la sexta medición hecha en el compresor B antes de agregar el aditivo.....	94
Tabla C.13 Datos experimentales obtenidos en la séptima medición hecha en el compresor A antes de agregar el aditivo.....	95
Tabla C.14 Datos experimentales obtenidos en la séptima medición hecha en el compresor B antes de agregar el aditivo.....	95
Tabla C.15 Datos experimentales obtenidos en la primera medición hecha en el compresor A después de agregar el aditivo.....	96
Tabla C.16 Datos experimentales obtenidos en la primera medición hecha en el compresor B después de agregar el aditivo.....	96
Tabla C.17 Datos experimentales obtenidos en la segunda medición hecha en el compresor A después de agregar el aditivo.....	97
Tabla C.18 Datos experimentales obtenidos en la segunda medición hecha en el compresor B después de agregar el aditivo.....	97
Tabla C.19 Datos experimentales obtenidos en la tercera medición hecha en el compresor A después de agregar el aditivo.....	98
Tabla C.20 Datos experimentales obtenidos en la tercera medición hecha en el compresor B después de agregar el aditivo.....	98
Tabla C.21 Datos experimentales obtenidos en la cuarta medición hecha en el compresor A después de agregar el aditivo.....	99
Tabla C.22 Datos experimentales obtenidos en la cuarta medición hecha en el compresor B después de agregar el aditivo.....	99
Tabla C.23 Datos experimentales obtenidos en la quinta medición hecha en el compresor A después de agregar el aditivo.....	100
Tabla C.24 Datos experimentales obtenidos en la quinta medición hecha en el compresor B después de agregar el aditivo.....	100
Tabla C.25 Datos experimentales obtenidos en la sexta medición hecha en el compresor A después de agregar el aditivo.....	101
Tabla C.26 Datos experimentales obtenidos en la sexta medición hecha en el compresor B después de agregar el aditivo.....	101
Tabla C.27 Datos experimentales obtenidos en la séptima medición hecha en el compresor A después de agregar el aditivo.....	102
Tabla C.28 Datos experimentales obtenidos en la séptima medición hecha en el compresor B después de agregar el aditivo.....	102
Tabla C.29 Datos experimentales obtenidos en la octava medición hecha en el compresor A después de agregar el aditivo.....	103
Tabla C.30 Datos experimentales obtenidos en la octava medición hecha en el compresor B después de agregar el aditivo.....	103

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1 Diagrama P-V del Ciclo de Carnot invertido.....	12
Figura 2.2 Sistema de refrigeración.....	16
Figura 2.3 Calor transferido en un segmento cilíndrico.....	29
Figura 3.1 Herramienta de recolección de datos.....	35
Figura 4.1 Variación de la viscosidad con y sin aditivo para el compresor A.....	51
Figura 4.2. Variación de la viscosidad con y sin aditivo para el compresor B.....	51
Figura 4.3. Variación del número ácido con y sin aditivo para el compresor A...	52
Figura 4.4. Variación del número ácido con y sin aditivo para el compresor B...	52
Figura 4.5. Cantidad de hierro (Fe) con y sin aditivo para el compresor A.....	53
Figura 4.6. Cantidad de hierro (Fe) con y sin aditivo para el compresor B.....	53
Figura 4.7. Cantidad de Cobre (Cu) con y sin aditivo para el compresor A.....	54
Figura 4.8. Cantidad de Cobre (Cu) con y sin aditivo para el compresor B.....	54
Figura 4.9. Cantidad de Estaño (Sn) con y sin aditivo para el compresor A.....	55
Figura 4.10. Cantidad de Estaño (Sn) con y sin aditivo para el compresor B.....	55
Figura 4.11. Cantidad de Zinc (Zn) con y sin aditivo para el compresor A.....	56
Figura 4.12. Cantidad de Zinc (Zn) con y sin aditivo para el compresor B.....	56
Figura 4.13. Cantidad de Silicio (Si) con y sin aditivo para el compresor A.....	57
Figura 4.14. Cantidad de Silicio (Si) con y sin aditivo para el compresor B.....	57
Figura 4.15. Cantidad de Boro (B) con y sin aditivo para el compresor A.....	58
Figura 4.16. Cantidad de Boro (B) con y sin aditivo para el compresor B.....	58

INTRODUCCIÓN

Debido a la preocupación que existe a nivel global respecto al consumo energético, distintas empresas expertas en lubricantes han estado desarrollando productos que contribuyen con el ahorro de la energía eléctrica en sistemas de refrigeración industrial, como lo son los aditivos que apuntan al mejoramiento del desempeño del lubricante contenido en la unidad compresora de los equipos de refrigeración, ya que durante la compresión por efecto de la fricción entre las partes en movimiento, se genera calor, desgaste, contaminación del lubricante, entre otros factores que son perjudiciales para el compresor y deben ser eliminados para un mejor funcionamiento y extensión de la vida útil de éste, lo que implica un menor consumo de energía en esa parte.

Existen aditivos en el mercado internacional que prometen cumplir con esto, por lo que a petición de la empresa (Industrias Venoco) se realiza una metodología que pretende evaluar el impacto de un aditivo en la eficiencia de un sistema de refrigeración. Dicho trabajo de campo se ejecuta en dos unidades de refrigeración pertenecientes al edificio principal de la empresa y se estructura en dos fases: la primera etapa consiste en la creación de la base de datos necesaria para conocer el estado inicial de las unidades, por ende se procede a, la medición y registro de ciertas variables definidas como fundamentales para la determinación de parámetros entre los que tenemos la capacidad de refrigeración y el trabajo del compresor, condición físico-química y tribológica del lubricante, así como el estudio de la vibración en el cuerpo del compresor; la segunda etapa consiste en agregar el aditivo y realizar el mismo procedimiento de la fase anterior para comparar la base de datos inicial con los resultados obtenidos en esta segunda fase para de esta manera concluir sobre la influencia del aditivo en el sistema.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

A continuación se presenta el planteamiento del problema así como los objetivos necesarios para lograr el propósito planteado, las razones que justifican la realización de la investigación y el alcance de la misma

1.1 La Empresa

La empresa, Industrias Venoco es una organización dedicada al sector petroquímico, que conformada por un conjunto de empresas venezolanas, lidera desde hace más de 48 años la industria química, petroquímica y de lubricantes en Venezuela, manufacturando y comercializando sus productos para el mercado nacional y de exportación. Está conformada por dos divisiones de negocios, la División de Lubricantes y la División Química, las cuales cuentan con el apoyo de los servicios corporativos coordinados por STAVCA, empresa que desde 1972, integra el órgano operativo del complejo industrial, suministrando recursos humanos y prestando servicios técnicos, administrativos y gerenciales.

Además de STAVCA, el complejo industrial está constituido por otras cuatro empresas, bajo las cuales se conducen y administran cada una de las plantas productivas, entre las cuales se encuentran:

Compañía Anónima Nacional de Grasas Lubricantes (CANGL): Desde el inicio de sus operaciones en 1960 se encarga de la fabricación, mezclado y envasado de grasas y aceites lubricantes. Posee la certificación de las normas ISO (Internacional Organization for Standardization) 9001 y API (American Petroleum Institute) para todos sus productos.

Aditivos Orinoco de Venezuela C.A. (ADINOVEN): Forma parte de la división de lubricantes y se encarga de la fabricación de productos acuosos, aditivos y especiales, entre los cuales se mencionan: fluidos para frenos, aceites

dieléctricos, refrigerantes para vehículos automotores, limpiaparabrisas y solventes para la limpieza de motores eléctricos.

LVICA: Es la empresa responsable de comercializar los productos terminados de ADINOVEN y CANGL, cuyo propósito es satisfacer las necesidades de lubricación de los vehículos de pasajero de transporte terrestre, agrícola y de equipos industriales y de construcción. Esta presente en más de 10 países latinoamericanos como Brasil, Colombia, Chile, El Salvador, Panamá, Bolivia, Argentina, entre otros.

QVCA: Desde su fundación en 1967 esta empresa se ha dedicado a la creación y comercialización de materia prima intermedia, principalmente dodecibenceno (DDB) y aquilbenceno lineal (LAB) usados para la elaboración de detergentes.

1.2 Planteamiento del Problema

El crecimiento de la economía durante los últimos años se ha traducido en un aumento del consumo de energía, que de mantenerse en la misma proporción provocaría requerimientos energéticos mayores y con ello elevados costos de producción.

A nivel mundial, la demanda energética y sus costos de generación van en forma ascendente en el sector industrial, es decir, el uso excesivo de energía por parte de las industrias causa que las plantas generadoras de energía deban trabajar con mayor productividad para satisfacer dicha demanda y en consecuencia se elevan las cargas monetarias de uso energético. [29]

Esto mismo ocurre actualmente en Venezuela según el Ministerio para el poder popular de Energía Eléctrica, el cual, indica que se está viviendo una situación desfavorable a nivel energético en el país, ya que las plantas de generación son las mismas para satisfacer una exigencia que ya es superior.

También menciona el uso eficiente y racional de la energía eléctrica en Venezuela, estableciendo que, la eficiencia energética solo tiene sentido en la medida que permite reducir sus costos globales de producción.

Es por esto que sería conveniente implementar acciones positivas de costos y eficiencia en el uso final de la energía. Dentro de cualquier esquema de distribución y consumo de electricidad, los sistemas de refrigeración y aire acondicionado pueden representar entre el treinta por ciento (30%) y cincuenta por ciento (50%) de la estructura del uso energético [10], dicho estadístico representan un elevado porcentaje de consumo, sabiendo que el setenta por ciento (70%) de la energía eléctrica en Venezuela proviene del complejo hidroeléctrico del Caroní, ubicado en el Estado Bolívar, tal como lo describe el Ministerio del poder popular de energía eléctrica.

Se debe entonces a esta situación de crisis energética que la empresa (Industrias Venoco) se ha dedicado a desarrollar un producto con una tecnología que incluye un paquete de aditivos que ofrece optimizar el desempeño de un sistema de refrigeración en cuanto a la extensión de la vida útil del sistema, evitar el desgaste, ejercer un efecto detergente, aumentar la capacidad del sistema, disminuir el consumo de energía eléctrica, preservar las propiedades del aceite.

Por lo que es requerimiento de la empresa elaborar un trabajo de campo en el que sea posible verificar los atributos que ofrece el producto. Para esto se estructura un esquema metodológico capaz de evaluar la influencia del aditivo del lubricante en los sistemas de refrigeración.

1.3 Objetivos

Objetivo General

Evaluar el impacto de un aditivo del lubricante en la eficiencia de un sistema de refrigeración.

Objetivos Específicos

1. Definir las variables a medir que son necesarias para lograr un estudio exhaustivo que permita evaluar la influencia del aditivo en el sistema.
2. Medir los parámetros necesarios para determinar la capacidad de refrigeración y el trabajo del compresor de los dos sistemas antes y después de agregar el aditivo.
3. Muestrear el aceite utilizado en dos unidades de refrigeración con y sin aditivo, para luego solicitar un estudio de las características fisicoquímicas en el laboratorio central de la empresa.
4. Determinar la vibración en la pared del compresor antes y después de agregar el aditivo.
5. Comparar los resultados obtenidos en cuanto al análisis de aceite, trabajo del compresor, capacidad de refrigeración y estudio de vibración.

1.4 Justificación

Con el presente trabajo se va a evaluar la influencia de un aditivo en la capacidad de refrigeración, la capacidad de compresión y el desgaste de los equipos de un sistema de refrigeración estacionario perteneciente a la empresa, en caso de obtener resultados favorables será implementado introduciendo al mercado un producto que proporcionaría un aporte al ahorro energético, tanto dentro de la industria como a nivel nacional y de esta manera se presenta una ayuda a la situación actual del consumo energético. Esto implica un criterio de participación social ya que producirá fuentes de empleo al crear la nueva planta que haga el aditivo.

Además, beneficiará al país a través de criterios, tales como: relevancia y pertinencia ya que el aditivo optimizará el consumo energético, hecho sumamente necesario en la situación actual en la que se requiere de un ahorro de energía para no colapsar el sistema eléctrico nacional. Otro aporte del presente trabajo será la conveniencia; pues para la empresa es beneficioso porque de resultar

positiva la evaluación para el aditivo, este generará mayores ingresos por la venta del mismo a las industrias y otros ambientes que utilicen sistemas de refrigeración. También tendrá implicación práctica, ya que de ser favorables los resultados se podría aplicar el aditivo a los sistemas de refrigeración y ayudar a mejorar la situación actual del país.

El proyecto está asociado a dos líneas de investigación del área de potencia, ya que aplica técnicas de mantenimiento predictivo al realizar los análisis de vibraciones en el cuerpo de los equipos y los análisis físico-químicos efectuados al aceite, y además pertenece a la línea de investigación de calidad de energía ya que su objetivo principal es evaluar si el aditivo contribuye a la mejora de la eficiencia implicando un ahorro significativo en el consumo energético.

1.5 Alcance

Es importante acotar que la evaluación de la influencia del aditivo en el sistema de refrigeración, está enmarcada en un estudio de campo con duración de 6 meses, donde se estarían cubriendo los objetivos propuestos dentro de la empresa. Solamente se realizará un análisis, sin ir más allá en la investigación acerca del aditivo independientemente de los resultados arrojados en la evaluación.

1.6 Limitaciones

Para la realización de éste trabajo se presentaron diversos obstáculos los cuales podrían atrasar la culminación del mismo. Entre ellos se encuentran: la disposición de los instrumentos de medición de las variables, ya que estos pertenecen a la empresa y en algunos momentos la jornada de trabajo coincide con los períodos de medición establecidos para el presente proyecto. La dependencia a la disponibilidad de los laboratorios, ya que es necesario realizar pruebas.

El estudio se llevó a cabo por requerimiento de la empresa, dentro de sus instalaciones; se aplicó el aditivo en el aceite ya existente en las unidades de refrigeración, es decir, no se realizaron cambios de aceite durante la evaluación.

Por parte del equipo de trabajo, fue necesaria la experiencia en el uso de los equipos de medición ya que al no saber manejarlos bien se retrasaría el proceso. Otro de los factores que influyeron es la estación de invierno, puesto que se presentaron precipitaciones continuas, y ubicándose al aire libre los equipos de refrigeración donde se realizaron las mediciones, se hace imposible evaluar los parámetros durante las horas de lluvia por lo que debe postergarse para otro día.

Finalmente se tiene el hecho de que siempre se deben hacer las mediciones bajo las mismas condiciones, lo que restringe las posibilidades de reestructuración de horarios, ya que si no se puede realizar la evaluación un día, éste no se cuenta y hay que hacerla el día siguiente.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En esta sección se presenta un resumen de las investigaciones consultadas que se relacionan con el trabajo en estudio y que sirven de apoyo para el desarrollo y alcance de los objetivos planteados, así como las bases teóricas y una definición de los términos básicos utilizados.

2.1 Antecedentes

Díaz, G. Hernández, J. Velázquez, R. Ambrosio, A. (2005). Realizaron el estudio titulado «Desarrollo e implementación de estrategias enfocadas a la disminución del consumo de energía eléctrica en una empresa cervecera» publicado en la revista Impulso Amarillo. En este trabajo se desarrollaron estrategias de ahorro energético aplicadas a una empresa cervecera, el estudio se enfoca en la sala de máquinas donde se determinó un consumo de casi la mitad (49%) del total de la planta debido a los sistemas de refrigeración. La técnica utilizada fue aumentar la presión de succión en el compresor de amoníaco, por lo cual reduce su consumo [8]. Esta área del sistema de refrigeración es tomada en cuenta en la realización de la evaluación aplicada al nuevo aditivo.

Shrieve Products International Limited (2009) publicó su trabajo «Mejorador del lubricante para equipos de climatización estacionarios ZEROL[®] ICE» En él se presentó al mercado un nuevo aditivo para mejorar el aceite lubricante del compresor, demostrando que se obtiene una reducción de hasta el 12% en el consumo de electricidad luego de la instalación del ZEROL ICE; con 10% proveniente del menor amperaje durante el uso del equipo más otro 2% proveniente de un uso menor del equipo debido a su operación mas eficiente. También se determinó el ahorro obtenible en diez años, las cifras proyectadas se basaron en un ahorro de 12% promedio en el consumo de energía para un equipo de 15.000 kcal/h con una relación de eficiencia de energía estacional de 10

operando 10h/día desde marzo a octubre a un costo de 0,138€/kw. Se indicó que ZEROL ICE es altamente efectivo en bajas concentraciones y es compatible con una gran cantidad de lubricantes tales como aceites minerales, alquilbencenos y poliolesteres y totalmente miscible con los refrigerantes R-22, R-134a, R-410a, R-407c y otros refrigerantes HFC de uso común. Se analizó además su efecto en la eficiencia del equipo y cómo afecta el ruido generado concluyendo que el efecto de mayor lubricidad producido por ZEROL ICE ayuda a reducir la resistencia dentro del compresor, la fricción y desgaste y todo esto ayuda con el aumento general de la eficiencia del sistema, y finalmente se concluyó que otro beneficio adicional obtenido al añadir el aditivo a los sistemas de climatización es la reducción del ruido del compresor [22]. La relación que guarda este proyecto con el presente trabajo se aprecia en que muestra la influencia del aditivo ZEROL ICE en el aumento de la eficiencia del sistema, que es justamente lo que se desea diagnosticar en esta evaluación.

Sine, J. (2005). En su artículo titulado «**Solving Excess Oil Problems** » presentó un estudio que evidenció la presencia del aceite lubricante del compresor en todo el sistema de refrigeración demostrando que es una situación indeseable para el funcionamiento del mismo ya que ocasiona una serie de efectos degenerativos para la vida de la máquina, especialmente del condensador [23]. Para efectos del estudio que se está presentando nos permitió comprobar que la forma de administrar el aditivo al sistema es la correcta en la cual se pretende agregar una cierta cantidad directamente al lubricante del compresor que posteriormente será distribuido por todo el sistema de refrigeración con el fin de impedir los efectos degenerativos del lubricante sin aditivo.

Domínguez, M., García C. y Arias J. (2009) realizaron un estudio titulado «Eficiencia energética en el campo del frío» donde analizaron los consumos energéticos más importantes que se producen en el campo del frío, discutiendo los factores de dicho campo que afectan la eficiencia de energía y las principales medidas a realizar para aumentar la eficiencia energética, prestando especial

atención al aislamiento térmico, a los factores de forma de los almacenes frigoríficos y a las edificaciones, a las horas del día de funcionamiento de las máquinas frigoríficas, a la capacidad de éstas, y a la inercia térmica de las instalaciones y las construcciones. Concluyeron que el aumento de la eficiencia energética es el camino más importante que se puede utilizar para mejorar la economía, el medio ambiente, a través de la disminución del consumo energético. Como medida a corto plazo entre las mejoras de la eficiencia consideraron como más interesantes el aislamiento térmico, el aprovechamiento de la inercia térmica, el uso de los materiales de cambio de fase tanto en la construcción como en la climatización y el aprovechamiento del frío gratis que puede aportar sin límites el aire del ambiente, finalmente concluyeron que se debe profundizar en desarrollo e innovaciones encaminadas a mejorar las eficiencias energéticas [9], es en este punto que se observa la relación entre este trabajo y la presente investigación, en la cual se evalúa el efecto de una nueva tecnología desarrollada para mejorar la eficiencia de un sistema de refrigeración.

Frigi-Tech EES (s.f) mostró en su estudio titulado «Ahorro en A/C y refrigeración» el desarrollo de cinco aditivos diseñados para el uso de sistemas de lubricación abiertos y/o herméticamente cerrados de aire acondicionado y refrigeración que dan nueva vida a rodamientos, empaques y partes del compresor. Demostraron que añadiendo solo el 5% del volumen de aceite del compresor de mezcla de Frigi-Tech, el costo de energía disminuyó de un 8% a un 20% dependiendo de las condiciones del equipo. Estos cinco aditivos son: antidesgaste, inhibidores de oxidación, inhibidores de corrosión, agentes tensoactivos y acondicionadores. Señalaron que al incrementar la eficiencia térmica del sistema Frigi-Tech™ incrementó también la capacidad de enfriamiento permitiendo que el compresor trabajara menos horas, traduciéndose en un ahorro de energía significativo. La disminución de fricción y desgaste que acompañó la adición de Frigi-Tech™ mejoró la operación del sistema, extendiendo la vida útil del equipo y reduciendo costos de mantenimiento. Concluyéndose que la adición de Frigi-Tech™ mejora la transferencia de calor y reduce la fricción interna, reduce el consumo de energía,

protege los componentes internos extendiendo la vida útil del equipo y protege el equipo contra oxidación y/o corrosión [14]. Esto se relaciona con la investigación en desarrollo porque evidencia los resultados de un aditivo en un sistema de refrigeración, lo cual es el objetivo de este estudio.

Barbas, M (2010) Explicó en su artículo titulado «Reducir en un 20% la factura eléctrica de climatización es posible» cómo al añadir el aditivo IceCold® a un sistema de refrigeración/Aire acondicionado se eliminó el denominado oil-fouling de las tuberías de refrigeración actuando como un catalizador sin cambios químicos en el refrigerante o en el aceite del compresor. Explicó además que cuando el oil-fouling se eliminó aumentó la transferencia de calor entre el gas refrigerante y la tubería de cobre en un 73%; el gas refrigerante evaporó a una temperatura inferior y se incrementó la lubricidad del aceite del compresor en un 54%, lo que trajo como consecuencia que se consiguiera bajar la temperatura del aire tratado en 2-3°C: disminuir la fricción y el desgaste de las piezas mecánicas del compresor y reducir los ruidos y la necesidad de mantenimiento. Todo eso se tradujo al final en una mejora del rendimiento de la máquina aumentando la vida útil de los equipos y obteniendo un ahorro en la factura eléctrica de climatización de un 20% ya que se consiguió la temperatura deseada en menor tiempo por lo que el espacio se enfrió antes con un menor consumo energético [1]. El desarrollo de este aditivo muestra un diagnóstico en el aumento de la eficiencia con disminución de consumo de energía, resultados que se buscan en esta evaluación que deberá hacerse al aditivo desarrollado por la empresa responsable de este estudio.

2.2 Bases teóricas

✓ Ciclo de Carnot

En un proceso de refrigeración continua, el calor absorbido a una temperatura baja es desechado ininterrumpidamente hacia el ambiente, que se encuentra a una temperatura más elevada. En esencia, un ciclo de refrigeración es un ciclo invertido de una máquina térmica. El calor es

transferido de un nivel bajo de temperatura a uno más alto; de acuerdo con la segunda ley, esto requiere una fuente externa de energía. El refrigerador ideal, opera en un ciclo de Carnot, que en este caso consiste en dos etapas isotérmicas, en las cuales el calor $|Q_C|$ es absorbido a la temperatura más baja T_C y el calor $|Q_H|$ es desechado a la temperatura más elevada T_H , y en dos etapas adiabáticas. El ciclo requiere la adición del trabajo neto W al sistema. Como el cambio de energía interna del fluido de trabajo es cero para el ciclo, la primera ley da:

$$W = |Q_C| - |Q_H|. (2.1)$$

La representación del ciclo de Carnot en un diagrama presión-volumen muestra cuatro tramos como se ve en la figura 2.1:

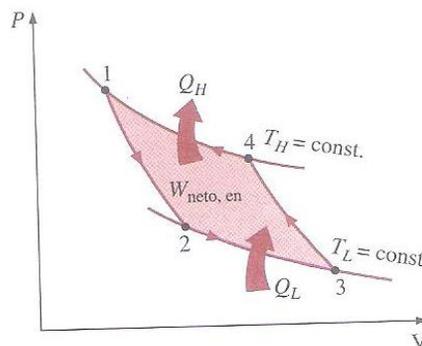


Figura 2.1. Diagrama P-V del Ciclo de Carnot invertido. Fuente: [27]

La figura muestra el ciclo de Carnot, tomando en cuenta que este ciclo es reversible, para un refrigerador tiene el sentido anti-horario. El tramo 4-1 corresponde a un condensador donde se extrae calor (Q_H) del refrigerante, esto se da por un aumento de presión a temperatura constante (T_H) y en esa parte del proceso el refrigerante cambia de fase gaseosa a fase líquida. El tramo 1-2 corresponde con una válvula de expansión en la cual disminuye la presión del refrigerante sin transferencia de calor, disminuyendo la

temperatura de T_H a T_C . El tramo 2-3 se da en un evaporador donde el refrigerante pasa de estado líquido a estado gaseoso mediante un proceso de expansión isotérmica, es decir una disminución de presión a temperatura constante T_C , en el cual se absorbe calor. Finalmente el tramo 3-4 corresponde a un compresor, en el cual aumenta la presión del refrigerante aumentando la temperatura de T_C a T_H dando un nuevo inicio al ciclo [25].

✓ **Sistema de refrigeración**

El sistema de refrigeración se define como un sistema cerrado, en el cual el proceso de absorción y liberación de calor se realiza por medio de un refrigerante que fluye en un ciclo de compresión de vapor. Para realizar el trabajo de compresión que realiza el sistema de refrigeración, requiere del consumo de la energía y lo más común es encontrar que el compresor está accionado por un motor eléctrico.

Estos sistemas energéticos están muy ligados a la vida diaria. La refrigeración está presente en todos los sectores de la economía y la sociedad, desde el sector residencial donde los sistemas de refrigeración doméstica son comunes en la mayoría de los hogares, ejemplo se tiene en el aire acondicionado que climatiza el interior de las habitaciones. A ritmo con el desarrollo del nivel de vida de la humanidad, cada día que pasa se incrementa el empleo de la refrigeración residencial, destacándose en el crecimiento el aire acondicionado individual, sectorizado y centralizado, sumando consumo de energía a la factura eléctrica individual. Se está en presencia del sistema energético de mayor utilización en la vida diaria de todos por su amplia difusión, por lo que se puede concluir que es un sistema globalizado. Para bien, es un sistema que está al alcance de la gran mayoría por su amplia utilización en la vida diaria.

El consumo de electricidad de los sistemas de refrigeración y la eficiencia de su empleo, dependerá de varios factores. Hay factores que se clasifican como propios del proceso que se realiza, otros están asociados a la forma de operación del sistema, también influye en la eficiencia los factores vinculados con el estado técnico del equipamiento. No es menos importante conocer que

también influyen en la eficiencia del consumo de energía, los factores que se pueden clasificar como externos al sistema de refrigeración, como son las condiciones medioambientales, la orientación y ubicación de los componentes del sistema en la zona de instalación, los parámetros con los cuales se han seleccionado los equipos y se han adquirido, en este último grupo principalmente los parámetros relativos al régimen de carga / capacidad.

✓ **Descripción del sistema de refrigeración**

En su forma más sencilla, un sistema de refrigeración consta de cinco componentes, cuatro de los cuales ya se han mencionado previamente en el ciclo de Carnot, tales componentes son: Compresor, Condensador, Evaporador, Dispositivo de Expansión y Tuberías. [25]

Compresor: Es el corazón del sistema, ya que mueve el flujo de refrigerante. Su función es recibir vapor de refrigerante a baja presión y temperatura proveniente del evaporador y comprimirlo a alta presión y temperatura. El vapor a alta presión es convertido a fase líquida en el condensador [10]. En el compresor se utiliza aceite lubricante para sus pistones, poca cantidad de este aceite se mezcla con el refrigerante durante el proceso de compresión, pasando de ese modo a circular por todo el sistema. El compresor recíproco realiza la compresión de un volumen de gas en un cilindro cerrado, luego este volumen es reducido mediante una acción de desplazamiento mecánico del pistón dentro del cilindro [23].

Condensador: El condensador absorbe el calor que trae el vapor de refrigerante a alta presión y lo transfiere al aire forzado que recibe de los ventiladores, o hacia el agua de enfriamiento, según sea enfriamiento por aire o por agua. El vapor de refrigerante se condensa dentro de este intercambiador, pasando a la fase líquida.

Dispositivo de Expansión: En fase líquida el refrigerante generalmente es almacenado y posteriormente llega a la válvula de expansión. El líquido, que permanece a alta presión antes de la válvula, es estrangulado en su paso por este dispositivo y expandido, transformándose en una mezcla líquida-gaseosa a baja presión. Este dispositivo separa la zona de alta presión de la baja presión.

Evaporador: equipo donde concluye la evaporación de la mezcla de refrigerante líquido-gas, absorbiendo calor del medio que está siendo enfriado. Todo el refrigerante debe pasar al estado vapor. Saliendo del evaporador, ya en forma de vapor, con una presión y temperatura baja, el refrigerante regresa a la succión del compresor para nuevamente ser comprimido y recalentado. Por supuesto, la comunicación de los equipos para el transporte de refrigerante, se realiza mediante conductos de tuberías, las que requieren en algunas zonas del sistema, aislarse térmicamente.

Dado que el dispositivo de expansión regula el flujo de refrigerante hacia el evaporador, su selección es de particular importancia para la operación posterior del sistema de refrigeración. De acuerdo al tipo y la complejidad del sistema de refrigeración, encontramos distintos medios auxiliares integrados al sistema, entre ellos los instrumentos de medición y control, tales como manómetros y termómetros indicadores y registradores, los amperímetros y voltímetros para medir los parámetros de la corriente eléctrica y medidores de flujo. Otros medios auxiliares son los filtros, tanque de almacenamiento de refrigerante, visores de líquido, visores de nivel de aceite, válvulas de sobrepresión, etc. También, para los sistemas que emplean agua de enfriamiento en la condensación, o enfrían agua, está presente el sistema de Tratamiento Químico del Agua (TQA). El sistema de TQA se integra al de refrigeración, fusionándose por decirlo, pues su comportamiento y estado técnico influirá directamente en la eficiencia energética del sistema de refrigeración [10].

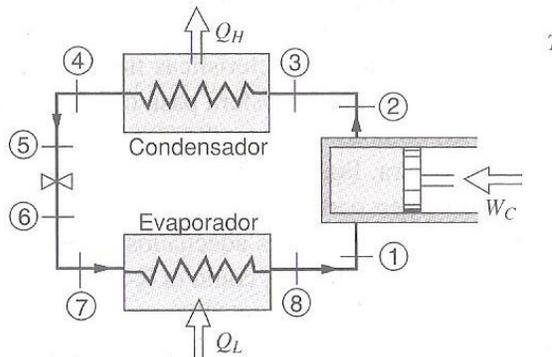


Figura 2.2. Sistema de refrigeración. Fuente: [25]

✓ **Ley de conservación de la energía o primera ley de la termodinámica**

El reconocimiento del calor y la energía interna como formas de energía sugiere una generalización de la ley de la conservación de la energía mecánica para aplicarla al calor y a la energía interna, así como al trabajo y a la energía cinética y potencial externas. Por otro lado, la generalización puede extenderse a otras formas de energía, tales como la energía superficial, la energía eléctrica y la energía magnética. Al principio esta generalización no fue más que un postulado, pero sin excepción alguna todas las observaciones hechas en procesos ordinarios la apoyan. De aquí que el postulado haya alcanzado el estado de ley de la naturaleza y se conozca como primera ley de la termodinámica. Un planteamiento formal de ésta es: *“Aunque la energía tome muchas formas, la cantidad total de energía es constante, y cuando la energía desaparece en una forma, aparece simultáneamente en otras formas.”*

[24]

$$\Delta U + \Delta E_p + \Delta E_c = \pm Q \pm W_s \pm PdV + \sum \dot{m}_e (h_e + ep_e + ec_e) - \sum \dot{m}_s (h_s + ep_s + ec_s) \quad (2.2)$$

Donde:

U: energía interna del sistema

Ep: Energía potencial del sistema

Ec: Energía cinética del sistema

Q: calor trasferido desde o hacia los alrededores
Ws: trabajo de eje ejercido en los alrededores
PdV: trabajo de desplazamiento ejercido en los alrededores
ms: masa que sale a los alrededores
me: masa que entra de los alrededores
he: entalpía que entra al sistema
hs: entalpía que sale del sistema
epe: energía potencial que entra al sistema
eps: energía potencial que sale del sistema
ece: energía cinética que entra al sistema
ecs: energía cinética que sale del sistema

Para efectos del sistema de refrigeración la energía eléctrica se transforma en energía mecánica, que a su vez se transforma en energía calórica debido al roce de las piezas en movimiento y la vibración generada por el equipo. Mientras más energía se pierda en forma de calor más energía eléctrica consumirá el sistema para poder obtener la energía mecánica necesaria para que el ciclo de refrigeración funcione correctamente, es por ello que se debe aminorar el roce y la vibración, como una forma de aprovechar mejor la energía eléctrica utilizada.

✓ **Conteo de partículas, código de limpieza norma ISO 4406:1999**

El conteo de partículas consiste en la medida de la contaminación sólida en el seno de un lubricante mediante el conteo del número de partículas. Conocer el grado de limpieza de un fluido es fundamental al momento de realizar un control de la contaminación presente en el sistema.

Existen diversas normas internacionales utilizadas para clasificar un fluido en función de la cantidad de contaminantes sólidos que posee en suspensión. La mayoría de estas clasifican el grado de limpieza del fluido según las cantidades de contaminantes existentes teniendo en cuenta unos tamaños determinados. Cuando se va a detectar o corregir problemas en la

máquina, se debe utilizar una escala de referencia de la contaminación presente en el sistema, la escala más utilizada es la norma ISO 4406:1999.

En la ISO 4406 el resultado se expresa mediante un código compuesto por tres dígitos. El primero corresponde al número total de partículas de tamaño superior a 4 micras por mililitro de fluido. El segundo corresponde al número total de partículas de tamaño superior a 6 micras por mililitro de fluido. El tercero corresponde al número total de partículas superiores a 14 micras por mililitro de fluido. Las partículas mayores a 4 y 6 micras son indicativas de la tendencia a la formación de depósitos de partículas, mientras que las mayores a 14 micras indican la cantidad de partículas grandes presentes, las cuales contribuyen en gran medida a un posible fallo de un componente [2].

2.3 Definición de términos básicos

✓ Trabajo

Cada vez que una fuerza actúa a lo largo de una distancia, se realiza trabajo W . Por definición, la cantidad de trabajo está dada por la ecuación:

$$dW = F \cdot dl \quad (2.3)$$

Donde:

F : componente de la fuerza que actúa a lo largo de la línea de desplazamiento dl .

Cuando se integra esta expresión, lo que se tiene es el trabajo de un proceso finito. Por convención, el trabajo se considera como positivo cuando el desplazamiento está en la misma dirección que la fuerza aplicada, y negativo cuando ambos tienen direcciones opuestas.

En termodinámica es frecuente encontrar el trabajo que acompaña al cambio en el volumen de un fluido. Considérese la compresión o expansión de un fluido en un cilindro provocada por el movimiento del pistón. La fuerza ejercida por el pistón sobre el fluido es igual al producto del área del pistón y la presión del fluido. El desplazamiento del pistón es igual al cambio en el

volumen del fluido dividido entre el área del pistón. Por consiguiente, la ecuación (2.3) se convierte en:

$$dW = -PAdV \quad (2.4)$$

o, puesto que A es constante:

$$dW = -PdV \quad (2.5)$$

Al integrar,

$$W = - \int_{v_1}^{v_2} P dV \quad (2.6)$$

En estas ecuaciones el signo menos se incluye para que éstas cumplan con la convención del signo adoptada para el trabajo. Cuando el pistón se mueve dentro del cilindro comprimiendo al fluido, la fuerza aplicada y su desplazamiento están en la misma dirección, por tanto, el trabajo es positivo. El signo menos es necesario debido a que el cambio en el volumen es negativo. Para un proceso de expansión, la fuerza aplicada y su desplazamiento tienen direcciones opuestas. En este caso el cambio en el volumen es positivo y se requiere del signo menos para hacer que el trabajo sea negativo. La unidad de trabajo SI es el newton-metro o joule, con símbolo J. En el sistema inglés de unidades de ingeniería, la unidad más utilizada es el pie-librafuerza (ft lbf). [24]

El trabajo específico del compresor se determina con la diferencia entre las entalpías de los lados de alta y baja presión [25]:

$$W_c = h_2 - h_1 \quad (2.7)$$

Donde:

W_c : trabajo del compresor (kJ/kg)

h_2 : entalpía en el lado de alta presión del compresor (kJ/kg)

h_1 : entalpía en el lado de baja presión del compresor (kJ/kg)

✓ **Potencia**

Siempre que se produzca una transformación de energía en cualquier sistema, elemento mecánico o eléctrico se utiliza el concepto de potencia.. La magnitud se mide a través del segundo. Se establece entonces, que potencia, es la cantidad de energía absorbida o de trabajo efectuado en la unidad de tiempo. En el sistema internacional su unidad es el Watt. [5]

La potencia eléctrica del compresor del sistema se estima haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$P = V \times I \times fp \quad (2.8)$$

Donde:

P: Potencia eléctrica del compresor (W)

V: tensiones de línea del compresor (V), valor RMS

I: corriente de línea que alimenta al compresor (A), valor RMS

fp: factor de potencia del compresor (adimensional)

✓ **Energía**

Es todo lo que puede originar o dar existencia a un trabajo. Es la capacidad que posee la materia para producir calor, trabajo en forma de movimiento, luz, crecimiento biológico, etc. Por materia se entiende cualquier cuerpo sólido, líquido y gaseoso existente. [5]

La Energía puede presentarse de variadas formas:

- Energía Eléctrica
- Energía Mecánica
- Energía Química
- Energía Calórica

✓ **Energía eléctrica**

La electricidad la conforman electrones en movimiento que se observan en la naturaleza en forma de rayos, y aún en el pequeño arco eléctrico o golpe que uno recibe al tocar la perilla de una puerta. La mayor parte de la electricidad usada en la vida diaria se produce en las plantas de energía. La energía eléctrica es producida cuando las cargas eléctricas se mueven a través de un conductor, y es distribuida por los cables de alta tensión que forman la red nacional, permitiendo que las ciudades se puedan iluminar o que millares de máquinas y aparatos eléctricos de un hogar puedan funcionar, transformando la energía eléctrica en energía mecánica, lumínica, etc.

La electricidad se produce haciendo girar un magneto en un rollo de alambre. Este es el principio del generador eléctrico. El generador consta de dos partes básicas: una parte rotante llamada "rotor", que es esencialmente un magneto masivo; y una parte fija llamada "estator", que lo forman carretes de alambre de cobre y van alrededor del rotor. Cuando el rotor gira (como una jaula de ardilla), el cable de cobre tiene un campo magnético cambiante que le penetra y se produce la electricidad.

La energía eléctrica puede generarse en las centrales hidroeléctricas, las cuales aprovechan la energía mecánica del agua almacenada en una represa y en las termoeléctricas que utilizan la energía calórica liberada en la combustión del carbón para hacer hervir el agua y convertirla en vapor, en ambos casos hacen girar una turbina que genera la electricidad. [12]

✓ **Energía mecánica**

La energía mecánica es la parte de la física que estudia el equilibrio y el movimiento de los cuerpos sometidos a la acción de fuerzas. Hace referencia a las energías cinética y potencial

- Energía cinética: Se define como la energía asociada al movimiento. Ésta energía depende de la masa y de la velocidad según la ecuación:

$$E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad (2.9)$$

Con lo cual un cuerpo de masa m que lleva una velocidad v posee energía.

- Energía potencial: Se define como la energía determinada por la posición de los cuerpos. Esta energía depende de la altura y el peso del cuerpo según la ecuación:

$$E_p = m \cdot g \cdot h = P \cdot h \quad (2.10)$$

Con lo cual un cuerpo de masa m situado a una altura h (se da por hecho que se encuentra en un planeta por lo que existe aceleración gravitatoria) posee energía. Debido a que esta energía depende de la posición del cuerpo con respecto al centro del planeta se la llama energía potencial gravitatoria.

Se define energía mecánica como la suma de las energías cinética y potencial de un cuerpo [19]

$$E_m = \frac{1}{2} m \cdot v^2 + m \cdot g \cdot h \quad (2.11)$$

✓ Entalpía

Para cualquier sistema, la entalpía está definida explícitamente por la expresión matemática

$$H^t = U^t + PV^t \quad (2.12)$$

Donde:

U^t = energía total interna

P = presión absoluta

V^t = volumen total

Para una masa unitaria, o para un mol, la expresión anterior se convierte en

$$H = U + PV(2.13)$$

Las unidades de todos los términos de esta ecuación deben ser las mismas. El producto PV tiene unidades de energía, al igual que U ; por consiguiente, H también tiene unidades de energía. En el sistema SI la unidad básica de presión es el Pascal, o $\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$, y, para el volumen, el m^3 . Por tanto, el producto PV tiene la unidad $\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$ o joule. En el sistema inglés de unidades de ingeniería, una unidad común para el producto PV es el (ft lbf), el cual aparece cuando la presión está dada en (lbf) (ft)⁻² y el volumen en (ft)³. Puesto que U , P y V son todas funciones de estado, H , tal y como está definida también debe ser una función de estado. La forma diferencial de la ecuación (2.13) puede escribirse como

$$dH = dU + d(PV) (2.14)$$

Esta ecuación se aplica cada vez que ocurre un cambio diferencial en el sistema. La integración de la ecuación (2.14) proporciona el resultado siguiente:

$$\Delta H = \Delta U + \Delta(PV) (2.15)$$

Ésta es una expresión que puede aplicarse cada vez que ocurre un cambio finito en el sistema. Las ecuaciones (2.13) a (2.15) se aplican a una masa unitaria de sustancia o a un mol. Al igual que el volumen y la energía interna, la entalpía es una propiedad extensiva; claro está que la entalpía específica o molar es intensiva. La entalpía es útil como propiedad termodinámica debido a que el término $U + PV$ aparece con mucha frecuencia, particularmente en problemas que involucran procesos de flujo [24].

✓ Entropía

En termodinámica, la entropía (simbolizada como S) es la magnitud física que mide la parte de la energía que no puede utilizarse para producir trabajo. Es una función de estado de carácter extensivo y su valor, en un sistema aislado, crece en el transcurso de un proceso que se dé de forma natural. La entropía describe lo irreversible de los sistemas termodinámicos. La palabra *entropía* significa evolución o transformación. Fue Rudolf Clausius quien le dio nombre y la desarrolló durante la década de 1850. Y Ludwig Boltzmann quien encontró la manera de expresar matemáticamente este concepto, desde el punto de vista de la probabilidad. [3]

✓ Lubricantes para refrigeración

Los lubricantes son sustancias sólidas, semisólidas o líquidas, que pueden utilizarse para reducir el rozamiento entre piezas y mecanismos en movimiento, pueden ser de origen animal, vegetal, mineral o sintético. [18]

En el caso de los aceites sintéticos para refrigeración, estos materiales se fabrican enfatizando las propiedades de miscibilidad con los refrigerantes, resistencia a bajas y a altas temperaturas, excelente poder lubricante, 100% libres de cera. Existen varios tipos de aceites sintéticos, pero los que mejor resultado dan en refrigeración son los de polialquilenglicol (PAG) y los de poliol éster (POE).

✓ Proceso de lubricación en sistema de refrigeración

Los lubricantes se interponen entre las dos superficies en movimiento, de esta manera, forman una película separadora que evita el contacto directo entre ellas y el consiguiente desgaste. Es conveniente señalar que el lubricante no elimina totalmente el rozamiento, aunque sí lo disminuye notablemente. Esta disminución del rozamiento es la definición de lubricación. El rozamiento por contacto directo es sustituido por otro rozamiento interno mucho menor entre las moléculas del lubricante.

El lubricante correctamente aplicado consigue evitar el desgaste por frotamiento; ahorrar energía evitando que se pierda en rozamientos inútiles que se oponen al movimiento y generan calor; refrigeración al disipar entre un 10% y un 25% del calor total que se produce en la máquina como consecuencia de frotamientos, etc; eliminación de impurezas, manteniéndolas en su seno para llevarlas hasta los elementos filtrantes adecuados; es anticorrosivo y antidesgaste, reduciendo la fricción y el desgaste natural del metal o aleación que conforme las piezas y estructuras de equipos o elementos mecánicos; el lubricante también es sellante y transmisor de energía de un punto al otro del sistema. [18]

✓ **Vibración**

Es el movimiento de una máquina o elemento de ella en cualquier dirección del espacio desde su posición de equilibrio. Generalmente la causa de la vibración reside en problemas mecánicos como son: desequilibrio de elementos rotativos, desalineación en acoplamientos, engranajes desgastados o dañados, rodamientos deteriorados, fuerzas aerodinámicas o hidráulicas; y problemas eléctricos. Las características más importantes son: frecuencia, desplazamiento, velocidad, aceleración, spike energy (energía de impulsos).

✓ **Refrigerante**

Es el fluido que contiene una instalación de refrigeración y cuya misión es la de absorber calor en la fuente fría a baja presión y temperatura, para cederlo a la fuente caliente a alta presión y temperatura. Todo ello con cambio de estado de líquido a vapor y viceversa. [26]

✓ **Efecto frigorífico del refrigerante**

El efecto frigorífico de un gas refrigerante viene dado por su capacidad frigorífica efectiva respecto al volumen por metro cúbico de refrigerante aspirado del evaporador por el compresor. También conocido como factor de

potencia frigorífica depende en gran parte de las propiedades físicas del propio fluido. [26]

✓ **Refrigerantes HCFC**

Son los refrigerantes que contienen hidrógeno, cloro (un átomo solo), flúor y carbono. Conocidos como hidroclorofluorcarbonados los cuales son sustancias que agotan la capa de ozono. Entre ellos se encuentra el freón 22 conocido como R-22, refrigerante utilizado para equipos de aire acondicionado de todas las potencias. [26]

✓ **Freón 22**

Es un refrigerante utilizado para equipos de refrigeración industrial, doméstica, etc. Su fórmula química es CHClF_2 y su nombre es difluoroclorometano, en el mercado se le conoce como R-22, F-22, HCFC-22 o Dymel® 22. Es un compuesto regulado como químico tóxico con serios efectos para la salud humana al estar en contacto o por inhalación, en caso de exposición excesiva puede darse el caso de fatalidad. Ninguno de los componentes presentes en este material en concentraciones iguales o mayores a 0.1% son mencionados como elementos cancerígenos [11].

✓ **Aditivo**

Los aditivos son compuestos químicos, orgánicos, inorgánicos u orgánicos metálicos, que se adicionan a las bases lubricantes en muy pocas cantidad de porcentaje en peso para controlar algunos de sus aspectos indeseables, mejorar sus propiedades e impartir otras nuevas.

✓ **Capacidad de refrigeración**

La capacidad de refrigeración de un sistema de refrigeración indica la cantidad de calor que este es capaz de extraer del foco frío en una unidad de tiempo.

[4]

Se mide de acuerdo con la siguiente ecuación [9]:

$$C = \dot{m}_{ref} \times Q_L \quad (2.16)$$

Donde:

C: Capacidad de refrigeración (kJ/s)

\dot{m}_{ref} : Flujo másico del refrigerante (kg/s)

Q_L : Calor absorbido por el refrigerante en el evaporador (kJ/kg)

En un sistema de refrigeración como el mostrado en la figura 2.2 el calor absorbido por el refrigerante se determina con ayuda de la primera ley como sigue [25]:

$$Q_L = h_1 - h_4 \quad (2.17)$$

h_1 : entalpía del refrigerante en el lado de baja presión del compresor. (kJ/kg)

h_4 : entalpía del refrigerante en el lado de alta presión del compresor. (kJ/kg)

Por otra parte el flujo másico del refrigerante se obtiene haciendo uso de la siguiente ecuación [20]:

$$\dot{m}_{ref} = \frac{\dot{W} - Q_{RC}}{h_1 - h_4} \quad (2.18)$$

Donde:

W: potencia eléctrica del compresor (kJ/s)

Q_{RC} : Calor disipado por el compresor (kJ/s)

El calor disipado por el compresor se determina utilizando una correlación de convección natural del aire [17].

$$Q_{RC} = A \times h \times (T_w - T_{amb}) \quad (2.19)$$

Donde:

A: área de transferencia de calor del compresor (m^2)

h: coeficiente convectivo ($W/K.m^2$)

T_w : temperatura de la carcasa del compresor (K)

T_{amb} : temperatura del ambiente (K)

El área de transferencia de calor depende a su vez del radio y de la longitud del compresor, aproximando este último a un cilindro horizontal.

$$A = 2\pi \times r \times L \quad (2.20)$$

Donde:

r: radio del compresor (m)

L: longitud del compresor (m)

El coeficiente convectivo para este medio se determina a través de la siguiente correlación:

$$h = c \left(\frac{T_w - T_{amb}}{b} \right)^n \quad (2.21)$$

Siendo c, b y n constantes que dependen del número de Rayleigh que a su vez se calcula como sigue:

$$Ra = \frac{g \times \beta \times (T_w - T_{amb}) \times Di^3 \times Pr}{\nu^2} \quad (2.22)$$

Donde:

g: aceleración de la gravedad (m/s^2)

Di: diámetro interno del compresor (m)

Pr: número de Prandtl (adim)

ν : viscosidad cinemática (stoke)

Todas estas propiedades dependen de la temperatura de película:

$$T_P = \frac{T_w + T_{amb}}{2} \quad (2.23)$$

Donde T_p es la temperatura de película [17].

Ahora bien, para determinar las entalpías es necesario conocer además de la presión, la temperatura del fluido, para ello se hace un proceso iterativo que inicia determinando el calor perdido al ambiente en los segmentos donde se desee conocer la temperatura del fluido que corresponderá con la temperatura interna de la pared de la tubería. Como la energía no se crea ni se destruye sino que se transfiere, se puede igualar la temperatura perdida al ambiente con la temperatura transferida en el interior de la pared de la tubería. En la figura 2.3 se muestra cómo se transfiere el calor en un cuerpo cilíndrico.

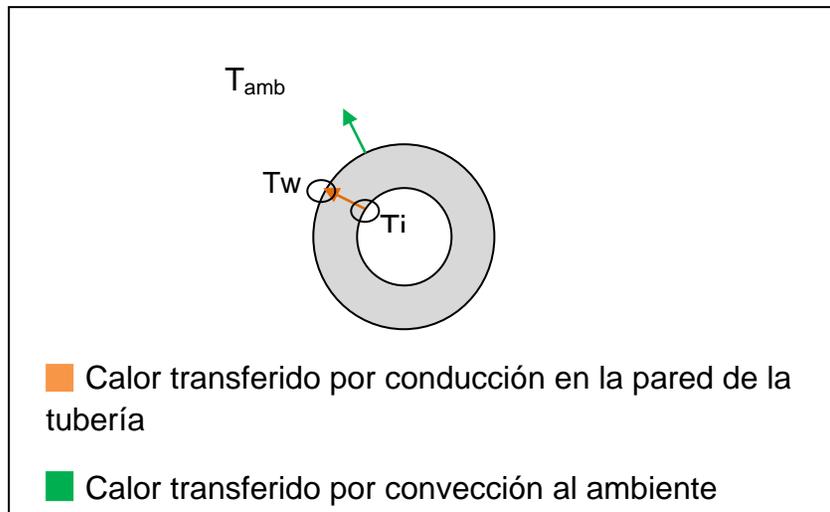


Figura 2.3. Calor transferido en un segmento cilíndrico desde la pared interna hasta el ambiente.

Fuente: Elaboración propia.

El calor transferido por conducción en un cilindro se puede estimar de la siguiente manera:

$$Q_{\text{cond}} = \frac{K \cdot 2\pi L \cdot (T_i - T_w)}{\ln\left(\frac{r_w}{r_i}\right)} \quad (2.24)$$

Donde:

Q_{cond} : Calor transferido por conducción (KJ/s)

K: Coeficiente de conductividad (W/m.K)

L: Longitud del cilindro (m)

r_w : Radio externo del cilindro (m)

r_i : Radio interno del cilindro (m)

El coeficiente de conductividad se evalúa a temperatura media, esta temperatura se calcula como sigue:

$$T_m = \frac{T_i + T_w}{2} \quad (2.25)$$

Donde T_m es la temperatura media de la tubería en grados Kelvin.

Al hacer uso de estas ecuaciones se determina tanto la temperatura interna como la temperatura media, con ella se puede estimar el valor del coeficiente conductivo, que a su vez se compara con el coeficiente conductivo asumido en el cálculo de la temperatura interna a través de la siguiente ecuación:

$$\% \text{Desv} = \frac{|V_t - V_a|}{V_t} \times 100\% \quad (2.26)$$

Donde:

%Desv: Porcentaje de desviación entre un valor y otro (%)

V_t : Valor teórico.

V_a : Valor asumido.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

En esta sección se presenta un resumen de los procedimientos llevados a cabo y las herramientas de recolección de datos; además se explica el tipo de investigación a realizar según su estrategia, profundidad, y ubicación temporal así como la población, muestra y técnicas de recolección de datos.

3.1. Nivel o modalidad de la investigación

La estrategia a emplear para responder al problema planteado es Investigación de Campo ya que consiste en la recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar variable alguna [22]. En este caso esta estrategia aplica en este estudio debido a que toda la primera parte consiste en construir una base de datos de operación del sistema tal cual se encuentra.

Para efectos de la segunda etapa de la investigación la estrategia es Investigación Experimental, que es un proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos a determinadas condiciones o estímulos (variable independiente), para observar los efectos que se producen (variable dependiente) y se diferencia de la investigación de campo por la manipulación y control de variables [23]. Aplica en este estudio ya que la segunda parte consiste en someter el sistema a la presencia de un aditivo con la finalidad de evaluar su influencia al comparar las variables con la base de datos previamente construida en la primera parte del estudio.

Acorde con su profundidad se define como una investigación evaluativa en vista de que tiene por objeto hacer más preciso y objetivo el proceso de juzgar el impacto de un aditivo en la eficiencia de una máquina eléctrica perteneciente a un sistema de refrigeración, la evaluación reúne sistemáticamente datos acerca de

las presiones, flujos y temperaturas de succión y descarga del compresor, corrientes y tensiones de la unidad de refrigeración, análisis de vibraciones en la base del compresor y análisis físico-químico del aceite utilizado, esta data se obtiene para las condiciones iniciales del sistema y posteriormente se recolecta para el sistema modificado con el aditivo. Esta información se traduce en expresiones valorativas que conllevan a determinar la eficiencia del equipo en ambas situaciones, se compara este criterio y finalmente se sacan conclusiones [24].

Según su ubicación temporal la investigación es longitudinal, ya que se extiende a través del tiempo, dando seguimiento a las variables medidas en las situaciones antes mencionadas, a lo largo de seis semanas en cada etapa [25]. Además se considera una investigación prospectiva puesto que inicia con la observación de ciertas causas presumibles, como que la presencia de aditivo incrementa la eficiencia del equipo, y avanza en el tiempo a fin de observar sus consecuencias, haciendo esto sin utilizar datos obtenidos en estudios pasados [26].

3.2 Población y muestra o Unidad de investigación

La investigación se realiza en dos unidades de investigación en iguales condiciones, estas unidades comprenden dos sistemas de refrigeración, los cuales inicialmente se trabajarán como grupo control siendo equipo A y equipo B, posteriormente serán equipo A' y equipo B' cuando se les agregue el aditivo en el aceite del compresor y se transformen en el grupo experimental, de modo que se pueda analizar el antes y el después de la adición del aditivo en cada unidad. Se estudiará el sistema como un todo, realizando análisis de las propiedades del aceite, la vibración en el cuerpo de los equipos y las condiciones de presión y temperatura en la descarga y succión del compresor.

3.3 Técnicas e instrumentos de recolección

✓ **Técnica de recolección del aceite**

Se extraen 80ml de aceite del compresor aflojando un tornillo presente en el cárter, a través del cual circula la muestra hacia el envase proporcionado por el laboratorio exclusivamente destinado a estos tipos de recolección.

✓ **Adición del aditivo**

Se retiene el refrigerante en el condensador y en el evaporador para mantenerlo fuera del compresor en el proceso. Con un embudo se agregan al compresor 500ml de aditivo medido con un cilindro graduado y añadido con ayuda de una piseta. Finalmente se regresa a su estado normal el proceso de refrigeración, esta vez con un nuevo componente en el sistema.

✓ **Medición de presión del refrigerante.**

Se conecta un manómetro especializado en medidas de presión del Freón R-22 a las válvulas ubicadas en los lados de alta y baja presión del compresor y a la salida del condensador.

✓ **Medición de la temperatura del refrigerante.**

Se utilizo una pistola térmica infrarroja, apuntando su haz de luz hacia el punto de medición deseado.

✓ **Medición de voltaje y corriente**

Se utiliza un tester marca Fluke 337, que consta de una pinza amperimétrica para medir corriente y un par de terminales para medir voltaje. Se mide la corriente de las líneas principales de la unidad e individualmente a las líneas del compresor, mientras el voltaje se mide entre las líneas de alimentación del sistema y entre las líneas del compresor, ambos trifásicos.

✓ **Medición de las vibraciones en el compresor**

Utilizando el instrumento de medición de vibraciones del departamento de mantenimiento predictivo, se conecta el sensor de prueba del equipo al cuerpo del compresor para obtener así los niveles de vibración.

3.4 Procedimiento metodológico

A continuación, se explica el desarrollo sistemático de la investigación llevada a cabo para alcanzar los objetivos específicos planteados de acuerdo con la población y muestras definidas y las técnicas de recolección previamente explicadas

Objetivo 1. Definir las variables a medir que son necesarias para lograr un estudio exhaustivo que permita evaluar la influencia del aditivo en el sistema.

Con la finalidad de obtener los modelos matemáticos necesarios para calcular el trabajo del compresor y la capacidad de refrigeración de los sistemas en estudio, se procedió a realizar una investigación bibliográfica en libros y trabajos de ascenso referentes a termodinámica y transferencia de calor en las bibliotecas de la facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo y se realizaron entrevistas informales con profesores de dicha casa de estudios expertos en el tema que compartieron sus conocimientos con el equipo de trabajo.

Una vez obtenidos los modelos matemáticos a utilizar, se discutió sobre el trabajo del compresor y la capacidad de refrigeración como variables principales; el análisis de esos modelos matemáticos y demás ecuaciones involucradas en la ruta de cálculo permite definir los parámetros que se deben medir experimentalmente.

Objetivo 2. Medir y registrar los parámetros necesarios para determinar la capacidad de refrigeración y el trabajo del compresor de los dos sistemas antes y después de agregar el aditivo.

Inicialmente se procedió a elaborar el instrumento de recolección de datos tomando en cuenta cada punto de medición del sistema, estos puntos de medición corresponden a la succión y descarga del compresor y a la descarga del condensador, además se consideran las variables a medir, estas son presión,

temperatura, tensión y corriente, también se observa una columna destinada a colocar el instrumento de medición utilizado, finalmente, se incluye un apartado de observaciones para registrar datos como las condiciones ambientales, y las longitudes de los equipos involucrados en el trabajo de campo. El instrumento de recolección de datos se observa en la Figura 3.1.

HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS				
EQUIPO: _____				
FECHA: _____		HORA: _____		
VARIABLE	LUGAR			INSTRUMENTO
	L1	L2	L3	
CORRIENTE				PINZA AMP.
	V12	V23	V13	
TENSIÓN				TESTER
	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	
PRESIÓN				MANÓMETRO
	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	
TEMPERATURA				PISTOLA TERM.
OBSERVACIONES:				

Figura 3.1 Herramienta de recolección de datos.

A continuación se buscan en el taller de Servicios Generales de la empresa los instrumentos necesarios para realizar las mediciones; estos son: manómetro específico para medidas de Freon-22, pistola térmica infrarroja y tester.

Se realizan las mediciones de cada variable haciendo uso de los instrumentos previamente adquiridos; se utiliza el manómetro y pistola térmica infrarroja para medir la presión y la temperatura, respectivamente, tanto en la entrada como en la salida del compresor, y en la salida del condensador; tester para obtener los valores de voltaje y corriente en las líneas de alimentación del compresor y del sistema y finalmente se registraron las variables deseadas en el instrumento de recolección de datos elaborado. Es importante acotar que el tiempo de medición fue de seis semanas para cada situación, aceite sin aditivo y aceite con aditivo, a lo largo de ese tiempo se midió dos días a la semana, para iniciar la realización de mediciones una vez agregado el aditivo se esperó una semana. Además se midió el diámetro del compresor y de las tuberías ubicadas a la succión y descarga del mismo, también se midió su longitud, con respecto al condensador se midió el diámetro de la descarga.

Una vez medidas las variables deseadas se procedió a buscar la fuente de propiedades termodinámicas del refrigerante R-22, al conseguirla se dió inicio a los cálculos pertinentes. Inicialmente se determinó la temperatura interna del fluido en la descarga y succión del compresor y en la descarga del condensador, para ello se determinó la temperatura de película con la ecuación 2.22 y los datos de temperatura de pared y temperatura ambiente. A la temperatura de película se determinaron las propiedades del aire haciendo uso de la Tabla A.3 (Ver apéndice A) y con ellas se determinó el número de Rayleigh, haciendo uso de la ecuación XXII, para determinar las constantes de la correlación de coeficiente convectivo según la Tabla A.5 (Ver apéndice A).

A continuación se determinó el coeficiente convectivo con la ecuación 2.21 para finalmente determinar el calor perdido por convección al ambiente con la ecuación 2.19, es importante indicar que el área de transferencia de calor se determinó con los valores de perímetro y longitud del cuerpo que lo emite al ambiente, en este caso los segmentos de tuberías de la descarga y succión del

compresor y la descarga del condensador, se hizo con la ecuación 2.20. Una vez obtenido el calor perdido al ambiente se igualó éste al calor transferido desde la pared interior hasta la pared exterior de la tubería, esta transferencia se da por conducción, conociendo la ecuación 2.24 se asumió un valor para el coeficiente de conductividad, de acuerdo con la Tabla A.8 y se despejó la temperatura interna, con lo que se pudo determinar la temperatura media de la tubería con la ecuación 2.25 y se estimó el valor real del coeficiente conductivo, finalmente se calculó el porcentaje de desviación entre los coeficientes de conductividad asumido y calculado, con la ecuación 2.26, si era mayor a 5% se utilizaba el coeficiente calculado como se utilizó inicialmente el coeficiente asumido en una nueva corrida, y así se hizo sucesivamente hasta que se alcanzó el nivel de tolerancia indicado. Cuando esto ocurrió se detuvo el proceso y se utilizó la última temperatura interna calculada como temperatura del fluido.

El procedimiento se realizó en la descarga y succión del compresor y en la descarga del condensador, con la finalidad de determinar la entalpía del refrigerante R-22 en estos 3 puntos para cada equipo en cada día de medición. Se realizó el cálculo de la entalpía haciendo uso del software “NIST THERMODYNAMIC PROPERTIES OF REFRIGERANTS AND REFRIGERANTS MIXTURES Version 4.0” una vez obtenidas se procedió a calcular el trabajo del compresor utilizando la ecuación 2.7 para cada sistema en cada fecha de medición, luego se promediaron estos resultados para obtener un único valor del trabajo del compresor antes y un único valor del trabajo del compresor después de la adición del aditivo.

A continuación se determinó el calor absorbido por el refrigerante en el evaporador haciendo uso de la ecuación 2.17 y las entalpías de la descarga del condensador y la succión del compresor (Ver figura 2.3), esto se hace considerando que la válvula de expansión es isoentálpica, por lo que la entalpía a la descarga del condensador es igual a la entalpía de la succión del evaporador. Además del calor absorbido por el refrigerante se calculó el calor perdido al ambiente por el compresor haciendo uso de la ecuación 2.19, y apoyándose en las ecuaciones 2.20, 2.21, 2.22 y 2.23 al igual en el cálculo del calor perdido al

ambiente en los segmentos de tubería correspondientes a la descarga y succión del compresor y la descarga del condensador.

Una vez obtenido el calor perdido al ambiente por el compresor se procedió a determinar la potencia consumida en el compresor haciendo uso de la ecuación 2.7 que aplica para sistemas trifásicos, relacionando la tensión y la corriente con un factor de potencia establecido este último en 0,8 acorde con entrevista informal llevada a cabo con expertos en el área el 29 de octubre de 2010.

Finalmente se determinó el flujo másico del refrigerante utilizando la ecuación 2.18, para luego determinar la capacidad de refrigeración de los dos sistemas en cada día de medición, promediando al final la capacidad de refrigeración obtenida antes del uso del aditivo y la capacidad de refrigeración obtenida después de la adición del aditivo en cada compresor. Es importante destacar que todos estos cálculos se realizaron con ayuda de Microsoft Office Excel 2007.

Objetivo 3. Muestrear el aceite utilizado en dos unidades de refrigeración con y sin aditivo, para luego solicitar un estudio de las características fisicoquímicas en el laboratorio central de la empresa.

Inicialmente se obtuvieron los instrumentos necesarios para tomar las muestras como lo son el manómetro y las herramientas básicas en el taller de Servicios Generales y los envases destinados a la recolección del aceite se buscaron en el Laboratorio Central de la empresa.

Luego se trasladaron al lugar donde se encuentran las unidades de refrigeración para proceder con el muestreo el cual se realizó controlando las presiones tanto en la succión como en la salida del compresor para verificar que éste tuviera las condiciones adecuadas al momento de aflojar el tornillo mediante el cual se obtiene la muestra del fluido de manera directa en el envase, se asignó la identificación correspondiente a cada uno de los envases.

Una vez hecho el muestreo se llevan los recipientes al laboratorio central de la empresa donde se analizaron de modo que fuera posible tener un registro del estado del aceite a partir de los resultados de viscosidad, acidez, conteo de partículas, miscibilidad, fluidez y metales disueltos. Este procedimiento se realizó antes y después de añadir el aditivo para efecto de los análisis de viscosidad, acidez, conteo de partículas y metales disueltos, con respecto a los análisis de miscibilidad y fluidez se realizó un único análisis para el lubricante virgen.

Objetivo 4. Determinar la vibración en la pared del compresor antes y después de agregar el aditivo.

Inicialmente se procede a elaborar un instrumento de recolección de datos que toma en cuenta velocidad, la pEnergía y la velocidad axial, parámetros necesarios para determinar la vibración en la pared del compresor. La Tabla 3.1 muestra dicho instrumento de recolección de datos.

Tabla 3.1. Instrumento de recolección de datos para determinar la vibración en la pared del compresor.

Velocidad (pulg/s)	pEnergía (U.E/s)	Velocidad axial (pulg/s)

Para lograr este objetivo se coordinó con el departamento de mantenimiento predictivo de la empresa para el préstamo del equipo IRD Fast Track con acelerómetro número 328F01SN32367 ICP y espiga de aluminio. Una vez en el lugar se procedió a la obtención de resultados con el uso del sensor del equipo de medición en la pared del compresor, registrando la variable deseada, a partir de la pantalla del instrumento, en el instrumento de recolección de datos elaborado. Esto se realizó en cada una de las unidades, antes y después de agregar el aditivo.

Objetivo 5. Comparar los resultados obtenidos en cuanto al análisis de aceite, trabajo del compresor, capacidad de refrigeración y estudio de vibración, para evaluar la influencia del aditivo en los sistemas de refrigeración.

Se realizaron dos tablas comparativas la primera involucró los resultados obtenidos en el análisis de vibraciones, trabajo del compresor y capacidad de refrigeración, la segunda involucró únicamente al código ISO ambas tablas para evaluar la influencia del aditivo en los sistemas de refrigeración. Las tablas comparativas se muestran en las Tablas 3.2 y 3.3.

Tabla 3.2. Tabla comparativa de resultados.

Parámetro	Antes de agregar el aditivo		Después de agregar el aditivo	
	Compresor A	Compresor B	Compresor A	Compresor B
Trabajo del compresor (kw)				
Capacidad de refrigeración (ton)				
pEnergía (U.E/s)				
Velocidad axial (pulg/s)				
Velocidad				

Tabla 3.3. Tabla comparativa de resultados (Código ISO).

Parámetro	Aceite virgen	Antes de agregar el aditivo		Después de agregar el Aditivo			
	Suniso 4GS	Compresor A	Compresor B	Compresor A	Compresor B	Compresor A	Compresor B
Código ISO							

Los análisis de miscibilidad y fluidez se compararon con la norma COVENIN1926:1997 *Aceites lubricantes para compresores de aire, refrigeración y*

gas natural para vehículos a través de la tabla comparativa mostrada en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Herramienta utilizada para llevar a cabo la comparación de los resultados obtenidos en cuanto a la fluidez de la mezcla virgen del aceite y aditivo con la norma COVENIN1926:1997.

Parámetro	Mezcla virgen de aceite y aditivo	Norma COVENIN 1926:1997 KC32	Norma COVENIN 1926:1997 KC48	Norma COVENIN 1926:1997 KC68
Fluidez				

Con respecto a los análisis de viscosidad, acidez y metales disueltos, se realizaron gráficos de dispersión con ayuda del programa Microsoft Office Excel 2007 para comparar los resultados obtenidos antes y después de agregado el aditivo.

CAPÍTULO IV RESULTADOS

En este capítulo se observan, analizan y discuten los resultados obtenidos durante el desarrollo de la investigación a fin de dar parte al cumplimiento de los objetivos específicos y finalmente el objetivo general.

4.1 Definir las variables a medir que son necesarias para lograr un estudio exhaustivo que permita evaluar la influencia del aditivo en el sistema.

Para estimar cómo influye el aditivo en la eficiencia del sistema se decidió estimar la capacidad de refrigeración la cual se calcula:

$$C = \dot{m}_{\text{ref}} \times Q_L \quad (4.1)$$

Donde:

C: Capacidad de refrigeración (kJ/s)

\dot{m}_{ref} : Flujo másico del refrigerante (kg/s)

Q_L : Calor absorbido por el refrigerante en el evaporador (kJ/kg)

En un sistema de refrigeración como el mostrado en la figura 2.2 de marco teórico, el calor absorbido por el refrigerante se determina con ayuda de la primera ley como sigue [9]:

$$Q_L = h_1 - h_4 \quad (4.2)$$

h_1 : entalpía del refrigerante en el lado de baja presión del compresor. (kJ/kg)

h_4 : entalpía del refrigerante en la salida de la válvula de expansión. (kJ/kg)

Como no se puede medir presión y temperatura a la entrada del evaporador por la estructura del sistema, se realiza un balance de energía en la válvula de expansión para demostrar que es isoentálpica, lo que conlleva a que la entalpía a la salida del condensador es la misma a la entrada del evaporador, y cuyos datos de presión y temperatura si son conocidos.

$$\Delta U + \Delta E_p + \Delta E_c = \pm Q \pm W_s \pm PdV + \sum \dot{m}_e (h_e + ep_e + ec_e) - \sum \dot{m}_s (h_s + ep_s + ec_s)$$

Como es un sistema abierto no hay acumulación de masa ni de energía, lo que anula los términos de variación de energía interna, potencial y cinética, además se sabe que es adiabática y que no tiene ningún tipo de trabajo asociado, finalmente se tiene que el flujo másico que entra es igual al flujo másico que sale de la válvula y que la variación de energía potencial y cinética de los alrededores es despreciable, con eso se tiene que la primera ley de la termodinámica queda:

$$0 = \dot{m}_{ref} (h_{entrada} - h_{salida})$$

Despejando se obtiene: $h_{entrada} = h_{salida}$ en la válvula de expansión.

Una vez demostrado esto, se obtiene la entalpía en la salida del condensador con la cual se determina el calor absorbido por el refrigerante en el evaporador.

Por otra parte el flujo másico del refrigerante se obtiene haciendo uso de la siguiente ecuación [21]:

$$\dot{m}_{ref} = \frac{\dot{W} - Q_{RC}}{h_1 - h_4} \quad (4.3)$$

Donde:

W: potencia eléctrica del compresor (kJ/s)

Q_{RC}: Calor disipado por el compresor (kJ/s)

La potencia eléctrica del compresor [según entrevista con Ing. Juan C. Ataya]

$$W = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot Fp \quad (4.4)$$

Donde:

V: Voltaje de línea del compresor (V)

I: Corriente de línea del compresor (A)

Fp: Factor de potencia.

Por lo que de esta ecuación se define el voltaje y la corriente del compresor como variables a medir.

El calor disipado por el compresor se determina utilizando una correlación de convección natural del aire [22].

$$Q_{RC} = A \times h \times (T_w - T_{amb}) \quad (4.5)$$

Donde:

A: área de transferencia de calor del compresor (m²)

h: coeficiente convectivo (W/K.m²)

T_w: temperatura de la carcasa del compresor (K)

T_{amb}: temperatura del ambiente (K)

Con esta ecuación se definió que las temperaturas de pared y ambiente son dos de las variables a medir durante el trabajo de campo.

El área de transferencia de calor depende a su vez del radio y de la longitud del compresor, aproximando este último a un cilindro horizontal.

$$A = 2\pi \times r \times L \quad (4.6)$$

Donde:

r: radio del compresor (m)

L: longitud del compresor (m)

Como se observa, para determinar el área se debe medir la longitud del equipo o volumen de control a estudiar, es por ello que se definió ese parámetro como otra de las variables a medir durante la parte experimental de este proyecto.

El coeficiente convectivo para este medio se determina a través de la siguiente correlación:

$$h = c \left(\frac{T_w - T_{amb}}{b} \right)^n \quad (4.7)$$

Siendo c, b y n constantes que dependen del número de Rayleigh que a su vez se calcula como sigue:

$$Ra = \frac{g \times \beta \times (T_w - T_{amb}) \times Di^3 \times Pr}{\nu^2} \quad (4.8)$$

Donde:

g: aceleración de la gravedad (m/s²)

Di: diámetro interno del compresor (m)

Pr: número de Prandtl (adim)

ν : viscosidad cinemática (stoke)

Todas estas propiedades dependen de la temperatura de película:

$$T_p = \frac{T_w + T_{amb}}{2} \quad (4.9)$$

Donde T_p es la temperatura de película [22].

Ahora bien, para determinar las entalpías es necesario conocer la presión, quedando definida dicha presión como variable a medir durante el período de estudio, además la temperatura del fluido, para ello se hace un proceso iterativo

que inicia determinando el calor perdido al ambiente en los segmentos donde se desee conocer la temperatura del fluido que corresponderá con la temperatura interna de la pared de la tubería. Como la energía no se crea ni se destruye sino que se transfiere, se puede igualar la temperatura perdida al ambiente con la temperatura transferida en el interior de la pared de la tubería. En la figura 2.4 de marco teórico, se muestra cómo se transfiere el calor en un cuerpo cilíndrico.

El calor transferido por conducción en un cilindro se puede estimar de la siguiente manera:

$$Q_{\text{cond}} = \frac{K \cdot 2\pi L \cdot (T_i - T_w)}{\ln\left(\frac{r_w}{r_i}\right)} \quad (4.10)$$

Donde:

Q_{cond} : Calor transferido por conducción (KJ/s)

K: Coeficiente de conductividad (W/m.K)

L: Longitud del cilindro (m)

r_w : Radio externo del cilindro (m)

r_i : Radio interno del cilindro (m)

El radio externo del cilindro se determina mediante el siguiente modelo matemático:

$$r_w = \frac{p}{2 \cdot \pi} \quad (4.11)$$

Donde:

p: es el perímetro del volumen de control.

De esta manera es necesario definir el perímetro como un parámetro de las variables a registrar.

El coeficiente de conductividad se evalúa a temperatura media, esta temperatura se calcula como sigue:

$$T_m = \frac{T_i + T_w}{2} \quad (4.12)$$

Donde T_m es la temperatura media de la tubería en grados Kelvin.

Al hacer uso de estas ecuaciones se determina tanto la temperatura interna como la temperatura media, con ella se puede estimar el valor del coeficiente conductivo, que a su vez se compara con el coeficiente conductivo asumido en el cálculo de la temperatura interna a través de la siguiente ecuación:

$$\%Desv = \frac{|V_t - V_a|}{V_t} \times 100\% \quad (4.13)$$

Donde:

%Desv: Porcentaje de desviación entre un valor y otro (%)

V_t : Valor teórico.

V_a : Valor asumido.

Finalmente para determinar cómo influye el aditivo en la eficiencia del compresor se decidió calcular el trabajo consumido por el mismo:

$$W_c = h_2 - h_1 \quad (4.14)$$

Donde:

W_c : trabajo del compresor (kJ/kg)

h_2 : entalpía en el lado de alta presión del compresor (kJ/kg)

h_1 : entalpía en el lado de baja presión del compresor (kJ/kg)

A su vez h_1 y h_2 dependen de la presión y temperatura interna del fluido en las válvulas de alta y baja presión del compresor. Para el cálculo de la temperatura del fluido se aplica el mismo proceso ya explicado en la capacidad de refrigeración solo que el volumen de control para este caso serán las válvulas de alta y baja presión del compresor.

4.2 Medir y registrar los parámetros necesarios para determinar la capacidad de refrigeración y el trabajo del compresor de dos sistemas de refrigeración antes y después de agregar el aditivo.

Se midieron las variables definidas con ayuda de un tester, un manómetro específico para Freón-22, una pistola térmica infrarroja y una cinta métrica. Con esos datos obtenidos a lo largo de la etapa experimental se determinaron el trabajo y la capacidad de refrigeración del compresor. Estos cálculos se realizaron con ayuda de la herramienta Microsoft Excel Office, en el apéndice D se muestra cómo se realizaron dichos cálculos

El trabajo y la capacidad de refrigeración del compresor para ambos equipos antes de agregar el aditivo se observan en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Trabajo y capacidad de refrigeración de los compresores A y B antes de agregar el aditivo

Trabajo del compresor ($W_c \pm 0,2$)J/s		Capacidad de refrigeración ($C \pm 0,04$)ton	
Compresor A	Compresor B	Compresor A	Compresor B
41,3	57,5	13,31	13,65

El cálculo de la capacidad de refrigeración de los compresores se realizó con poca data debido a que las válvulas de la salida de ambos condensadores no estuvieron operativas durante un largo período de tiempo

En cuanto al trabajo del compresor y la capacidad de refrigeración de ambos compresores después de agregar el aditivo se ven los siguientes resultados en la tabla 4.2.

Tabla 4.2. Trabajo y capacidad de refrigeración de los compresores A y B después de agregar el aditivo

Trabajo del compresor ($W_{c\pm 0,2}$)J/s		Capacidad de refrigeración ($C_{\pm 0,04}$)ton	
Compresor A	Compresor B	Compresor A	Compresor B
39,9	37,8	13,17	15,99

4.3 Muestrear el aceite utilizado en dos unidades de refrigeración con y sin aditivo, para luego solicitar su análisis de acidez, viscosidad, conteo de partículas, miscibilidad, fluidez y metales disueltos en el laboratorio central de la empresa.

Se muestreó el aceite de las dos unidades de refrigeración con el envase proporcionado por el laboratorio, luego se trasladó al laboratorio central de la empresa arrojando los resultados obtenidos en los análisis del aceite del compresor tanto antes como después de la adición del aditivo.

Indicando el nivel de contaminación del fluido de acuerdo con el código de limpieza de la norma ISO 4406:99 se muestran las tablas 4.3 y 4.4 para las etapas anterior y posterior a la adición de aditivo respectivamente.

Tabla 4.3. Análisis del aceite virgen y el aceite usado antes de agregar el aditivo

Parámetro	Aceite virgen	Antes de agregar el aditivo	
	Suniso 4GS	Compresor A	Compresor B
Código ISO	19/18/16	20/19/17	22/21/17

Tabla 4.4. Análisis del aceite después de agregar el aditivo.

Parámetro	Después de agregar el Aditivo			
	Compresor A	Compresor B	Compresor A	Compresor B
Código ISO	22/22/20	20/19/17	20/20/19	21/21/20

Seguidamente se tiene que los valores de miscibilidad y fluidez de la mezcla del aceite Suniso 4GS con el aditivo no pudieron ser medidos ya que el Laboratorio Central de la empresa comprobó que dichos compuestos no son totalmente miscibles entre ellos, y para realizar el estudio de fluidez es necesario que exista miscibilidad

Para el caso de la viscosidad, acidez y metales disueltos más relevantes, se realizaron gráficos de dispersión con ayuda del programa Microsoft Office Excel mostrados en las figuras 4.1 hasta la 4.16. Es importante acotar que para todos los gráficos del compresor (A) el primer muestreo es para el Suniso 4GS virgen, punto que no se tomó para el compresor (B) debido a que la empresa informó que ambos equipos estaban cargados con Suniso 4GS y resultó que solo fue así para el compresor (A), por no disponer del Suniso 3GS virgen, éste punto no se tomó en el compresor B.

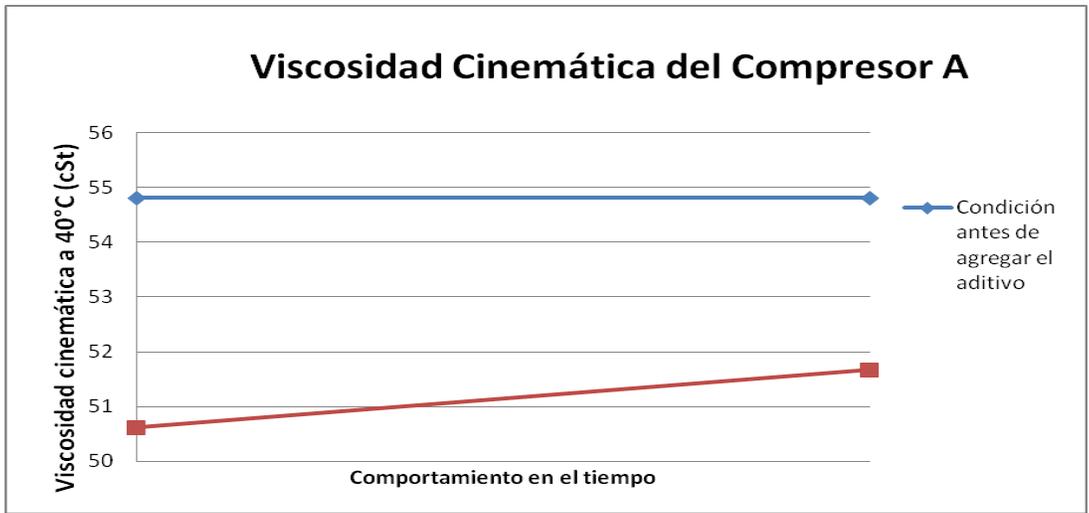


Figura 4.1. Variación de la viscosidad con y sin aditivo para el compresor A.

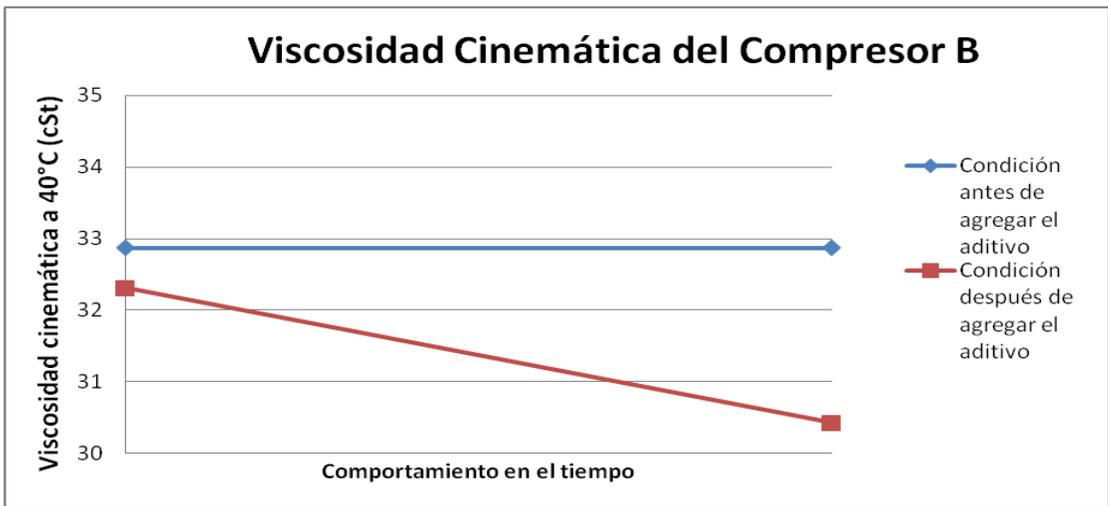


Figura 4.2. Variación de la viscosidad con y sin aditivo para el compresor B.

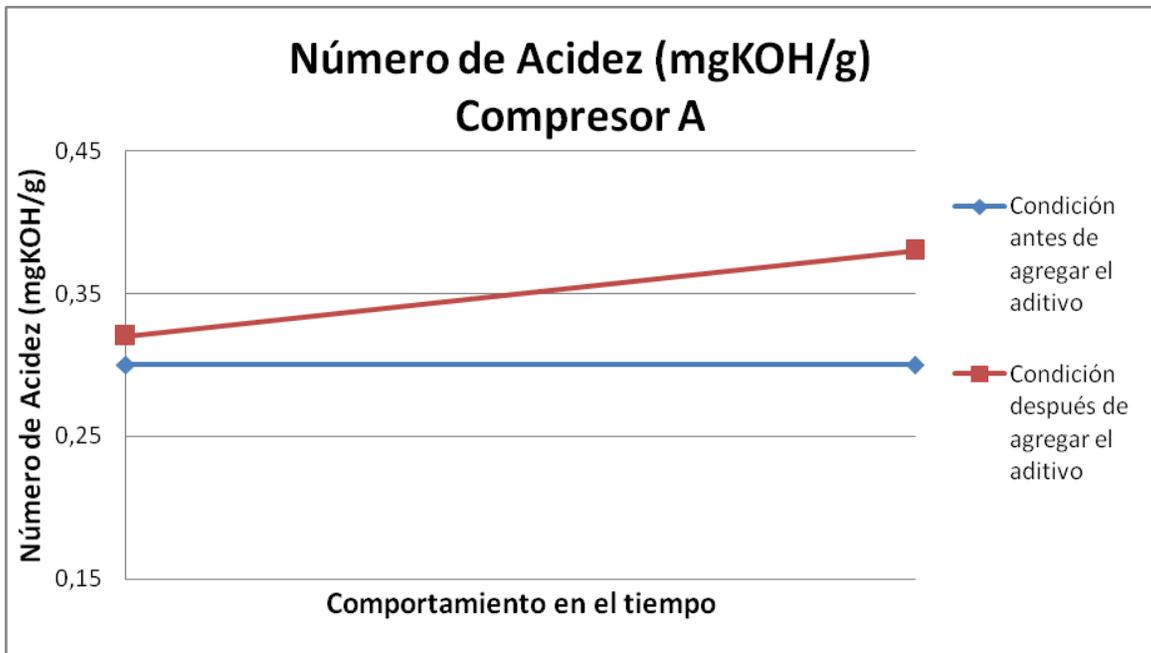


Figura 4.3. Variación del número de acidez con y sin aditivo para el compresor A.

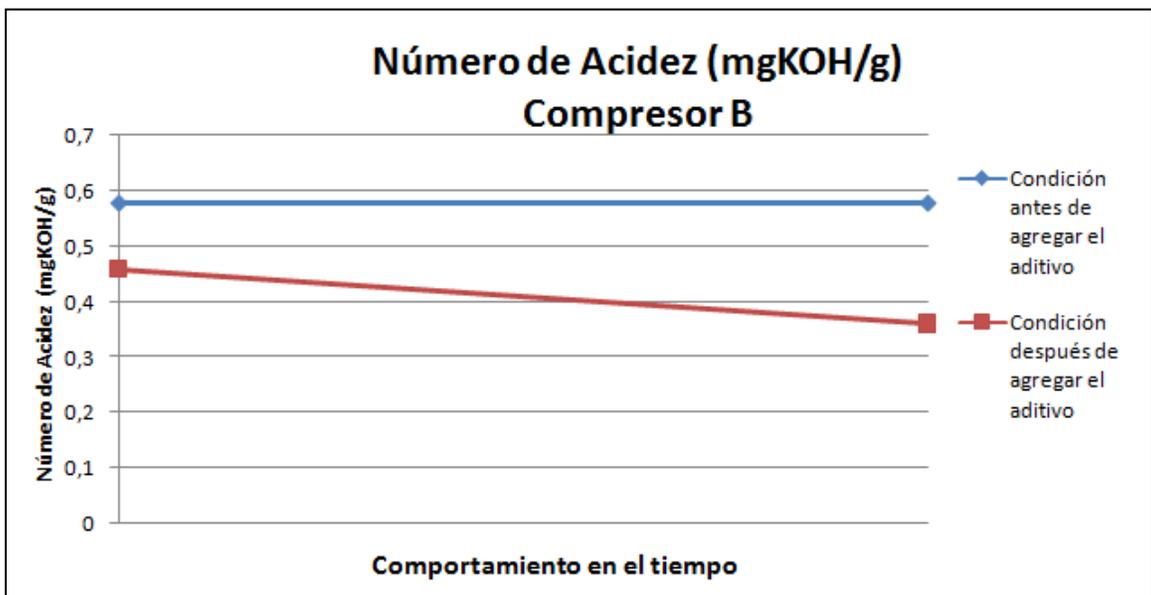


Figura 4.4. Variación del número de acidez con y sin aditivo para el compresor B.

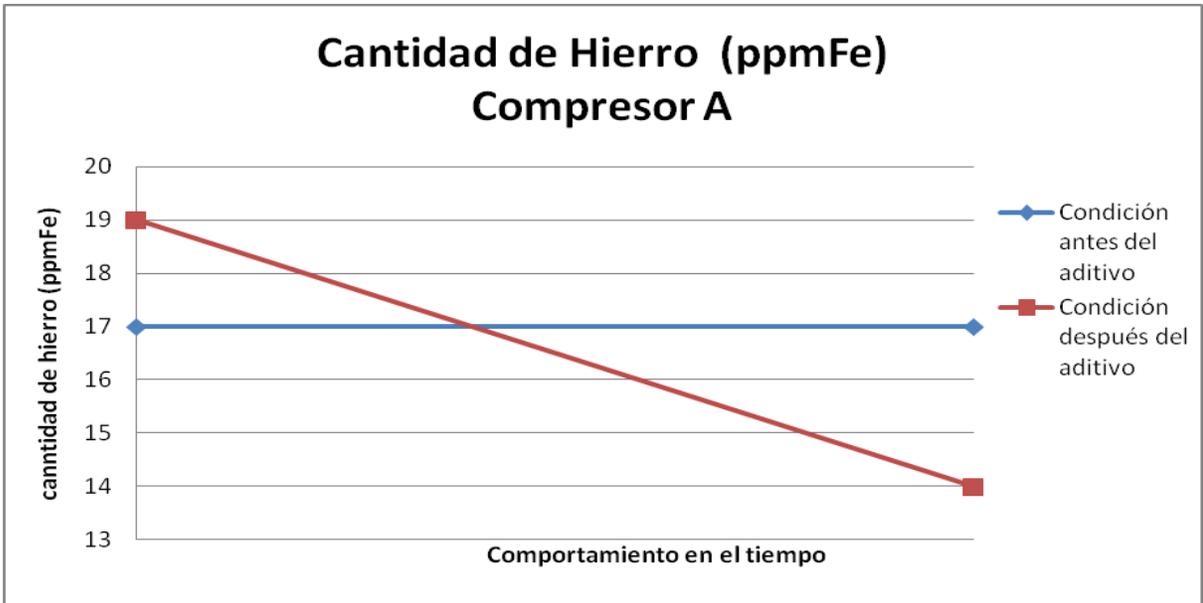


Figura 4.5. Cantidad de hierro (Fe) con y sin aditivo para el compresor A.

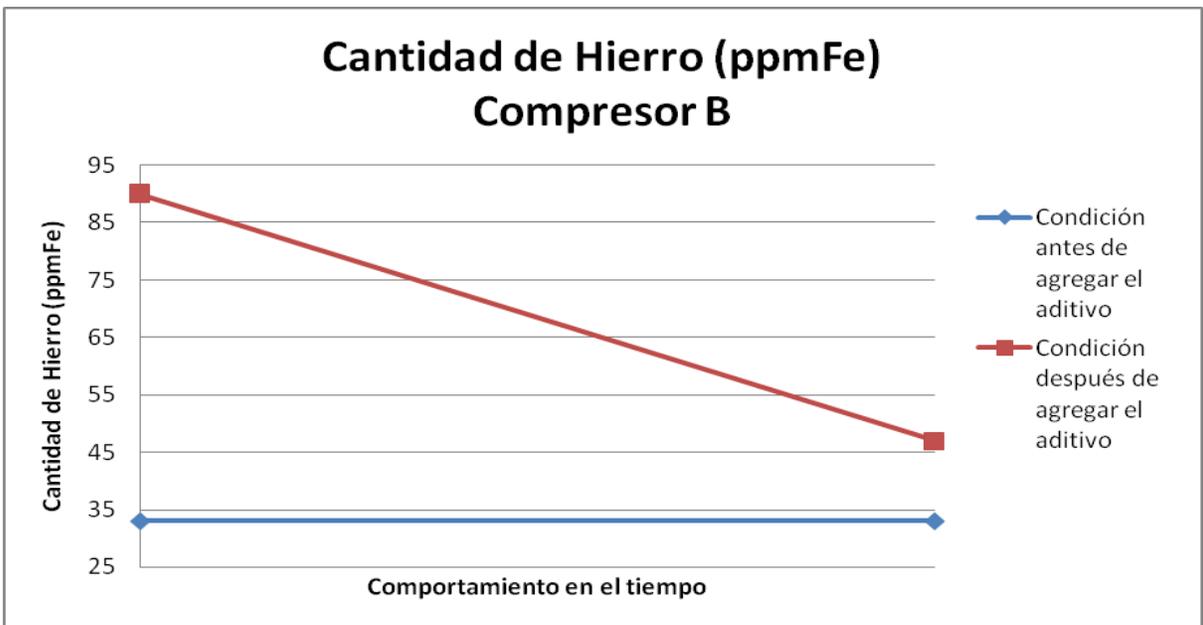


Figura 4.6. Cantidad de hierro (Fe) con y sin aditivo para el compresor B.

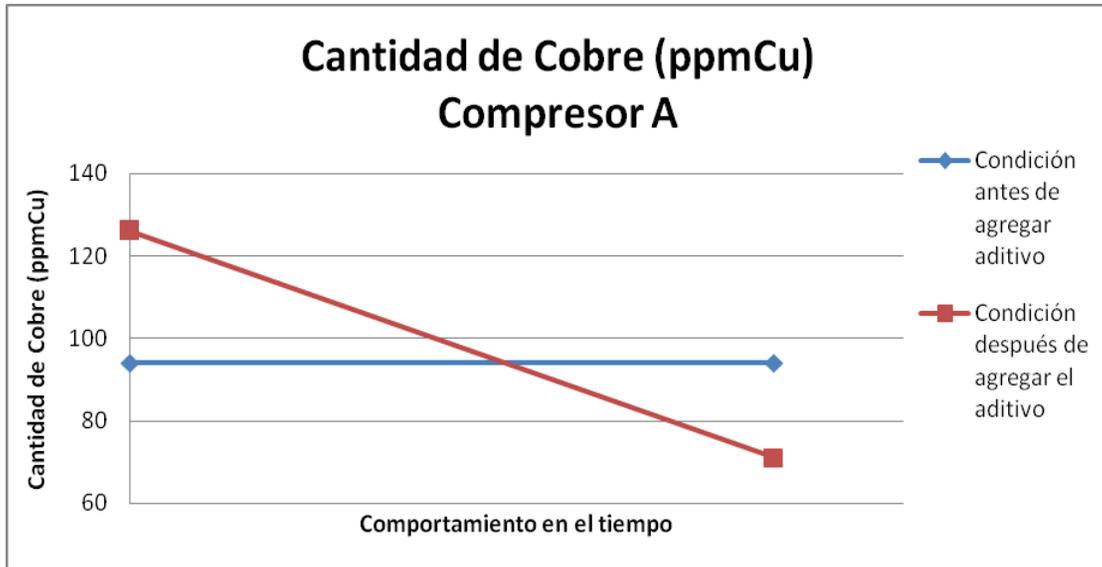


Figura 4.7. Cantidad de Cobre (Cu) con y sin aditivo para el compresor A.

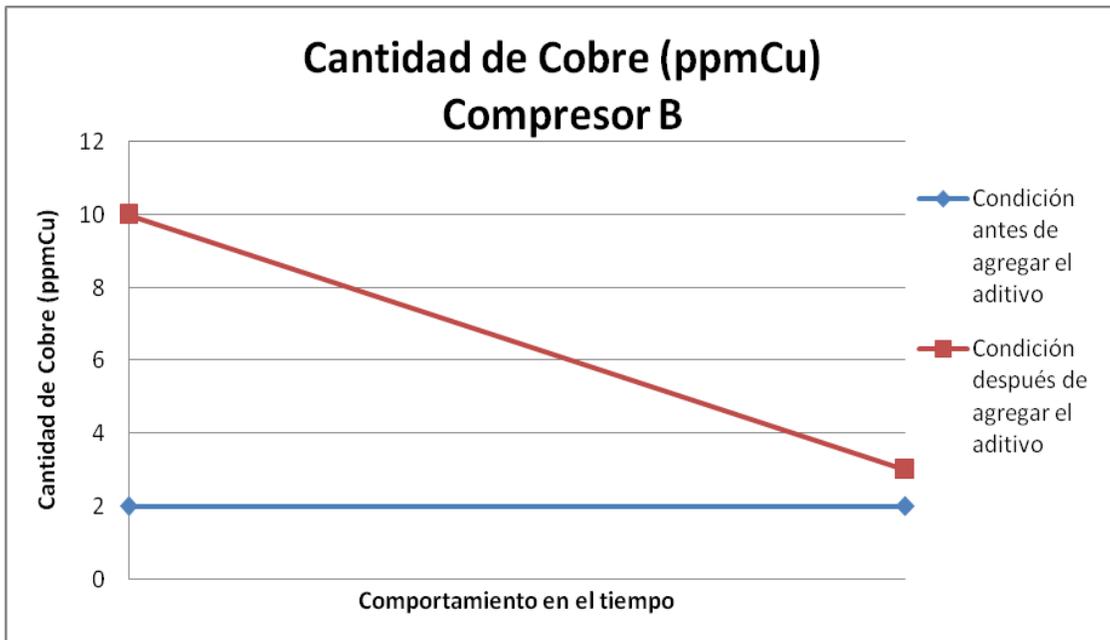


Figura 4.8. Cantidad de Cobre (Cu) con y sin aditivo para el compresor B.

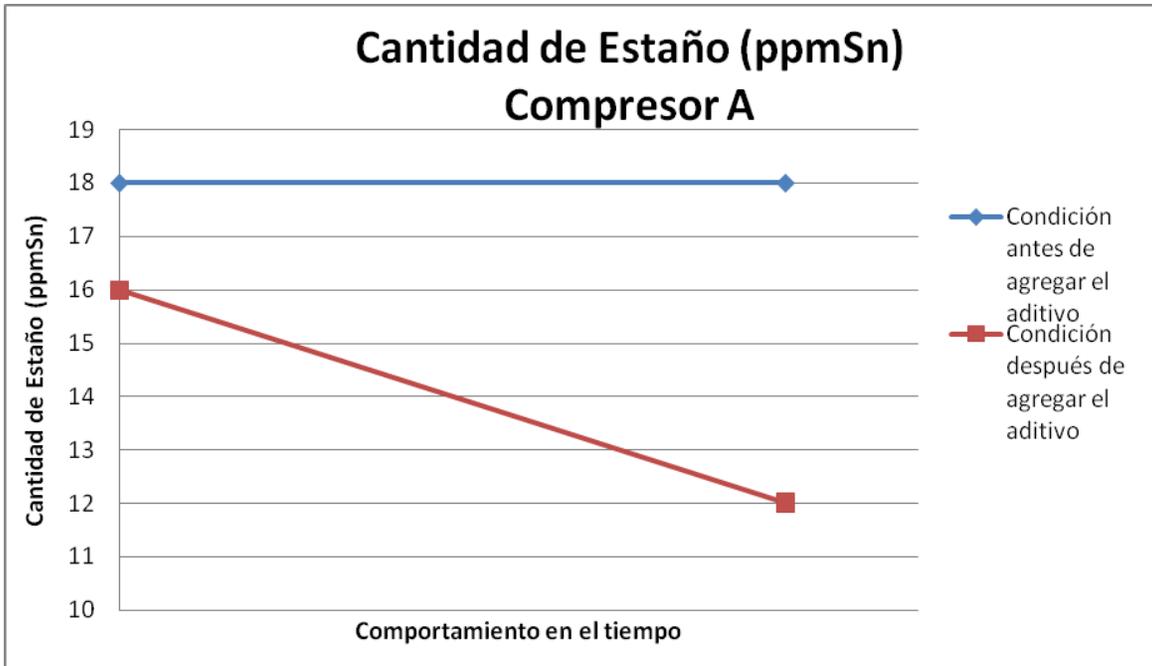


Figura 4.9. Cantidad de Estaño (Sn) con y sin aditivo para el compresor A.

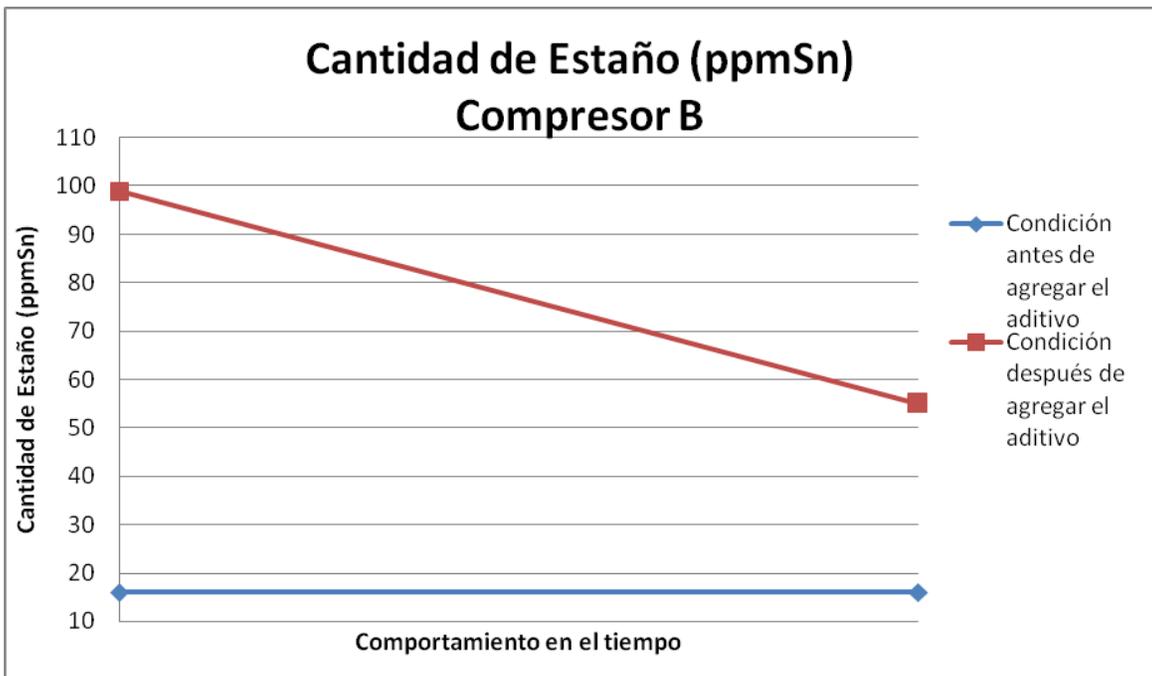


Figura 4.10. Cantidad de Estaño (Sn) con y sin aditivo para el compresor B.

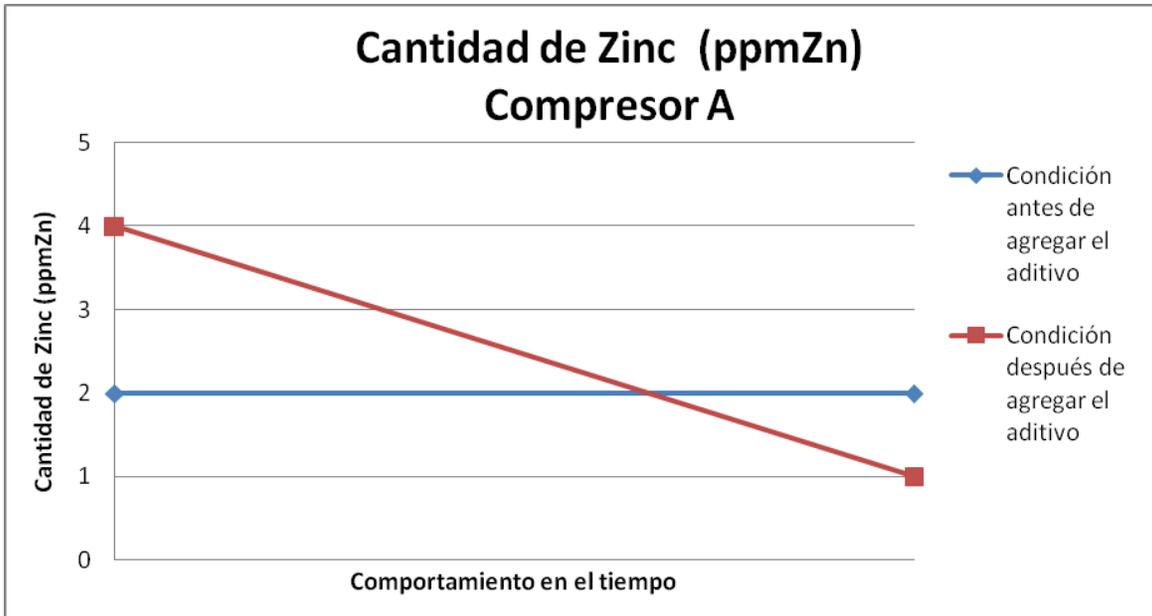


Figura 4.11. Cantidad de Zinc (Zn) con y sin aditivo para el compresor A.

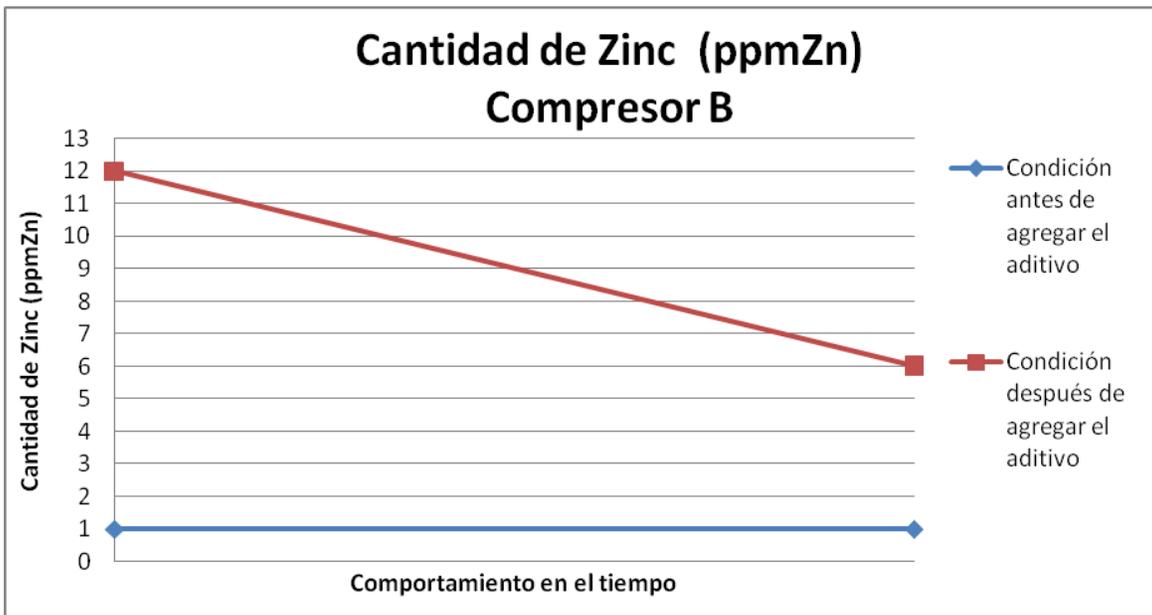


Figura 4.12. Cantidad de Zinc (Zn) con y sin aditivo para el compresor B.

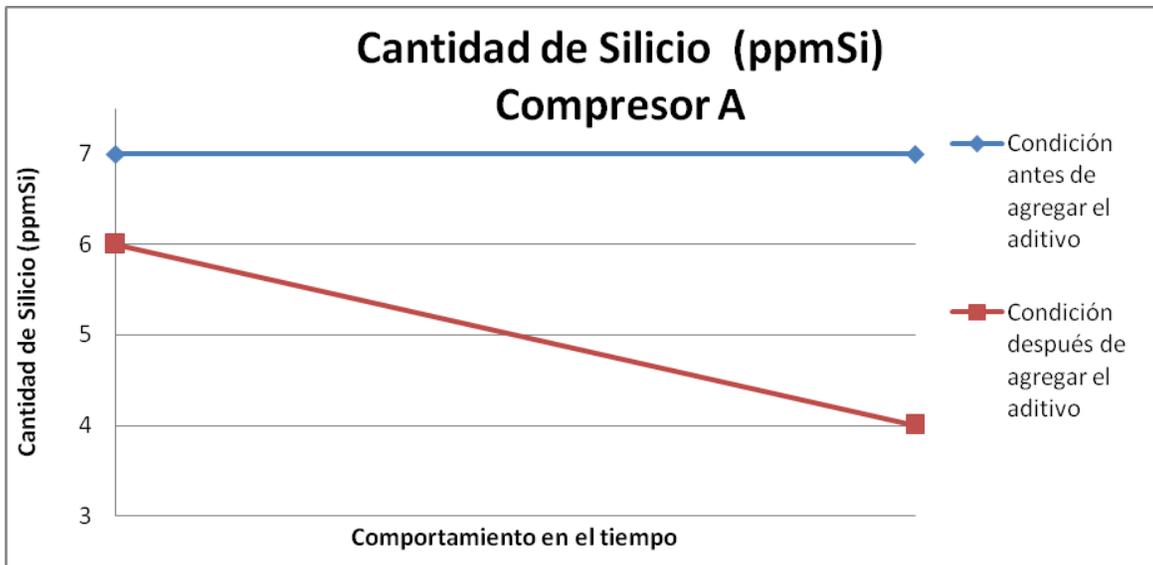


Figura 4.13. Cantidad de Silicio (Si) con y sin aditivo para el compresor A.

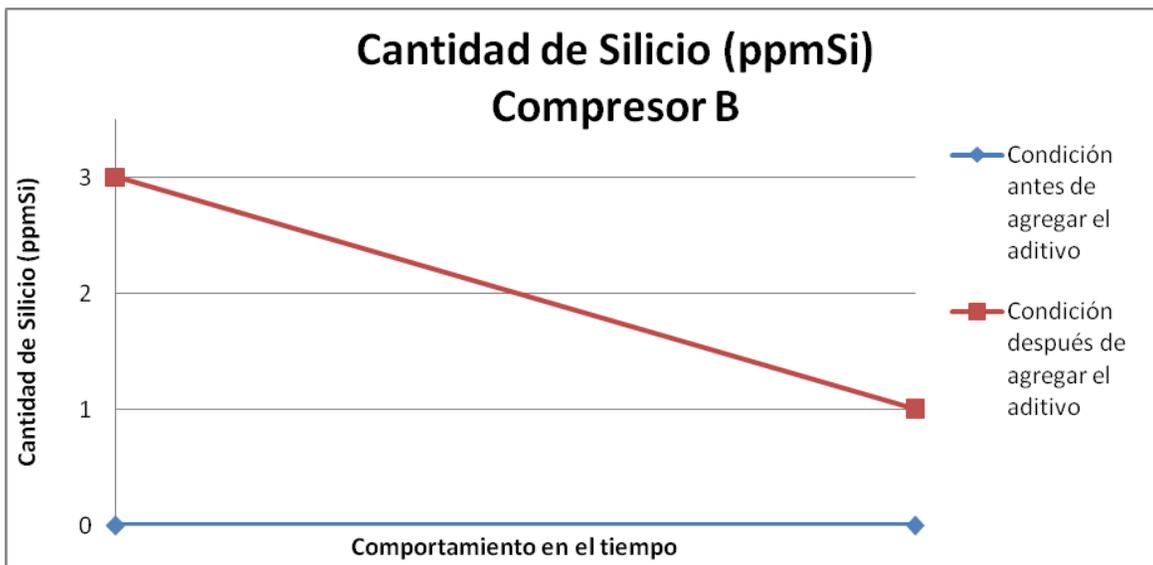


Figura 4.14. Cantidad de Silicio (Si) con y sin aditivo para el compresor B.

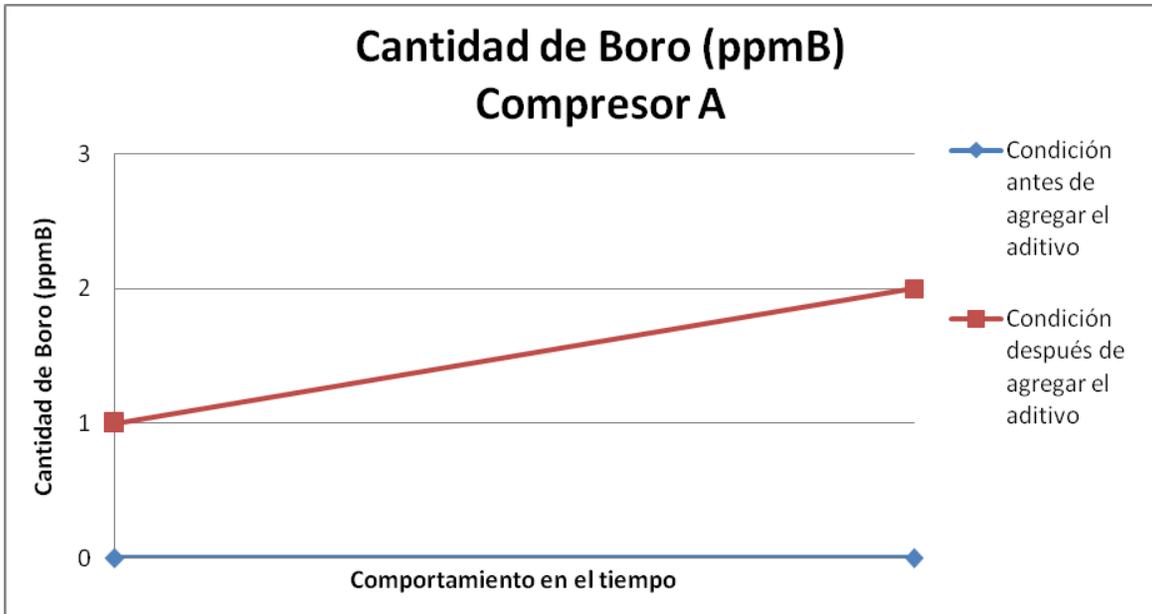


Figura 4.15. Cantidad de Boro (B) con y sin aditivo para el compresor A.

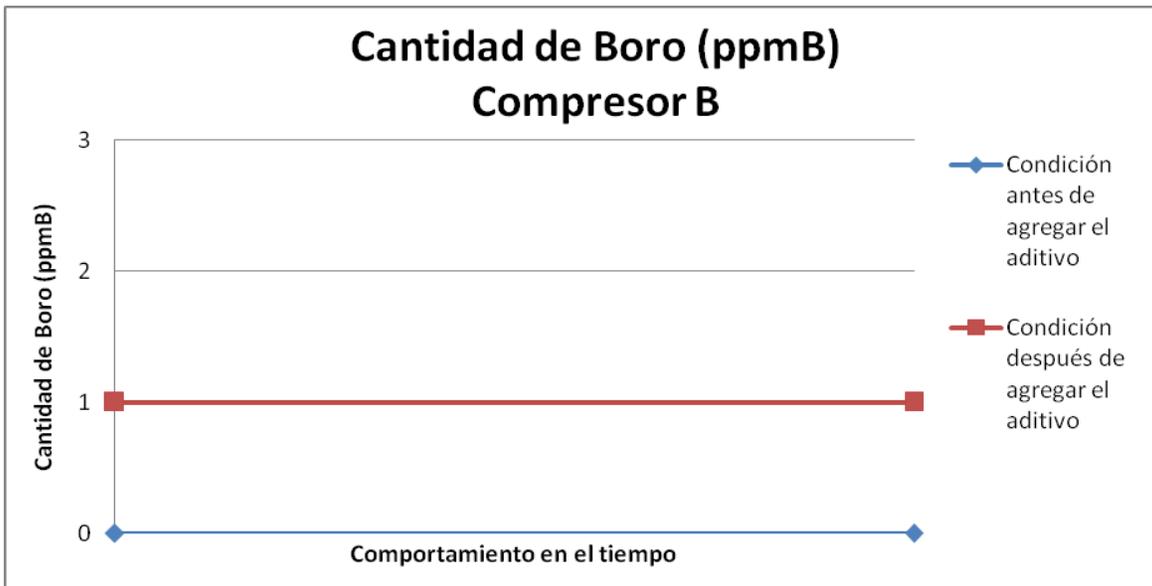


Figura 4.16. Cantidad de Boro (B) con y sin aditivo para el compresor B.

4.4 Determinar la vibración en la pared del compresor antes y después de agregar el aditivo.

Luego de obtener los resultados del estudio de vibración con el equipo IRD Fast Track con acelerómetro número 328F01SN32367 ICP y espiga de aluminio previamente calibrado se descargaron los resultados en las tablas 4.5, 4.6, 4.7, 4.8.

Tabla 4.5. Datos experimentales obtenidos para determinar la vibración en la pared del compresor (A) antes de agregar el aditivo.

Velocidad ($V \pm 0.001$) pulg/s	pEnergía ($pE \pm 0.001$)U.E/s	Velocidad axial ($Va \pm 0.001$)pulg/s
0.137	0.376	0.231

Tabla 4.6. Datos experimentales obtenidos para determinar la vibración en la pared del compresor (B) antes de agregar el aditivo.

Velocidad ($V \pm 0.001$) pulg/s	pEnergía ($pE \pm 0.001$)U.E/s	Velocidad axial ($Va \pm 0.001$)pulg/s
0.258	0.263	0.296

Tabla 4.7. Datos experimentales obtenidos para determinar la vibración en la pared del compresor (A) después de agregar el aditivo.

Velocidad ($V \pm 0.001$) pulg/s	pEnergía ($pE \pm 0.001$)U.E/s	Velocidad axial ($Va \pm 0.001$)pulg/s
0.136	0.250	0.170

Tabla 4.8. Datos experimentales obtenidos para determinar la vibración en la pared del compresor (B) después de agregar el aditivo.

Velocidad ($V \pm 0.001$) pulg/s	pEnergía ($pE \pm 0.001$)U.E/s	Velocidad axial ($Va \pm 0.001$)pulg/s
0.230	0.250	0.220

4.5 Comparar los resultados obtenidos en cuanto al análisis de aceite, trabajo del compresor, capacidad de refrigeración y estudio de vibración para evaluar la influencia del aditivo en los sistemas de refrigeración.

Comparando inicialmente los resultados del análisis de vibraciones, trabajo del compresor y capacidad de refrigeración se reporta en la tabla 4.9.

Tabla 4.9. Comparación de resultados (trabajo, capacidad, vibración).

Parámetro	Antes de agregar el aditivo		Después de agregar el aditivo	
	Compresor A	Compresor B	Compresor A	Compresor B
Trabajo del compresor ($Wc \pm 0,2$)J/s	41,3	57,5	39,9	37,8
Capacidad de refrigeración ($C \pm 0,04$)ton	13,31	13,65	13,17	15,99
pEnergía ($pE \pm 0.001$)U.E/s	0.376	0.263	0.250	0.250
Velocidad axial ($Va \pm 0.001$)pulg/s	0.231	0.296	0.170	0.220
Velocidad ($V \pm 0.001$) pulg/s	0.137	0.258	0.136	0.230

Se observa que el trabajo del compresor para el equipo A en promedio muestra una disminución del 3,376% y para el equipo B del 34,260%, esto luego de agregar el aditivo. Indicando una reducción del roce que existe entre los componentes internos de los compresores, esto es significativo ya que la fricción crea calor, promueve el desgaste y desperdicia energía.

Resultando para la capacidad de refrigeración del equipo A una pequeña disminución del 1.109% luego de agregar el aditivo. Esto ocurre porque en la etapa de condensación del sistema, el vapor sobrecalentado no alcanza el estado de saturación apropiado. Mientras que en el equipo B aumentó la capacidad de refrigeración en un 17,4%.

Para cada parámetro del análisis de vibración se observó lo siguiente luego de agregar el aditivo:

- pEnergía (U.E/s)

Compresor A:

Una disminución del 33,51%

Compresor B:

Una disminución del 4,942%

- Velocidad axial (pulg/s)

Compresor A:

Una disminución del 26,406%

Compresor B:

Una disminución del 25,67%

- Velocidad (pulg/s)

Compresor A:

Una disminución del 0,735%

Compresor B:

Un descenso del 10,852%

Según los resultados obtenidos en las tres características más importantes de vibración que se midieron, se aprecia una disminución del movimiento vibratorio en ambos equipos.

En una segunda tabla se compara el cambio únicamente del código ISO 4406:99 mostrado en la tabla 4.10.

Tabla 4.10. Comparación de resultados (código ISO).

Parámetro	Aceite virgen	Antes de agregar el aditivo		Después de agregar el Aditivo			
	Suniso 4GS	Compresor A	Compresor B	Compresor A	Compresor B	Compresor A	Compresor B
Código ISO	19/18/16	20/19/17	22/21/17	22/22/20	20/19/17	20/20/19	21/21/20

Durante la trayectoria del fluido sin aditivo y con aditivo se determinó para:

Compresor A:

En la primera cifra se observa un ascenso que posteriormente presenta una disminución. En la segunda cifra del código se observa casi el mismo comportamiento al caso anterior sólo que quedó incrementado en una unidad. Para la tercera cifra se presentó un aumento que se mantiene constante en el tiempo de prueba.

Compresor B:

En la primera cifra se registró un descenso de dos unidades que se mantuvo constante a lo largo del tiempo de muestreo. En la segunda cifra se evidenció un ascenso que posteriormente volvió a su valor inicial antes de agregar el aditivo. En la tercera cifra se obtuvo un incremento en la contaminación de dos unidades por encima del valor inicial.

Teniendo en cuenta los niveles de limpieza con la norma ISO 4406, se observa que para ambos compresores los niveles de contaminación son superiores al normalizado. En la tabla A.7 se observa que este código de limpieza ISO debe ser 18/17/15 para compresores de pistón. [28]

Se intentó comparar el valor de fluidez de la mezcla (aceite con aditivo) con el valor de la norma COVENIN1926:1997 *Aceites lubricantes para compresores de aire, refrigeración y gas natural para vehículos* haciendo uso de la tabla 4.12. Pero no se pudo lograr debido a que el Laboratorio Central de la empresa comprobó que el aditivo no es totalmente miscible con el aceite Suniso 4GS, y para realizar el estudio de fluidez es necesario que exista miscibilidad.

Con respecto a los análisis de viscosidad, acidez y metales disueltos, se realizaron gráficos de dispersión con ayuda del programa Microsoft Office Excel para comparar los resultados obtenidos antes y después de agregar el aditivo.

- De las figuras 4.1 y 4.2 de la viscosidad cinemática de los compresores A Y B, al ser comparadas se obtuvo que dicha viscosidad para ambos equipos tuvo una tendencia decreciente luego de agregar el aditivo. Lo que demuestra una alta degradación del aceite contenido en ambos equipos.

- Para las figuras 4.3 y 4.4 del número ácido, el valor del compresor A se mantuvo, caso contrario en el compresor B ya que cayó levemente. Indistintamente los valores de acidez en ambos aceites son muy elevados, esto es un indicador de la oxidación del lubricante.
- En las figuras 4.5 y 4.6, 4.7 y 4.8, 4.9 y 4.10 de la cantidad de hierro, cobre y estaño presentes en la mezcla, respectivamente, el comportamiento en ambos compresores fue el mismo, después de agregar el aditivo se observó que estos metales descendieron levemente. La aparición de estos metales en el aceite indica el desgaste de cilindros y pistones, así como también es posible que provengan de la herrumbre, ya que todas las piezas de hierro están sujetas a herrumbrarse. Estas partículas metálicas aumentan la velocidad de oxidación del aceite.
- Se observó en las figuras 4.11 y 4.12, 4.13 y 4.14, 4.15 y 4.16 de la cantidad de boro, silicio y zinc, respectivamente, existentes en la mezcla que su tendencia en los dos equipos fue la misma, aparecieron eventualmente después de agregar el aditivo. La presencia de estos elementos es conveniente para el equipo ya que al ocurrir una pérdida de la viscosidad en el lubricante, la lubricación depende de los aditivos antidesgaste presentes en el aceite; además de actuar como detergente dispersando las partículas de metal de cierta dimensión en partículas de menor tamaño.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El aditivo ciertamente proporciona un ahorro energético ya que el trabajo de los dos equipos en estudio se redujo, indicando una mejora en la eficiencia mecánica del sistema la cual va de la mano con la eficiencia eléctrica.

El análisis de vibración arroja una disminución del movimiento vibratorio en el compresor, lo que se traduce en una mejora del desempeño mecánico del equipo.

Se obtuvo un efecto detergente y antidesgaste observando en los resultados del análisis de aceite la peptización de las partículas metálicas, efecto que se atribuye a ciertos elementos del aditivo como lo son el Zinc y el Boro, formando además una película lubricante en las piezas donde existe contacto metal-metal.

A través del análisis de aceite se determinó que el aceite en ambas unidades de refrigeración se encuentra en muy mal estado en cuanto a la acidez y el código de limpieza ISO 4406.

En el proceso del cálculo de la entalpía a la salida del condensador para estimar la capacidad de refrigeración, se manifestó el mal estado en que se encuentra dicho condensador no logrando el estado de vapor saturado a su salida.

Los resultados de esta investigación no pueden ser generalizados debido a la particularidad del estudio realizado.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda que se efectúe el cambio de aceite de las dos unidades de refrigeración lo antes posible, si dentro de la empresa se encuentran otras unidades que al igual que las estudiadas poseen el mismo tiempo del cambio se recomienda que también se les realice el cambio de aceite.

Se sugiere de ser posible para la empresa que antes de realizar el cambio de aceite se tome una muestra de cada equipo y se envíen a hacer los mismos análisis planteados en esta investigación para compararlos con los ya realizados y estudiar su tendencia.

En el caso de los condensadores es necesario que se implemente un plan de mantenimiento basado en frecuencia, ya que no hay evidencia de su existencia.

Se recomienda que la empresa realice el mismo estudio luego de efectuar el cambio de lubricante y el respectivo mantenimiento a los condensadores de las unidades de refrigeración, se sugiere que el lubricante sea completamente miscible con el aditivo además de ser compatible con el refrigerante R-22, y apoyarse en la metodología desarrollada en este proyecto.

Medir la potencia y el factor de potencia de los equipos a través de un método más exacto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Barbas, M (2010, mayo 19) Reducir en un 20% la factura eléctrica de climatización es posible. *Energías Renovables, especial energía*, p-3.
- [2] Bilbao, M y Málaga, Adolfo (2004, Abril) Contaje de partículas *Boletín mensual sobre lubricación y mantenimiento*, N° 3.
- [3] Clausius, R. (1850). *Annalen der Physik und Chemie* pp. 368-397, 500-524. Extraído el 13 de octubre desde <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k15164w/f384.table>.
- [4] Conservación de alimentos a bajas temperaturas (2003) Extraído el 13 de octubre de 2010 desde: http://www.quiminet.com/ar8/ar_bcBu-conservacion-de-alimentos-a-bajas-temperaturas.htm
- [5] Contenidos didácticos-Energía, (s.f.) Extraído el 13 de octubre de 2010 desde: http://energia3.mecon.gov.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/contenidos_didacticos/Energia.pdf
- [6] CORPOELEC (2010) *Ahorrar energía es tarea de todos y todas*. (publicado en la página web: www.mppee.gob.ve) Caracas: Ministerio del poder popular para la energía eléctrica.
- [7] Correa, S. Puerta, A y Restrepo, B (1996) *Investigación evaluativa* Colombia: ARFO Editores e impresores Ltda.
- [8] Díaz, G. Hernández, J. Velázquez, R. Ambrosio, A. (2005, diciembre). Desarrollo e implementación de estrategias enfocadas a la disminución del consumo de energía eléctrica en una empresa cervecera. *Impulso amarillo*, 1, 60-67.
- [9] Domínguez, M., García C. y Arias J. (2009) *Eficiencia energética en el campo del frío*. Extraído el 11 de julio de 2010 desde: <http://www.grupodominguezinstitutodelfrio.es/>

- [10] Domínguez, R (s.f.) *Ahorro Energético Integral* Extraído el 11 de julio desde: www.energianow.com
- [11] DuPont™ (2008) *Ficha de datos de seguridad Freón® 22* España.
- [12] Energía eléctrica (n.d) Extraído el 13 de octubre de 2010 desde: http://www.electroindustria.com/energia_electrica.asp
- [13] Fidias G. Arias (1999) *El proyecto de investigación: Guía para su elaboración*. (3era ed.) Caracas: Epístome
- [14] Frigi-Tech EES (s.f) *Ahorro en A/C y refrigeración* Extraído el 11 de julio desde: www.energysolutionsystems.com
- [15] García, J (1995) *Cómo elaborar un proyecto de investigación*. España: Universidad de Alicante.
- [16] Grajales, T. (2000) *Tipos de investigación*. Extraído el 1 de agosto de 2010 desde: <http://tgrajales.net/investipos.pdf>
- [17] Incropera, F. (1999) *Fundamentos de transferencia de calor* (4ta ed) México: Prentice Hall.
- [18] Manual técnico del lubricante (n.d) Extraído el 13 de octubre de 2010 desde: <http://www.es.total.com/es/content/NT00004A9E.pdf>
- [19] Martínez, P. (s.f) *Energía mecánica* Extraído el 13 de octubre de 2010 desde http://platea.pntic.mec.es/pmarti1/educacion/trabajo_glosario/energia_mecanica/energia_mecanica.htm
- [20] Mujica, V (1999) *Balance de energía utilizable y rendimiento exergetico en un ciclo de refrigeración por compresión de vapor*. Trabajo de ascenso no publicado.
- [21] Nosotros, Industrias Venoco C.A.-Misión, visión y valores (n.d) Extraído el 5 de julio de 2010 desde: http://www.venoco.com/noticias.asp?id=389&co_clasif_pub=16&id_segmento=&id_linea=1.
- [22] Shrieve Products International Limited (2009) *Mejorador del lubricante para equipos de climatización estacionarios ZEROL® ICE*. Houston: USA.
- [23] Sine, J. (2005). *Solving Excess Oil Problems*. Extraído el 11 de Julio de 2010 desde:

http://www.achrnews.com/Articles/Feature_Article/d823a8fcdbf5a010VgnVCM100000f932a8c0

[24] Smith, J. Van Ness, H y Abbott, M (1996) *Introducción a la termodinámica en Ingeniería Química* (5ta ed) México: McGraw Hill.

[25] Van Wylen (2007) *Fundamentos de termodinámica* (2da ed.) México: Limusa-Wiley.

[26] Villanueva, R (2003) *Refrigerantes para aire acondicionado y refrigeración* España: Club Universitario.

[27] Yunus C. (2003) *Termodinámica*. México: McGraw-Hill.

[28] Zalbarracín, P (2002) *La rugosidad en el desgaste de los mecanismos lubricados*. Medellín: Universidad de Antioquia.

[29] Programa de eficiencia energética regional. Extraído el 13 de octubre de 2010 desde: <http://www.bun-ca.org/>

APÉNDICE A

TABLAS Y FIGURAS BIBLIOGRÁFICAS

Tabla A.1. Aceites lubricantes para compresores de refrigeración. Especificaciones de comportamiento.

Propiedad	Requerimientos																	Método de ensayo	
	Grupo KA								Grupo KC										
	KA 15	KA 22	KA 32	KA 46	KA 68	KA 100	KA 150	KA 220	KC 15	KC 22	KC 32	KC 46	KC 68	KC 100	KC 150	KC 220	KC 319		KC 320
Grado de viscosidad ISO ⁽¹⁾	15	22	32	48	68	100	150	220	15	22	32	48	68	100	150	220	320	460	
Número de saponificación, mg KOH/g, máximo	0,2 ⁽²⁾																	COVENIN 1396	
Resistencia a refrigerantes que contengan R12, horas, mínimo	Sin requerimiento								96 °C a 250 °C				96 °C a 175 °C					DIN 51 593	
Contenido de insolubles separados en mezcla de refrigerante R12 y aceite, % en peso, máximo	Sin requerimiento								0,05				0,10					DIN 51 590 Parte 1	
NOTAS:																			
⁽¹⁾ Especificado según COVENIN 1121.																			
⁽²⁾ No aplica para lubricantes refrigerantes que contienen aditivos, para los cuales su fabricante debe especificar el número de saponificación y contenido de cenizas.																			

Fuente: Norma COVENIN 1926:1997: Aceites lubricantes para compresores de aire, refrigeración y gas natural para vehículos.

Tabla A.2. Aceites lubricantes para compresores de refrigeración. Requisitos físico-químicos.

Propiedad	KA 15	KA 22	KA 32	KA 46	KA 68	KA 100	KA 150	KA 220	KC 15	KC 22	KC 32	KC 46	KC 68	KC 100	KC 150	KC 220	KC 319	KC 320	Método de ensayo		
Grado de viscosidad ISO ⁽¹⁾	15	22	32	48	68	100	150	220	15	22	32	48	68	100	150	220	320	460			
Apariencia	Claro y brillante																		Visual		
Viscosidad cinemática a 40 °C, cSt	13,5	19,8	28,8	41,4	61,2	90	135	198	288	41,4	28,8	41,4	61,2	90	135	198	288	414	COVENIN 424		
	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a		
	16,5	24,2	35,2	50,6	74,8	110	165	242	352	50,6	35,2	50,6	74,8	110	165	242	352	506			
Fluidez, °C, máximo	-3,5	-30	-25	-15	-10	-10	-10	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-10	-10	-10	-10	-10	COVENIN 877		
Punto de inflamación, °C, mínimo	150		160		170		210		225		150		160		170		210		225	255	COVENIN 3729
Número de acidez total, mg KOH/g, máximo	0,08 ⁽²⁾									0,08 ⁽²⁾									DIN 51 558 Parte 3		
Ceniza, % en peso	0,01 ⁽²⁾																		COVENIN 2900		
Contenido de agua, - % en peso, máximo	Inferior al límite de detección cuantitativa ⁽³⁾																		COVENIN 427		
- mg/Kg, máximo	-----																		30 ⁽⁴⁾	DIN 51 777 Parte 1 ⁽⁵⁾	

NOTAS:

(1) Especificado según COVENIN 1121.

(2) No aplica para lubricantes refrigerantes que contienen aditivos, para los cuales su fabricante debe especificar el número de saponificación y contenido de cenizas.

(3) No se dispone de datos con una precisión confiable para un porcentaje en peso menor que 0,1%.

(4) Aplica a productos envasados en recipientes cerrados para su distribución. El contenido de agua para aceites lubricantes envasados en otro tipo de recipiente están sujetos a convenio.

(5) En el caso de lubricantes con aditivos, como se especifica en DIN 51777 Parte 2.

Fuente: Norma COVENIN 1926:1997: Aceites lubricantes para compresores de aire, refrigeración y gas natural para vehículos

Tabla A.3. Propiedades del aire (sistema internacional).

T (K)	ρ (kg/m ³)	$c_p \times 10^{-3}$ (J/kg · K)	$\mu \times 10^5$ (Pa · s)	$\nu \times 10^5$ (m ² /s)	$k \times 10^2$ (W/m · K)	$\alpha \times 10^3$ (m ² /s)	Pr	$g\beta\rho^2/\mu^2$ (1/K · m ³)
Aire								
250	1.4133	1.0054	1.5991	1.1315	2.2269	1.5672	0.722	4.638 × 10 ⁸
260	1.3587	1.0054	1.6503	1.2146	2.3080	1.6896	0.719	2.573
280	1.2614	1.0057	1.7503	1.3876	2.4671	1.9448	0.713	1.815
300	1.1769	1.0063	1.8464	1.5689	2.6240	2.2156	0.708	1.327
320	1.1032	1.0073	1.9391	1.7577	2.7785	2.5003	0.703	0.9942
340	1.0382	1.0085	2.0300	1.9553	2.9282	2.7967	0.699	0.7502
360	0.9805	1.0100	2.1175	2.1596	3.0779	3.1080	0.695	0.5828
400	0.8822	1.0142	2.2857	2.5909	3.3651	3.7610	0.689	0.3656
440	0.8021	1.0197	2.4453	3.0486	3.6427	4.4537	0.684	0.2394
480	0.7351	1.0263	2.5963	3.5319	3.9107	5.1836	0.681	0.1627
520	0.6786	1.0339	2.7422	4.0410	4.1690	5.9421	0.680	0.1156
580	0.6084	1.0468	2.9515	4.8512	4.5407	7.1297	0.680	7.193 × 10 ⁶
700	0.5040	1.0751	3.3325	6.6121	5.2360	9.6632	0.684	3.210
800	0.4411	1.0988	3.6242	8.2163	5.7743	11.9136	0.689	1.804
1000	0.3529	1.1421	4.1527	11.1767	6.7544	16.7583	0.702	0.803

Fuente: Welty, J "Fundamentos de transferencia de momento, calor y masa".

Limusa Noriega Editores, México, 1982.

Tabla A.4. Propiedades del aire (sistema Ingles).

Tabla 15 Propiedades del Aire (Sistema Ingles)									
Gases									
T (°F)	ρ (lb _m /pie ³)	c_p (Btu/lb _m ·°F)	$\mu \times 10^6$ (lb _m /pie·seg)	$\nu \times 10^3$ (pie ² /seg)	k (Btu/hr·pie·°F)	α (pie ² /hr)	Pr	$\beta \times 10^3$ (1/°F)	$g\beta\rho^2/\mu^2$ (1/°F·pie ³)
Aire									
0	0.0862	0.240	1.09	0.126	0.0132	0.639	0.721	2.18	4.39×10^6
30	0.0810	0.240	1.15	0.142	0.0139	0.714	0.716	2.04	3.28
60	0.0764	0.240	1.21	0.159	0.0146	0.798	0.711	1.92	2.48
80	0.0735	0.240	1.24	0.169	0.0152	0.855	0.708	1.85	2.09
100	0.0710	0.240	1.28	0.181	0.0156	0.919	0.703	1.79	1.76
150	0.0651	0.241	1.36	0.209	0.0167	1.06	0.698	1.64	1.22
200	0.0602	0.241	1.45	0.241	0.0179	1.24	0.694	1.52	0.840
250	0.0559	0.242	1.53	0.274	0.0191	1.42	0.690	1.41	0.607
300	0.0523	0.243	1.60	0.306	0.0203	1.60	0.686	1.32	0.454
400	0.0462	0.245	1.74	0.377	0.0225	2.00	0.681	1.16	0.264
500	0.0413	0.247	1.87	0.453	0.0246	2.41	0.680	1.04	0.163
600	0.0374	0.251	2.00	0.535	0.0270	2.88	0.680	0.944	79.4×10^3
800	0.0315	0.257	2.24	0.711	0.0303	3.75	0.684	0.794	50.6
1000	0.0272	0.263	2.46	0.906	0.0337	4.72	0.689	0.685	27.0
1500	0.0203	0.277	2.92	1.44	0.0408	7.27	0.705	0.510	7.96

Fuente: Welty, J "Fundamentos de transferencia de momento, calor y masa".

Limusa Noriega Editores, México, 1982.

Tabla A.5. Constantes B, C Y n. Para convección natural de aire Sistema Internacional.

Tipo de superficie	Rango de Ra	C	B	n
Planos o cilindros verticales	$10^4 - 10^9$	0,29	L	$\frac{1}{4}$
Planos o cilindros verticales	$> 10^9$	0,19	1	$\frac{1}{3}$
Cilindro horizontal	$10^4 - 10^9$	0,27	D_0	$\frac{1}{4}$
Cilindro horizontal	$> 10^9$	0,18	1	$\frac{1}{3}$
Plano horizontal con $q \uparrow$	$10^4 - 10^9$	0,27	L	$\frac{1}{4}$
Plano horizontal con $q \uparrow$	$> 10^9$	0,22	1	$\frac{1}{3}$
Plano con $q \downarrow$		0,12	L	$\frac{1}{4}$

Fuente: Incropera, F "Fundamentos de transferencia de calor". Editorial Pearson Prentice Hall, México:

1999.

Tabla A.6. Tubos de cobre comercial tipo: K, L, M

Tamaño estándar, in	Diámetro ext. nominal en in	Tolerancia promedio del diámetro exterior, in†		Espesor y tolerancias nominales de la pared, in						Peso teórico, en lb/ft		
		De temple bl.	Estirado en frío	Tipo K		Tipo L		Tipo M		Tipo K	Tipo L	Tipo M
				Espesor de la pared	Tolerancia‡	Espesor de la pared	Tolerancia‡	Espesor de la pared	Tolerancia‡			
¼	0.375	0.002	0.001	0.035	0.004	0.030	0.0035	§	§	0.145	0.126	§
⅜	0.500	0.0025	0.001	0.049	0.004	0.035	0.0035	0.025	0.0025	0.209	0.198	0.145
½	0.625	0.0025	0.001	0.049	0.004	0.040	0.0035	0.028	0.0025	0.344	0.285	0.204
⅝	0.750	0.0025	0.001	0.049	0.004	0.042	0.0035	§	§	0.418	0.362	§
¾	0.875	0.003	0.001	0.065	0.0045	0.045	0.004	0.032	0.003	0.641	0.455	0.328
1	1.125	0.0035	0.0015	0.065	0.0045	0.050	0.004	0.035	0.0035	0.839	0.655	0.465
1¼	1.375	0.004	0.0015	0.065	0.0045	0.055	0.0045	0.042	0.0035	1.04	0.884	0.682
1½	1.625	0.0045	0.002	0.072	0.005	0.060	0.0045	0.049	0.004	1.36	1.14	0.940
2	2.125	0.005	0.002	0.083	0.007	0.070	0.006	0.058	0.006	2.06	1.75	1.46
2½	2.625	0.005	0.002	0.095	0.007	0.080	0.006	0.065	0.006	2.93	2.48	2.03
3	3.125	0.005	0.002	0.109	0.007	0.090	0.007	0.072	0.006	4.00	3.33	2.68
3½	3.625	0.005	0.002	0.120	0.008	0.100	0.007	0.083	0.007	5.12	4.29	3.58
4	4.125	0.005	0.002	0.134	0.010	0.110	0.009	0.095	0.009	6.51	5.38	4.66
5	5.125	0.005	0.002	0.160	0.010	0.125	0.010	0.109	0.009	9.67	7.61	6.66
6	6.125	0.005	0.002	0.192	0.012	0.140	0.011	0.122	0.010	13.9	10.2	8.92
8	8.125	0.006	+0.002 -0.004	0.271	0.016	0.200	0.014	0.170	0.014	25.9	19.3	16.5
10	10.125	0.008	+0.002 -0.006	0.338	0.018	0.250	0.016	0.212	0.015	40.8	30.1	25.6
12	12.125	0.008	+0.002 -0.006	0.405	0.020	0.280	0.018	0.254	0.016	57.8	40.4	36.7

*Derechos reservados por American Society for Testing and Materials, 1916 Race Street, Philadelphia, Pa. 19103; reproducida/adaptada con autorización. Para convertir pulgadas en milímetros, multiplíquese por 25.4; para convertir libras por pie en kilogramos por metro, multiplíquese por 1.49.

†El diámetro exterior promedio de un tubo es el promedio de los diámetros exterior mínimo y máximo, determinado en cualquier sección transversal del tubo.

‡Desviación máxima en cualquier punto.

§Indica que el material; no está disponible generalmente o que la tolerancia no ha sido establecida.

Tabla A.7 Niveles de limpieza del aceite de acuerdo con la Norma ISO 4406.

Componente	Mecanismo	Condición de lubricación en elementos de máquinas
Compresores	De pistón	18/17/15
	De tornillo, paletas, axial, centrífugo	17/16/14

Fuente: Zalbaracín, P. 2002 "La rugosidad en el desgaste de los mecanismos lubricados" Medellín: Universidad de Antioquia.

Tabla A.8 Propiedades termofísicas de sólidos metálicos seleccionados

Composición	Punto de fusión (K)	Propiedades a 300 K				k (W/m · K)/c _p (J/kg · K)									
		ρ (kg/m ³)	c _p (J/kg · K)	k (W/m · K)	α · 10 ⁵ (cm ² /s)	100	200	400	600	800	1000	1200	1500	2000	2500
		Aluminio puro	933	2702	903	237	97.1	302	237	240	231	218			
Alcación 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.6% Mn)	773	2770	873	177	138	302	473	787	925	1042					
Alcación 195, vaciado (4.5% Cu)		2790	883	168	68.2			174	185						
Armco (99.75% puro)		7870	447	72.7	20.7	95.6	80.6	65.7	53.1	42.2	32.3	28.7	31.4		
						215	384	490	574	680	975	609	654		
						200	200	200	163	126	106	90.8	78.7		

Fuente: Kern, D "Procesos de transferencia de calor" Editorial Continental: México 1984.

Tabla A.9 Datos típicos del aceite Suniso.

Propiedad	SUNISO 3GS	SUNISO 4GS	SUNISO 5GS
Densidad 15°C g/cm ³	0.909	0.915	0.921
Color ASTM	L0.5	L1.0	L1.0
Viscosidad 40°C mm ² /s	29.5	54.9	94.6
Viscosidad 100°C mm ² /s	4.31	5.97	7.78
Punto de Inflamación COC °C	178	188	208
Punto de Fluidez °C	-40	-35	-27.5
No. Acido Total mgKOH/g	0.01	0.01	0.01
Punto de Anilina °C	75.4	79.8	80.4
Agua ppm	20	20	20
Punto Floc °C	-53	-46	-35

Fuente: Japan Sun Oil Company, Ltd.

APÉNDICE B

Tabla B.1. Análisis de aceite del Suniso 4GS virgen.



REPORTE DE ENSAYO

Solicitud No.: 54517

Cliente : 13	SubCliente : 13-000 LVICA	Fecha Solicitud: 16/12/10
Dirección: : Carretera Vía Aragüita-Guacara, Edo. Carabobo		Fecha Recepción: 16/12/10
Equipo : ACEITE NUEVO		Fecha Muestra: 16/12/10
Lubricante : SUMISO 4GS		
Hora Máquina : Km Máquina : Km Lubricante :		

Código	Análisis	Método	Unidad	Resultado	Fecha	Observaciones
025400	Humedad Karl Fisher en Líq. Organicos.	ASTM E 1064	ppm	28.9	21/12/10	
204002	Numero de Acidez A. Usados (Punto de Inflexión)	ASTM D 664	mgKOH/g	0.02	16/12/10	
750031	Viscosidad Cinematica 40 C Ac. Usado	NVC 424	cSt	54,25	16/12/10	
750128	Código ISO 4406	NVE 753	ISO	19/18/16	17/12/10	
750129	Conteo de Partículas > 4 micras	NVE 753	ISO	4270	17/12/10	
750130	Conteo de Partículas > 6 micras	NVE 753	ISO	1676	17/12/10	
750131	Conteo de Partículas > 10 micras	NVE 753	ISO	607	17/12/10	
750132	Conteo de Partículas > 14 micras	NVE 753	ISO	341	17/12/10	
750133	Conteo de Partículas > 21 micras	NVE 753	ISO	154	17/12/10	
750134	Conteo de Partículas > 25 micras	NVE 753	ISO	92	17/12/10	
750135	Conteo de Partículas > 38 micras	NVE 753	ISO	20	17/12/10	
750136	Conteo de Partículas > 70 micras	NVE 753	ISO	5	17/12/10	
750161	Fe	ASTM D 6595	ppm	0	16/12/10	
750162	Cr	ASTM D 6595	ppm	0	16/12/10	
750163	Pb	ASTM D 6595	ppm	0	16/12/10	
750164	Cu	ASTM D 6595	ppm	0	16/12/10	
750165	Sn	ASTM D 6595	ppm	0	16/12/10	
750166	Al	ASTM D 6595	ppm	0	16/12/10	
750167	Ni	ASTM D 6595	ppm	1	16/12/10	
750168	Ag	ASTM D 6595	ppm	0	16/12/10	
750169	Mo	ASTM D 6595	ppm	15	16/12/10	
750170	Ti	ASTM D 6595	ppm	0	16/12/10	
750171	V	ASTM D 6595	ppm	0	16/12/10	
750172	Si	ASTM D 6595	ppm	0	16/12/10	
750173	Na	ASTM D 6595	ppm	0	16/12/10	

Carretera Nacional Guacara, Vía Aragüita, Guacara Edo. Carabobo
Telfs. Laboratorio: 0241-8504264 / 8504315 Fax: 0241-8504056

SUPERVISOR DEL LABORATORIO
Hegberth Rondón

Los resultados de los análisis obtenidos, tienen como única finalidad informar al solicitante el valor de los mismos y no podrá ser utilizado para otros fines. Este reporte no debe ser reproducido en forma parcial sin una autorización por escrito del Laboratorio.

Tabla B.1. Análisis de aceite del Suniso 4GS virgen (Continuación).

750174	B	ASTM D 6595	ppm	0	16/12/10
750175	Mg	ASTM D 6595	ppm	1	16/12/10
750176	Ca	ASTM D 6595	ppm	0	16/12/10
750177	Ba	ASTM D 6595	ppm	0	16/12/10
750178	P	ASTM D 6595	ppm	0	16/12/10
750179	Zn	ASTM D 6595	ppm	0	16/12/10

Observaciones



Carretera Nacional Guacara, Vía Aragüita, Guacara Edo. Carabobo
Telfs. Laboratorio: 0241-8504264 / 8504315 Fax: 0241-8504056

SUPERVISOR DEL LABORATORIO
Hegberth Rondón

Los resultados de los análisis obtenidos, tienen como única finalidad informar al solicitante el valor de los mismos y no podrá ser utilizado para otros fines. Este reporte no debe ser reproducido en forma parcial sin una autorización por escrito del Laboratorio.

Página 2 de 2

Tabla B2. Análisis de aceite sin aditivo para el compresor A.



Laboratorio Central de STAVCA
 Ref.: J- 07507974-4

REPORTE DE ENSAYO

Solicitud No.: 53883

Cilente : 1 **SubCilente :** 1-0002 **MANTENIMIENTO** **Fecha Solicitud:** 12/10/10
Dirección: : **Fecha Recepción:** 12/10/10
Equipo : COMPRESOR AIRE A **Fecha Muestra:** 29/09/10
Lubricante : DESCONOCIDO
Hora Máquina : **Km Máquina :** **Km Lubricante :**

Código	Análisis	Método	Unidad	Resultado	Fecha	Observaciones
204002	Numero de Acidez A. Usados (Punto de Inflección)	ASTM D 894	mgKOH/g	0,30	12/10/10	
750031	Viscosidad Cinemática 40 C Ac. Usado	NVC 424	cSt	58,81	10/12/10	
750128	Código ISO 4406	NVE 753	ISO	20/19/17	12/10/10	
750129	Conteo de Partículas > 4 micras	NVE 753	ISO	9206	12/10/10	
750130	Conteo de Partículas > 6 micras	NVE 753	ISO	2784	12/10/10	
750131	Conteo de Partículas > 10 micras	NVE 753	ISO	957	12/10/10	
750132	Conteo de Partículas > 14 micras	NVE 753	ISO	693	12/10/10	
750133	Conteo de Partículas > 21 micras	NVE 753	ISO	534	12/10/10	
750134	Conteo de Partículas > 25 micras	NVE 753	ISO	483	12/10/10	
750135	Conteo de Partículas > 38 micras	NVE 753	ISO	417	12/10/10	
750136	Conteo de Partículas > 70 micras	NVE 753	ISO	400	12/10/10	
750161	Fe	ASTM D 6595	ppm	17	13/10/10	
750162	Cr	ASTM D 6595	ppm	0	13/10/10	
750163	Pb	ASTM D 6595	ppm	0	13/10/10	
750164	Cu	ASTM D 6595	ppm	94	13/10/10	
750165	Sn	ASTM D 6595	ppm	18	13/10/10	
750166	Al	ASTM D 6595	ppm	0	13/10/10	
750167	Ni	ASTM D 6595	ppm	0	13/10/10	
750168	Ag	ASTM D 6595	ppm	0	13/10/10	
750169	Mo	ASTM D 6595	ppm	0	13/10/10	
750170	Ti	ASTM D 6595	ppm	0	13/10/10	
750171	V	ASTM D 6595	ppm	0	13/10/10	
750172	Si	ASTM D 6595	ppm	7	13/10/10	
750173	Na	ASTM D 6595	ppm	0	13/10/10	
750174	B	ASTM D 6595	ppm	0	13/10/10	

Cameters Nacional Guacare, Vía Aragón, Guacare Edo. Carabobo
 Telfs. Laboratorio: 0241-8504254 / 8504315 Fax: 0241-8504056

SUPERVISOR DEL LABORATORIO
 Hegberth Rondón

Los resultados de los análisis obtenidos, tienen como única finalidad informar al solicitante el valor de los mismos y no podrá ser utilizado para otros fines. Este reporte no debe ser reproducido en forma parcial sin una autorización por escrito del Laboratorio.

Tabla B.2. Análisis de aceite sin aditivo para el compresor A (Continuación).

750175	Mg	ASTM D 6595	ppm	0	13/10/10
750176	Ca	ASTM D 6595	ppm	1	13/10/10
750177	Ba	ASTM D 6595	ppm	0	13/10/10
750178	P	ASTM D 6595	ppm	0	13/10/10
750179	Zn	ASTM D 6595	ppm	2	13/10/10

Observaciones

EQUIPO : AIRE ACONDICIONADO



Cementería Nacional Guacana, Vía Aragóite, Guacana Edo. Carabobo
Teléfono Laboratorio: 0241-8504254 / 8504315 Fax: 0241-8504058

SUPERVISOR DEL LABORATORIO
Hegberth Rondón

Los resultados de los análisis obtenidos, tienen como única finalidad informar al solicitante el valor de los mismos y no podrán ser utilizados para otros fines. Este reporte no debe ser reproducido en forma parcial sin una autorización por escrito del Laboratorio.

Página 2 de 2

Tabla B3. Análisis de aceite sin aditivo para el compresor B.



Laboratorio Central de STAVCA
 Rif.: J- 07507974-4

REPORTE DE ENSAYO

Solicitud No.: 53884

Cliente : 1 **SubCliente :** 1-0002 **MANTENIMIENTO** **Fecha Solicitud:** 12/10/10
Dirección: : **Fecha Recpción:** 12/10/10
Equipo : COMPRESOR AIRE B **Fecha Muestra:** 29/09/10
Lubricante : DESCONOCIDO
Hora Máquina : **Km Máquina :** **Km Lubricante :**

Código	Análisis	Método	Unidad	Resultado	Fecha	Observaciones
204002	Numero de Acidez A. Usados (Punto de Inflexión)	ASTM D 664	mgKOH/g	0,58	12/10/10	
750031	Viscosidad Cinematica 40 C Ac. Usado	NVC 424	cSt	32,87	10/12/10	
750128	Código ISO 4406	NVE 753	ISO	22021/17	12/10/10	
750129	Conteo de Partículas > 4 micras	NVE 753	ISO	33858	12/10/10	
750130	Conteo de Partículas > 6 micras	NVE 753	ISO	18872	12/10/10	
750131	Conteo de Partículas > 10 micras	NVE 753	ISO	4007	12/10/10	
750132	Conteo de Partículas > 14 micras	NVE 753	ISO	1065	12/10/10	
750133	Conteo de Partículas > 21 micras	NVE 753	ISO	383	12/10/10	
750134	Conteo de Partículas > 25 micras	NVE 753	ISO	222	12/10/10	
750135	Conteo de Partículas > 38 micras	NVE 753	ISO	49	12/10/10	
750136	Conteo de Partículas > 70 micras	NVE 753	ISO	8	12/10/10	
750161	Fe	ASTM D 6595	ppm	33	13/10/10	
750162	Cr	ASTM D 6595	ppm	0	13/10/10	
750163	Pb	ASTM D 6595	ppm	0	13/10/10	
750164	Cu	ASTM D 6595	ppm	2	13/10/10	
750165	Sn	ASTM D 6595	ppm	18	13/10/10	
750166	Al	ASTM D 6595	ppm	0	13/10/10	
750167	Ni	ASTM D 6595	ppm	0	13/10/10	
750168	Ag	ASTM D 6595	ppm	0	13/10/10	
750169	Mo	ASTM D 6595	ppm	0	13/10/10	
750170	Ti	ASTM D 6595	ppm	0	13/10/10	
750171	V	ASTM D 6595	ppm	0	13/10/10	
750172	Si	ASTM D 6595	ppm	0	13/10/10	
750173	Na	ASTM D 6595	ppm	0	13/10/10	
750174	B	ASTM D 6595	ppm	0	13/10/10	

Carretera Nacional Guacara, Via Aragóña, Guacara Edo. Carabobo
 Telfs. Laboratorio: 0241-8504264 / 8504315 Fax: 0241-8504056

SUPERVISOR DEL LABORATORIO
 Hegberth Rondón

Los resultados de los análisis obtenidos, tienen como única finalidad informar al solicitante el valor de los mismos y no podrá ser utilizado para otros fines. Este reporte no debe ser reproducido en forma parcial sin una autorización por escrito del Laboratorio.

Tabla B3. Análisis de aceite sin aditivo para el compresor B (Continuación).

750175	Mg	ASTM D 6595	ppm	0	13/10/10
750176	Ca	ASTM D 6595	ppm	0	13/10/10
750177	Ba	ASTM D 6595	ppm	0	13/10/10
750178	P	ASTM D 6595	ppm	0	13/10/10
750179	Zn	ASTM D 6595	ppm	1	13/10/10

Observaciones

EQUIPO : AIRE ACONDICIONADO

Carretera Nacional Guacara, Vía Aragón, Guacara Edo. Carabobo
Telfs. Laboratorio: 0241-8504284 / 8504315 Fax: 0241-8504058



SUPERVISOR DEL LABORATORIO
Hegberth Rondón

Los resultados de los análisis obtenidos, tienen como única finalidad informar al solicitante el valor de los mismos y no podrá ser utilizado para otros fines. Este reporte no debe ser reproducido en forma parcial sin una autorización por escrito del Laboratorio.

Tabla B4. Análisis de aceite con aditivo para el compresor A.



Laboratorio Central de STAVCA
Rif.: J- 07507974-4

REPORTE DE ENSAYO

Solicitud No.: 54122

Cliente : 1 **SubCliente :** 1-0002 **MANTENIMIENTO** **Fecha Solicitud:** 12/11/10
Dirección: : **Fecha Recepción:** 12/11/10
Equipo : COMPRESOR A-2 **Fecha Muestra:** 12/11/10
Lubricante : DESCONOCIDO
Hora Máquina : **Km Máquina :** **Km Lubricante :**

Código	Análisis	Método	Unidad	Resultado	Fecha	Observaciones
204002	Numero de Ácidos A. Usados (Punto de Inflexión)	ASTM D 664	mgKOH/g	0,32	15/11/10	
750031	Viscosidad Cinematica 40 C. Ac. Usado	NVC 424	cSt	50,62	15/11/10	
750128	Código ISO 4406	NVE 753	ISO	22022/20	15/11/10	
750129	Conteo de Partículas > 4 micras	NVE 753	ISO	30024	15/11/10	
750130	Conteo de Partículas > 6 micras	NVE 753	ISO	24383	15/11/10	
750131	Conteo de Partículas > 10 micras	NVE 753	ISO	14824	15/11/10	
750132	Conteo de Partículas > 14 micras	NVE 753	ISO	8899	15/11/10	
750133	Conteo de Partículas > 21 micras	NVE 753	ISO	3179	15/11/10	
750134	Conteo de Partículas > 25 micras	NVE 753	ISO	1399	15/11/10	
750135	Conteo de Partículas > 38 micras	NVE 753	ISO	187	15/11/10	
750136	Conteo de Partículas > 70 micras	NVE 753	ISO	36	15/11/10	
750161	Fe	ASTM D 6595	ppm	19	15/11/10	
750162	Cr	ASTM D 6595	ppm	0	15/11/10	
750163	Pb	ASTM D 6595	ppm	0	15/11/10	
750164	Cu	ASTM D 6595	ppm	126	15/11/10	
750165	Sn	ASTM D 6595	ppm	16	15/11/10	
750166	Al	ASTM D 6595	ppm	0	15/11/10	
750167	Ni	ASTM D 6595	ppm	0	15/11/10	
750168	Ag	ASTM D 6595	ppm	0	15/11/10	
750169	Mo	ASTM D 6595	ppm	0	15/11/10	
750170	Ti	ASTM D 6595	ppm	0	15/11/10	
750171	V	ASTM D 6595	ppm	0	15/11/10	
750172	Si	ASTM D 6595	ppm	6	15/11/10	
750173	Na	ASTM D 6595	ppm	1	15/11/10	
750174	B	ASTM D 6595	ppm	1	15/11/10	

Carretera Nacional Guacara, Via Araguá, Guacara Edo. Carabobo
Teléfono Laboratorio: 0241-8504264 / 8504315 Fax: 0241-8504056

SUPERVISOR DEL LABORATORIO
Hegberth Rondón

Los resultados de los análisis obtenidos, tienen como única finalidad informar al solicitante el valor de los mismos y no podrá ser utilizado para otros fines. Este reporte no debe ser reproducido en forma parcial sin una autorización por escrito del Laboratorio.

Tabla B4. Análisis de aceite con aditivo para el compresor A (Continuación).

750175	Mg	ASTM D 8595	ppm	0	15/11/10
750176	Ca	ASTM D 8595	ppm	2	15/11/10
750177	Ba	ASTM D 8595	ppm	0	15/11/10
750178	P	ASTM D 8595	ppm	0	15/11/10
750179	Zn	ASTM D 8595	ppm	4	15/11/10

Observaciones

COMPRESOR DE UNIDAD REFRIGERADORA



Carretera Nacional Quezara, Vía Aragón, Quezara Edo. Canelobos
Telfs. Laboratorio: 0241-8504264 / 8504315 Fax: 0241-8504056

SUPERVISOR DEL LABORATORIO
Hegberth Rondón

Los resultados de los análisis obtenidos, tienen como única finalidad informar al solicitante el valor de los mismos y no podrán ser utilizados para otros fines. Este reporte no debe ser reproducido en forma parcial sin una autorización por escrito del Laboratorio.

Página 2 de 2

Tabla B5. Análisis de aceite con aditivo para el compresor B.



Laboratorio Central de STAVCA
 Rif.: J- 07507974-4

REPORTE DE ENSAYO

Solicitud No.: 54123

Cilente : 1 **SubCilente :** 1-0002 **MANTENIMIENTO** **Fecha Solicitud:** 12/11/10
Dirección: : **Fecha Recpción:** 12/11/10
Equipo : COMPRESOR B-2 **Fecha Muestra:** 12/11/10
Lubricante : DESCONOCIDO
Hora Máquina : **Km Máquina :** **Km Lubricante :**

Código	Análisis	Método	Unidad	Resultado	Fecha	Observaciones
204002	Numero de Acidez A. Usados (Punto de Inflexión)	ASTM D 864	mgKOH/g	0,48	15/11/10	
750031	Viscosidad Cinematica 40 C Ac. Usado	NVC 424	cSt	32,31	15/11/10	
750128	Código ISO 4406	NVE 753	ISO	20/10/17	15/11/10	
750129	Conteo de Partículas > 4 micras	NVE 753	ISO	6504	15/11/10	
750130	Conteo de Partículas > 6 micras	NVE 753	ISO	4814	15/11/10	
750131	Conteo de Partículas > 10 micras	NVE 753	ISO	2440	15/11/10	
750132	Conteo de Partículas > 14 micras	NVE 753	ISO	1178	15/11/10	
750133	Conteo de Partículas > 21 micras	NVE 753	ISO	280	15/11/10	
750134	Conteo de Partículas > 25 micras	NVE 753	ISO	97	15/11/10	
750135	Conteo de Partículas > 38 micras	NVE 753	ISO	12	15/11/10	
750138	Conteo de Partículas > 70 micras	NVE 753	ISO	2	15/11/10	
750161	Fe	ASTM D 6595	ppm	90	15/11/10	
750162	Cr	ASTM D 6595	ppm	1	15/11/10	
750163	Pb	ASTM D 6595	ppm	1	15/11/10	
750164	Cu	ASTM D 6595	ppm	10	15/11/10	
750165	Sn	ASTM D 6595	ppm	99	15/11/10	
750166	Al	ASTM D 6595	ppm	1	15/11/10	
750167	Ni	ASTM D 6595	ppm	0	15/11/10	
750168	Ag	ASTM D 6595	ppm	0	15/11/10	
750169	Mo	ASTM D 6595	ppm	12	15/11/10	
750170	Ti	ASTM D 6595	ppm	0	15/11/10	
750171	V	ASTM D 6595	ppm	0	15/11/10	
750172	Si	ASTM D 6595	ppm	3	15/11/10	
750173	Na	ASTM D 6595	ppm	0	15/11/10	
750174	B	ASTM D 6595	ppm	1	15/11/10	

Carretera Nacional Guacera, Via Aragóña, Guacera Edo. Carabobo
 Telfs. Laboratorio: 0241-8504284 / 8504315 Fax: 0241-8504058

SUPERVISOR DEL LABORATORIO
 Hegberth Rondón

Los resultados de los análisis obtenidos, tienen como única finalidad informar al solicitante el valor de los mismos y no podrán ser utilizados para otros fines. Este reporte no debe ser reproducido en forma parcial sin una autorización por escrito del Laboratorio.

Tabla B5. Análisis de aceite con aditivo para el compresor B (Continuación).

750175	Mg	ASTM D 8595	ppm	0	15/11/10
750178	Ca	ASTM D 8595	ppm	1	15/11/10
750177	Ba	ASTM D 8595	ppm	0	15/11/10
750178	P	ASTM D 8595	ppm	0	15/11/10
750179	Zn	ASTM D 8595	ppm	12	15/11/10

Observaciones

COMPRESOR DE UNIDAD REFRIGERADORA



Carretera Nacional Guacera, Via Aregüita, Guacera Edo. Carabobo
Telfs. Laboratorio: 0241-8504284 / 8504315 Fax: 0241-8504056

SUPERVISOR DEL LABORATORIO
Hegberth Rondón

Los resultados de los análisis obtenidos, tienen como única finalidad informar al solicitante el valor de los mismos y no podrá ser utilizado para otros fines. Este reporte no debe ser reproducido en forma parcial sin una autorización por escrito del Laboratorio.

Página 2 de 2

Tabla B6. Segundo análisis de aceite con aditivo para el compresor A.



Laboratorio Central de STAVCA
Rif.: J- 07507974-4

REPORTE DE ENSAYO

Solicitud No.: 54518

Cliente : 13 SubCliente : 13-000 LVICA Fecha Solicitud: 16/12/10
 Dirección: : Carretera Vía Aragüita-Guacara, Edo. Carabobo Fecha Recepción: 16/12/10
 Equipo : COMPRESOR A3 Fecha Muestra: 16/12/10
 Lubricante : DESCONOCIDO
 Hora Máquina : Km Máquina : Km Lubricante :

Código	Análisis	Método	Unidad	Resultado	Fecha	Observaciones
025400	Humedad Karl Fisher en Liq.Organicos.	ASTM E 1064	ppm	66,2	21/12/10	
204002	Numero de Acidez A.Usados (Punto de Inflexión)	ASTM D 664	mgKOH/g	0,38	16/12/10	
750031	Viscosidad Cinematica 40 C Ac. Usado	NVC 424	cSt	51,67	16/12/10	
750128	Código ISO 4406	NVE 753	ISO	20/20/19	17/12/10	
750129	Conteo de Particulas > 4 micras	NVE 753	ISO	9807	17/12/10	
750130	Conteo de Particulas > 6 micras	NVE 753	ISO	8022	17/12/10	
750131	Conteo de Particulas > 10 micras	NVE 753	ISO	5038	17/12/10	
750132	Conteo de Particulas > 14 micras	NVE 753	ISO	3064	17/12/10	
750133	Conteo de Particulas > 21 micras	NVE 753	ISO	1059	17/12/10	
750134	Conteo de Particulas > 25 micras	NVE 753	ISO	398	17/12/10	
750135	Conteo de Particulas > 38 micras	NVE 753	ISO	42	17/12/10	
750136	Conteo de Particulas > 70 micras	NVE 753	ISO	30	17/12/10	
750161	Fe	ASTM D 6595	ppm	14	16/12/10	
750162	Cr	ASTM D 6595	ppm	0	16/12/10	
750163	Pb	ASTM D 6595	ppm	0	16/12/10	
750164	Cu	ASTM D 6595	ppm	71	16/12/10	
750165	Sn	ASTM D 6595	ppm	12	16/12/10	
750166	Al	ASTM D 6595	ppm	0	16/12/10	
750167	Ni	ASTM D 6595	ppm	1	16/12/10	
750168	Ag	ASTM D 6595	ppm	0	16/12/10	
750169	Mo	ASTM D 6595	ppm	4	16/12/10	
750170	Ti	ASTM D 6595	ppm	0	16/12/10	
750171	V	ASTM D 6595	ppm	0	16/12/10	
750172	Si	ASTM D 6595	ppm	4	16/12/10	
750173	Na	ASTM D 6595	ppm	1	16/12/10	

Carretera Nacional Guacara, Vía Aragüita, Guacara Edo. Carabobo
 Telfs. Laboratorio: 0241-8504264 / 8504315 Fax: 0241-8504056

SUPERVISOR DEL LABORATORIO
 Hegberth Rondón

Los resultados de los análisis obtenidos, tienen como única finalidad informar al solicitante el valor de los mismos y no podrá ser utilizado para otros fines. Este reporte no debe ser reproducido en forma parcial sin una autorización por escrito del Laboratorio.

Página 1 de 2

**Tabla B6. Segundo análisis de aceite con aditivo para el compresor A
(Continuación).**

750174	B	ASTM D 6595	ppm	2	16/12/10
750175	Mg	ASTM D 6595	ppm	1	16/12/10
750176	Ca	ASTM D 6595	ppm	0	16/12/10
750177	Ba	ASTM D 6595	ppm	0	16/12/10
750178	P	ASTM D 6595	ppm	0	16/12/10
750179	Zn	ASTM D 6595	ppm	1	16/12/10

Observaciones



Carretera Nacional Guacara, Vía Aragüita, Guacara Edo. Carabobo
Telfs. Laboratorio: 0241-8504264 / 8504315 Fax: 0241-8504056

SUPERVISOR DEL LABORATORIO
Hegberth Rondón

Los resultados de los análisis obtenidos, tienen como única finalidad informar al solicitante el valor de los mismos y no podrá ser utilizado para otros fines. Este reporte no debe ser reproducido en forma parcial sin una autorización por escrito del Laboratorio.

Página 2 de 2

Tabla B7. Segundo análisis de aceite con aditivo para el compresor B.



REPORTE DE ENSAYO

Solicitud No.: 54519

Cliente : 13 **SubCliente :** 13-000 LVICA **Fecha Solicitud:** 16/12/10
Dirección: : Carretera Vía Aragüita-Guacara, Edo. Carabobo **Fecha Recepción:** 16/12/10
Equipo : COMPRESOR B3 **Fecha Muestra:** 16/12/10
Lubricante : DESCONOCIDO
Hora Máquina : **Km Máquina :** **Km Lubricante :**

Código	Análisis	Método	Unidad	Resultado	Fecha	Observaciones
025400	Humedad Karl Fisher en Liq.Organicos.	ASTM E 1064	ppm	728,2	21/12/10	
204002	Numero de Acidez A. Usados (Punto de Inflexión)	ASTM D 664	mgKOH/g	0,36	16/12/10	
750031	Viscosidad Cinematica 40 C Ac. Usado	NVC 424	cSt	30,42	17/12/10	
750128	Código ISO 4406	NVE 753	ISO	21/21/20	17/12/10	
750129	Conteo de Particulas > 4 micras	NVE 753	ISO	18301	17/12/10	
750130	Conteo de Particulas > 6 micras	NVE 753	ISO	14072	17/12/10	
750131	Conteo de Particulas > 10 micras	NVE 753	ISO	8290	17/12/10	
750132	Conteo de Particulas > 14 micras	NVE 753	ISO	5080	17/12/10	
750133	Conteo de Particulas > 21 micras	NVE 753	ISO	2000	17/12/10	
750134	Conteo de Particulas > 25 micras	NVE 753	ISO	894	17/12/10	
750135	Conteo de Particulas > 38 micras	NVE 753	ISO	21	17/12/10	
750136	Conteo de Particulas > 70 micras	NVE 753	ISO	3	17/12/10	
750161	Fe	ASTM D 6595	ppm	47	16/12/10	
750162	Cr	ASTM D 6595	ppm	0	16/12/10	
750163	Pb	ASTM D 6595	ppm	0	16/12/10	
750164	Cu	ASTM D 6595	ppm	3	16/12/10	
750165	Sn	ASTM D 6595	ppm	55	16/12/10	
750166	Al	ASTM D 6595	ppm	0	16/12/10	
750167	Ni	ASTM D 6595	ppm	1	16/12/10	
750168	Ag	ASTM D 6595	ppm	0	16/12/10	
750169	Mo	ASTM D 6595	ppm	0	16/12/10	
750170	Ti	ASTM D 6595	ppm	0	16/12/10	
750171	V	ASTM D 6595	ppm	0	16/12/10	
750172	Si	ASTM D 6595	ppm	1	16/12/10	
750173	Na	ASTM D 6595	ppm	0	16/12/10	

Carretera Nacional Guacara, Via Aragüita, Guacara Edo. Carabobo
 Telfs. Laboratorio: 0241-8504264 / 8504315 Fax: 0241-8504056

SUPERVISOR DEL LABORATORIO
 Hegberth Rondón

Los resultados de los análisis obtenidos, tienen como única finalidad informar al solicitante el valor de los mismos y no podrá ser utilizado para otros fines. Este reporte no debe ser reproducido en forma parcial sin una autorización por escrito del Laboratorio.

Página 1 de 2

**Tabla B7. Segundo análisis de aceite con aditivo para el compresor B
(Continuación).**

750174	B	ASTM D 6595	ppm	1	16/12/10
750175	Mg	ASTM D 6595	ppm	0	16/12/10
750176	Ca	ASTM D 6595	ppm	0	16/12/10
750177	Ba	ASTM D 6595	ppm	0	16/12/10
750178	P	ASTM D 6595	ppm	0	16/12/10
750179	Zn	ASTM D 6595	ppm	6	16/12/10

Observaciones

Carretera Nacional Guacara, Vía Aragüita, Guacara Edo. Carabobo
Telfs. Laboratorio: 0241-8504264 / 8504315 Fax: 0241-8504056



SUPERVISOR DEL LABORATORIO
Hegberth Rondón

Los resultados de los análisis obtenidos, tienen como única finalidad informar al solicitante el valor de los mismos y no podrá ser utilizado para otros fines. Este reporte no debe ser reproducido en forma parcial sin una autorización por escrito del Laboratorio.

Página 2 de 2

APÉNDICE C

TABLAS DE DATOS

Tabla C.1 Datos experimentales obtenidos en la primera medición hecha en el compresor A antes de agregar el aditivo.

VARIABLE	LUGAR			INSTRUMENTO
CORRIENTE	L1	L2	L3	PINZA AMP.
	44,5 A	48 A	45 A	
TENSIÓN	V12	V23	V13	TESTER
	215,1 v	217,5 v	215 v	
PRESIÓN	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	MANÓMETRO
	70 psi		200 psi	
	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	
TEMPERATURA	20 °C	92 °C	43 °C	PISTOLA TERM.
TEMPERATURA AMBIENTE: 31°C				

FECHA: 15-07-2010

Tabla C.2 Datos experimentales obtenidos en la primera medición hecha en el compresor antes de agregar el aditivo.

VARIABLE	LUGAR			INSTRUMENTO
CORRIENTE	L1	L2	L3	PINZA AMP.
	57 A	63 A	59,7 A	
TENSIÓN	V12	V23	V13	TESTER
	215,6 v	218,1 v	214,1 v	
PRESIÓN	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	MANÓMETRO
	63 psi	nsp	Nsp	
	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	
TEMPERATURA	17 °C	97 °C	48 °C	PISTOLA TERM.
TEMPERATURA AMBIENTE: 31°C				

FECHA: 15-07-2010

Tabla C.3 Datos experimentales obtenidos en la segunda medición hecha en el compresor A antes de agregar el aditivo.

VARIABLE	LUGAR			INSTRUMENTO
CORRIENTE	L1	L2	L3	PINZA AMP.
	43,2 A	47,8 A	43,8 A	
TENSIÓN	V12	V23	V13	TESTER
	221,6 v	223,8 v	220 v	
PRESIÓN	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	MANÓMETRO
	64 psi	nsp	190 psi	
	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	
TEMPERATURA	19 °C	86 °C	36 °C	PISTOLA TERM.
TEMPERATURA AMBIENTE: 28°C				

FECHA: 20-07-2010

Tabla C.4 Datos experimentales obtenidos en la segunda medición hecha en el compresor B antes de agregar el aditivo.

VARIABLE	LUGAR			INSTRUMENTO
CORRIENTE	L1	L2	L3	PINZA AMP.
	52,7 A	58,2 A	55,6 A	
TENSIÓN	V12	V23	V13	TESTER
	222,3 v	224 v	221,6 v	
PRESIÓN	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	MANÓMETRO
	58 psi	nsp	nsp	
	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	
TEMPERATURA	17 °C	93 °C	40 °C	PISTOLA TERM.
TEMPERATURA AMBIENTE: 28°C				

FECHA: 20-07-2010

Tabla C.5 Datos experimentales obtenidos en la tercera medición hecha en el compresor A antes de agregar el aditivo.

VARIABLE	LUGAR			INSTRUMENTO
CORRIENTE	L1	L2	L3	PINZA AMP.
	43 A	47,4 A	43,6 A	
TENSIÓN	V12	V23	V13	TESTER
	222,7 v	225,1 v	220,8 v	
PRESIÓN	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	MANÓMETRO
	62 psi	190 psi		
	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	
TEMPERATURA	18 °C	86 °C	36 °C	PISTOLA TERM.
TEMPERATURA AMBIENTE: 28°C				

FECHA: 27-07-2010

Tabla C.6 Datos experimentales obtenidos en la tercera medición hecha en el compresor B antes de agregar el aditivo.

VARIABLE	LUGAR			INSTRUMENTO
CORRIENTE	L1	L2	L3	PINZA AMP.
	53,8 A	58,9 A	55,2 A	
TENSIÓN	V12	V23	V13	TESTER
	222,8 v	224,5 v	221,8 v	
PRESIÓN	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	MANÓMETRO
	71 psi	215 psi	nsp	
	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	
TEMPERATURA	18 °C	98 °C	35 °C	PISTOLA TERM.
TEMPERATURA AMBIENTE: 28°C				

FECHA: 27-07-2010

Tabla C.7 Datos experimentales obtenidos en la cuarta medición hecha en el compresor A antes de agregar el aditivo.

VARIABLE	LUGAR			INSTRUMENTO
CORRIENTE	L1	L2	L3	PINZA AMP.
	44,1 A	48,1 A	44,2 A	
TENSIÓN	V12	V23	V13	TESTER
	214 v	216,1 v	213,4 v	
PRESIÓN	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	MANÓMETRO
	65 psi	210 psi		
	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	
TEMPERATURA	21 °C	94 °C	40 °C	PISTOLA TERM.
TEMPERATURA AMBIENTE: 31°C				

FECHA: 29-07-2010

Tabla C.8 Datos experimentales obtenidos en la cuarta medición hecha en el compresor B antes de agregar el aditivo.

VARIABLE	LUGAR			INSTRUMENTO
CORRIENTE	L1	L2	L3	PINZA AMP.
	55 A	58,8 A	55,8 A	
TENSIÓN	V12	V23	V13	TESTER
	214,8 v	217,1 v	214 v	
PRESIÓN	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	MANÓMETRO
	73 psi	225 psi	nsp	
	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	
TEMPERATURA	21 °C	102 °C	31 °C	PISTOLA TERM.
TEMPERATURA AMBIENTE: 31°C				

FECHA: 29-07-2010

Tabla C.9 Datos experimentales obtenidos en la quinta medición hecha en el compresor A antes de agregar el aditivo.

VARIABLE	LUGAR			INSTRUMENTO
CORRIENTE	L1	L2	L3	PINZA AMP.
	43,7 A	47,2 A	45,2 A	
TENSIÓN	V12	V23	V13	TESTER
	214,2 v	216,6 v	213,3 v	
PRESIÓN	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	MANÓMETRO
	65 psi	205 psi		
	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	
TEMPERATURA	19 °C	92 °C	38 °C	PISTOLA TERM.
TEMPERATURA AMBIENTE: 30°C				

FECHA: 10-08-2010

Tabla C.10 Datos experimentales obtenidos en la quinta medición hecha en el compresor B antes de agregar el aditivo.

VARIABLE	LUGAR			INSTRUMENTO
CORRIENTE	L1	L2	L3	PINZA AMP.
	43,8 A	48,5 A	45,9 A	
TENSIÓN	V12	V23	V13	TESTER
	216,3 v	218,3 v	215,6 v	
PRESIÓN	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	MANÓMETRO
	42 psi	165 psi	Nsp	
	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	
TEMPERATURA	26 °C	129 °C	32 °C	PISTOLA TERM.
TEMPERATURA AMBIENTE: 30°C				

FECHA: 10-08-2010

Tabla C.11 Datos experimentales obtenidos en la sexta medición hecha en el compresor A antes de agregar el aditivo.

VARIABLE	LUGAR			INSTRUMENTO
CORRIENTE	L1	L2	L3	PINZA AMP.
	42,3 A	46,5 A	43,4 A	
TENSIÓN	V12	V23	V13	TESTER
	213,4 v	215,4 v	212,4 v	
PRESIÓN	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	MANÓMETRO
	59 psi	205 psi		
	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	
TEMPERATURA	21 °C	91 °C	39 °C	PISTOLA TERM.
TEMPERATURA AMBIENTE: 30°C				

FECHA: 12-08-2010

Tabla C.12 Datos experimentales obtenidos en la sexta medición hecha en el compresor B antes de agregar el aditivo.

VARIABLE	LUGAR			INSTRUMENTO
CORRIENTE	L1	L2	L3	PINZA AMP.
	50,5 A	56,4 A	52,6 A	
TENSIÓN	V12	V23	V13	TESTER
	213,2 v	215,3 v	212,2 v	
PRESIÓN	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	MANÓMETRO
	63 psi	165 psi	Nsp	
	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	
TEMPERATURA	21 °C	109 °C	39 °C	PISTOLA TERM.
TEMPERATURA AMBIENTE: 30°C				

FECHA: 12-08-2010

Tabla C.13 Datos experimentales obtenidos en la séptima medición hecha en el compresor A antes de agregar el aditivo.

VARIABLE	LUGAR			INSTRUMENTO
CORRIENTE	L1	L2	L3	PINZA AMP.
	42,3 A	46,7 A	43,7 A	
TENSIÓN	V12	V23	V13	TESTER
	215,8 v	218,8 v	215 v	
PRESIÓN	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	MANÓMETRO
	60 psi	200 psi		
	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	
TEMPERATURA	22 °C	96 °C	38 °C	PISTOLA TERM.
TEMPERATURA AMBIENTE: 31°C				

FECHA: 19-08-2010

Tabla C.14 Datos experimentales obtenidos en la séptima medición hecha en el compresor B antes de agregar el aditivo.

VARIABLE	LUGAR			INSTRUMENTO
CORRIENTE	L1	L2	L3	PINZA AMP.
	44,4 A	50,2 A	46,7 A	
TENSIÓN	V12	V23	V13	TESTER
	215,8 v	218 v	214,9 v	
PRESIÓN	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	MANÓMETRO
	45 psi	170 psi	180	
	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	
TEMPERATURA	28 °C	128 °C	39 °C	PISTOLA TERM.
TEMPERATURA AMBIENTE: 31°C				

FECHA: 19-08-2010

Tabla C.15 Datos experimentales obtenidos en la primera medición hecha en el compresor A después de agregar el aditivo.

VARIABLE	LUGAR			INSTRUMENTO
CORRIENTE	L1	L2	L3	PINZA AMP.
	43,5 A	47,3 A	43 A	
TENSIÓN	V12	V23	V13	TESTER
	215,9 v	218 v	214,6 v	
PRESIÓN	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	MANÓMETRO
	67 psi	200 psi	185 psi	
	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	
TEMPERATURA	18 °C	89 °C	37 °C	PISTOLA TERM.
TEMPERATURA AMBIENTE: 30°C				

FECHA: 05-10-2010

Tabla C.16 Datos experimentales obtenidos en la primera medición hecha en el compresor B después de agregar el aditivo.

VARIABLE	LUGAR			INSTRUMENTO
CORRIENTE	L1	L2	L3	PINZA AMP.
	52,7 A	56,3 A	51,6 A	
TENSIÓN	V12	V23	V13	TESTER
	218,1 v	215,2 v	216,4 v	
PRESIÓN	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	MANÓMETRO
	64 psi	200 psi	180 psi	
	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	
TEMPERATURA	21 °C	97 °C	39 °C	PISTOLA TERM.
TEMPERATURA AMBIENTE: 30°C				

FECHA: 05-10-2010

Tabla C.17 Datos experimentales obtenidos en la segunda medición hecha en el compresor A después de agregar el aditivo.

VARIABLE	LUGAR			INSTRUMENTO
CORRIENTE	L1	L2	L3	PINZA AMP.
	45,6 A	49,4 A	45 A	
TENSIÓN	V12	V23	V13	TESTER
	214,7 v	216,5 v	212,4 v	
PRESIÓN	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	MANÓMETRO
	70 psi	225 psi	Nsp	
	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	
TEMPERATURA	21 °C	96 °C	41 °C	PISTOLA TERM.
TEMPERATURA AMBIENTE: 31°C				

FECHA: 08-10-2010

Tabla C.18 Datos experimentales obtenidos en la segunda medición hecha en el compresor B después de agregar el aditivo.

VARIABLE	LUGAR			INSTRUMENTO
CORRIENTE	L1	L2	L3	PINZA AMP.
	55 A	58,9 A	54,2 A	
TENSIÓN	V12	V23	V13	TESTER
	212,8 v	214 v	212,7 v	
PRESIÓN	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	MANÓMETRO
	59 psi	215 psi	195 psi	
	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	
TEMPERATURA	24 °C	91 °C	46 °C	PISTOLA TERM.
TEMPERATURA AMBIENTE: 31°C				

FECHA: 08-10-2010

Tabla C.19 Datos experimentales obtenidos en la tercera medición hecha en el compresor A después de agregar el aditivo.

VARIABLE	LUGAR			INSTRUMENTO
CORRIENTE	L1	L2	L3	PINZA AMP.
	44,9 A	50,1 A	45,3 A	
TENSIÓN	V12	V23	V13	TESTER
	215,1 v	218,3 v	214,1 v	
PRESIÓN	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	MANÓMETRO
	68 psi	220 psi	215 psi	
	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	
TEMPERATURA	20 °C	86 °C	41 °C	PISTOLA TERM.
TEMPERATURA AMBIENTE: 30°C				

FECHA: 12-10-2010

Tabla C.20 Datos experimentales obtenidos en la tercera medición hecha en el compresor B después de agregar el aditivo.

VARIABLE	LUGAR			INSTRUMENTO
CORRIENTE	L1	L2	L3	PINZA AMP.
	52,7 A	59 A	55,1 A	
TENSIÓN	V12	V23	V13	TESTER
	215,2 v	217,7 v	214,3 v	
PRESIÓN	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	MANÓMETRO
	56 psi	220 psi	200 psi	
	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	
TEMPERATURA	23 °C	91 °C	40 °C	PISTOLA TERM.
TEMPERATURA AMBIENTE: 30°C				

FECHA: 12-10-2010

Tabla C.21 Datos experimentales obtenidos en la cuarta medición hecha en el compresor A después de agregar el aditivo.

VARIABLE	LUGAR			INSTRUMENTO
CORRIENTE	L1	L2	L3	PINZA AMP.
	45,9 A	49,6 A	44,7 A	
TENSIÓN	V12	V23	V13	TESTER
	215,3 v	217,6 v	214 v	
PRESIÓN	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	MANÓMETRO
	68 psi	220 psi		
	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	
TEMPERATURA	22 °C	94 °C	41 °C	PISTOLA TERM.
TEMPERATURA AMBIENTE: 30°C				

FECHA: 14-10-2010

Tabla C.22 Datos experimentales obtenidos en la cuarta medición hecha en el compresor B después de agregar el aditivo.

VARIABLE	LUGAR			INSTRUMENTO
CORRIENTE	L1	L2	L3	PINZA AMP.
	57 A	63,6 A	59,2 A	
TENSIÓN	V12	V23	V13	TESTER
	214,9 v	217,2 v	213,2 v	
PRESIÓN	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	MANÓMETRO
	64 psi	235 psi	215 psi	
	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	
TEMPERATURA	18 °C	85 °C	42 °C	PISTOLA TERM.
TEMPERATURA AMBIENTE: 30°C				

FECHA: 14-10-2010

Tabla C.23 Datos experimentales obtenidos en la quinta medición hecha en el compresor A después de agregar el aditivo.

VARIABLE	LUGAR			INSTRUMENTO
CORRIENTE	L1	L2	L3	PINZA AMP.
	44,8 A	48,6 A	44,5 A	
TENSIÓN	V12	V23	V13	TESTER
	213,2 v	215,4 v	212,2 v	
PRESIÓN	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	MANÓMETRO
	66 psi	210 psi	190 psi	
	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	
TEMPERATURA	20 °C	94 °C	40 °C	PISTOLA TERM.
TEMPERATURA AMBIENTE: 29°C				

FECHA: 19-10-2010

Tabla C.24 Datos experimentales obtenidos en la quinta medición hecha en el compresor B después de agregar el aditivo.

VARIABLE	LUGAR			INSTRUMENTO
CORRIENTE	L1	L2	L3	PINZA AMP.
	54,3 A	59,9 A	55,3 A	
TENSIÓN	V12	V23	V13	TESTER
	214,4 v	216,4 v	213,4 v	
PRESIÓN	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	MANÓMETRO
	60 psi	220 psi	180 psi	
	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	
TEMPERATURA	20 °C	86 °C	43 °C	PISTOLA TERM.
TEMPERATURA AMBIENTE: 29°C				

FECHA: 19-10-2010

Tabla C.25 Datos experimentales obtenidos en la sexta medición hecha en el compresor A después de agregar el aditivo.

VARIABLE	LUGAR			INSTRUMENTO
CORRIENTE	L1	L2	L3	PINZA AMP.
	45,8 A	50,8 A	44,4 A	
TENSIÓN	V12	V23	V13	TESTER
	213,6 v	216,6 v	212,2 v	
PRESIÓN	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	MANÓMETRO
	68 psi	225 psi	nsp	
	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	
TEMPERATURA	21 °C	87 °C	42 °C	PISTOLA TERM.
TEMPERATURA AMBIENTE: 30°C				

FECHA: 26-10-2010

Tabla C.26 Datos experimentales obtenidos en la sexta medición hecha en el compresor B después de agregar el aditivo.

VARIABLE	LUGAR			INSTRUMENTO
CORRIENTE	L1	L2	L3	PINZA AMP.
	54,8 A	60,5 A	56,6 A	
TENSIÓN	V12	V23	V13	TESTER
	215,2 v	217,5 v	213 v	
PRESIÓN	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	MANÓMETRO
	58 psi	230 psi	nsp	
	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	
TEMPERATURA	20 °C	91 °C	44 °C	PISTOLA TERM.
TEMPERATURA AMBIENTE: 30°C				

FECHA: 26-10-2010

Tabla C.27 Datos experimentales obtenidos en la séptima medición hecha en el compresor A después de agregar el aditivo.

VARIABLE	LUGAR			INSTRUMENTO
CORRIENTE	L1	L2	L3	PINZA AMP.
	44,5 A	49,7 A	44,5 A	
TENSIÓN	V12	V23	V13	TESTER
	213,7 v	216,9 v	212,4 v	
PRESIÓN	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	MANÓMETRO
	67 psi	225 psi	Nsp	
	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	
TEMPERATURA	21 °C	96 °C	41 °C	PISTOLA TERM.
TEMPERATURA AMBIENTE: 30°C				

FECHA: 29-10-2010

Tabla C.28 Datos experimentales obtenidos en la séptima medición hecha en el compresor B después de agregar el aditivo.

VARIABLE	LUGAR			INSTRUMENTO
CORRIENTE	L1	L2	L3	PINZA AMP.
	54,9 A	60,3 A	56,6 A	
TENSIÓN	V12	V23	V13	TESTER
	216,7 v	219,2 v	215,2 v	
PRESIÓN	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	MANÓMETRO
	60 psi	230 psi	210 psi	
	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	
TEMPERATURA	23 °C	92 °C	47 °C	PISTOLA TERM.
TEMPERATURA AMBIENTE: 30°C				

FECHA: 29-10-2010

Tabla C.29 Datos experimentales obtenidos en la octava medición hecha en el compresor A después de agregar el aditivo.

VARIABLE	LUGAR			INSTRUMENTO
CORRIENTE	L1	L2	L3	PINZA AMP.
	43,4 A	48,2 A	43,2 A	
TENSIÓN	V12	V23	V13	TESTER
	215,5 v	218,7 v	214,7 v	
PRESIÓN	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	MANÓMETRO
	64 psi	215 psi	195 psi	
	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	
TEMPERATURA	21 °C	87 °C	39 °C	PISTOLA TERM.
TEMPERATURA AMBIENTE: 29°C				

FECHA: 04-11-2010

Tabla C.30 Datos experimentales obtenidos en la octava medición hecha en el compresor B después de agregar el aditivo.

VARIABLE	LUGAR			INSTRUMENTO
CORRIENTE	L1	L2	L3	PINZA AMP.
	53 A	59,2 A	55,2 A	
TENSIÓN	V12	V23	V13	TESTER
	215,4 v	218 v	214,7 v	
PRESIÓN	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	MANÓMETRO
	60 psi	220 psi	195 psi	
	Compresor (Succión)	Compresor (Salida)	Condensador (Salida)	
TEMPERATURA	18 °C	88 °C	40 °C	PISTOLA TERM.
TEMPERATURA AMBIENTE: 29°C				

FECHA: 04-11-2010

APÉNDICE D

CÁLCULOS TÍPICOS

Para efectos de los cálculos típicos se estimó el error de acuerdo con el método de las derivadas parciales, es importante aclarar que no se calculó el error de aquellas variables que solo se utilizan para estimar propiedades del fluido, tales como temperaturas, presión, número de Rayleigh, entre otros.

- Capacidad de refrigeración

- Temperatura de película:

Se determina haciendo uso de la ecuación XXIV y las temperaturas de pared del volumen de control y del ambiente, para efectos del calor desprendido al ambiente por el compresor A se trabaja con un promedio de las temperaturas de pared del compresor, y se tiene:

$$T_p = \frac{56^{\circ}\text{C} + 31^{\circ}\text{C}}{2} = 43,5^{\circ}\text{C}$$

- Diferencial logarítmico de temperatura:

Se estima utilizando la ecuación XXI con los datos de temperatura ambiente y temperaturas de descarga y succión del compresor. Para efectos del compresor A se obtiene:

$$\Delta T_{\log} = \frac{(31^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}) - (92^{\circ}\text{C} - 31^{\circ}\text{C})}{\ln\left(\frac{31^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}}{92^{\circ}\text{C} - 31^{\circ}\text{C}}\right)} = 29,18892288^{\circ}\text{C}$$

El error estimado por derivadas parciales viene dado por la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}
\Delta\Delta T_{\log} = & \left[\frac{2 \times \ln \left(\frac{T_{amb} - T_{w1}}{T_{w2} - T_{amb}} \right) - \left[(2T_{amb} - T_{w1} - T_{w2}) \times \left(\frac{T_{w2} - T_{w1}}{(T_{w2} - T_{amb})^2} \right) \right]}{\left[\ln \left(\frac{T_{amb} - T_{w1}}{T_{w2} - T_{amb}} \right) \right]^2} \right] \\
& \times \Delta T_{amb} \\
& + \left[\frac{-\ln \left(\frac{T_{amb} - T_{w1}}{T_{w2} - T_{amb}} \right) - \left[(2T_{amb} - T_{w1} - T_{w2}) \times \left(\frac{-T_{w2} + T_{amb}}{(T_{w2} - T_{amb})^2} \right) \right]}{\left[\ln \left(\frac{T_{amb} - T_{w1}}{T_{w2} - T_{amb}} \right) \right]^2} \right] \\
& \times \Delta T_{w1} \\
& + \left[\frac{-\ln \left(\frac{T_{amb} - T_{w1}}{T_{w2} - T_{amb}} \right) - \left[(2T_{amb} - T_{w1} - T_{w2}) \times \left(\frac{-T_{amb} + T_{w1}}{(T_{w2} - T_{amb})^2} \right) \right]}{\left[\ln \left(\frac{T_{amb} - T_{w1}}{T_{w2} - T_{amb}} \right) \right]^2} \right] \\
& \times \Delta T_{w2}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \Delta\Delta T_{\log} \\
& = \left[\frac{2 \times \ln\left(\frac{31^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}}{92^{\circ}\text{C} - 31^{\circ}\text{C}}\right) - \left[(2 \times 31^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C} - 92^{\circ}\text{C}) \times \ln\left(\frac{92^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}}{(92^{\circ}\text{C} - 31^{\circ}\text{C})^2} \times \frac{31^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}}{92^{\circ}\text{C} - 31^{\circ}\text{C}}\right) \right]}{\left[\ln\left(\frac{31^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}}{92^{\circ}\text{C} - 31^{\circ}\text{C}}\right) \right]^2} \right] \times 0,05^{\circ}\text{C} \\
& + \left[\frac{-\ln\left(\frac{31^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}}{92^{\circ}\text{C} - 31^{\circ}\text{C}}\right) - \left[(2 \times 31^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C} - 92^{\circ}\text{C}) \times \ln\left(\frac{-92^{\circ}\text{C} + 31^{\circ}\text{C}}{(92^{\circ}\text{C} - 31^{\circ}\text{C})^2} \times \frac{31^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}}{92^{\circ}\text{C} - 31^{\circ}\text{C}}\right) \right]}{\left[\ln\left(\frac{31^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}}{92^{\circ}\text{C} - 31^{\circ}\text{C}}\right) \right]^2} \right] \times 1^{\circ}\text{C} \\
& + \left[\frac{-\ln\left(\frac{31^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}}{92^{\circ}\text{C} - 31^{\circ}\text{C}}\right) - \left[(2 \times 31^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C} - 92^{\circ}\text{C}) \times \ln\left(\frac{-31^{\circ}\text{C} + 20^{\circ}\text{C}}{(92^{\circ}\text{C} - 31^{\circ}\text{C})^2} \times \frac{31^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}}{92^{\circ}\text{C} - 31^{\circ}\text{C}}\right) \right]}{\left[\ln\left(\frac{31^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}}{92^{\circ}\text{C} - 31^{\circ}\text{C}}\right) \right]^2} \right] \times 1^{\circ}\text{C} \\
& = 1,302779727^{\circ}\text{C}
\end{aligned}$$

El diferencial de temperatura logarítmico termina siendo: $(29 \pm 1)^{\circ}\text{C}$

- Número de Rayleigh:

Para determinar este número es necesario conocer el diámetro interno del volumen de control estudiado, para trabajar con el compresor se asume que el diámetro externo es igual al interno en vista de que no se tienen las hojas de especificaciones técnicas del equipo. Utilizando la ecuación XXIII y las propiedades del aire a la temperatura de película se tiene:

$$Ra = 105028000 \frac{\text{m}^{-3}}{^{\circ}\text{C}} \times 29,2^{\circ}\text{C} \times (0,283\text{m})^3 \times 0,70337845 = 49026695,83$$

- Coeficiente convectivo:

Se calcula utilizando la ecuación XXII, en vista de que el número de Rayleigh está entre 10^4 y 10^9 se tiene que C es igual a 1,32; b es igual al diámetro interno y n es igual a 0,25.

$$h = 1,32 \left(\frac{29,2^\circ\text{C}}{0,283\text{m}} \right)^{0,25} = 4,205 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

El error obtenido por derivadas parciales tomando en cuenta que los datos bibliográficos presentan errores despreciables es:

$$\Delta h = \left| \frac{C}{b^n} \times n \times \Delta T_{\text{log}}^{n-1} \right| \Delta(\Delta T_{\text{log}})$$

$$\Delta h = \left| \frac{1,32}{0,283^{0,25}} \times 0,25 \times 29^\circ\text{C}^{0,25-1} \right| 1^\circ\text{C} = 0,036205023 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

El coeficiente convectivo es: $(4,21 \pm 0,04) \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$

- Área de transferencia de calor:

Se determina utilizando la ecuación XX, en la cual se trabaja con diámetro externo y la longitud del volumen de control, siguiendo con el ejemplo del compresor:

$$A = \pi \times 0,283\text{m} \times 0,45\text{m} = 0,4005\text{m}^2$$

El error por derivadas parciales viene siendo:

$$\Delta A = |\pi \times L| \Delta D + |\pi \times D| \Delta L$$

$$\Delta A = |\pi \times 0,45\text{m}| 0,0005\text{m} + |\pi \times 0,283\text{m}| 0,0005\text{m} = 0,0011513937\text{m}^2$$

El área viene siendo: $(0,401 \pm 0,001) \text{ m}^2$

- o Calor perdido al ambiente:

Usando la ecuación XIX para efectos del compresor se tiene:

$$Q_{RC} = 0,401 \text{ m}^2 \times 4,21 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \times (29^\circ\text{C}) = 49,1630711 \text{ W}$$

El error viene siendo entonces:

$$\begin{aligned} \Delta Q_{RC} &= |h \times \Delta T \log | \Delta A + |A \times h | \Delta (\Delta T \log) + |A \times \Delta T \log | \Delta h \\ \Delta Q_{RC} &= \left| 4,21 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \times 29^\circ\text{C} \right| 0,001 \text{ m}^2 + \left| 0,401 \text{ m}^2 \times 4,21 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \right| 1^\circ\text{C} \\ &\quad + \left| 0,401 \text{ m}^2 \times 29^\circ\text{C} \right| 0,04 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} = 2,27546 \text{ W} \end{aligned}$$

El calor perdido al ambiente en el compresor es: $(49 \pm 2) \text{ W}$

Para determinar la capacidad de refrigeración se necesita además del calor perdido al ambiente por el compresor, las entalpías del refrigerante en los lados de baja y alta presión del compresor, para ello es necesario calcular la temperatura del fluido, es decir la temperatura interna. Esta se obtiene mediante un proceso iterativo en el cual se determina el calor perdido al ambiente en los segmentos de tubería correspondientes a los lados mencionados previamente del mismo modo en que se determinó el calor perdido al ambiente por el compresor, la diferencia radica en dos aspectos, primero: el diámetro interno de las tuberías se puede conocer utilizando la tabla A.6 En ella se tiene el tipo de tubería y su espesor, con este valor se conoce el diámetro interno. Además se diferencia en el hecho de que no se trabaja con diferencial logarítmico de temperatura por el hecho de que el segmento de tubería no tiene una longitud tal como para que la variación pueda

ser considerable, por ende el diferencial de temperatura entre la tubería y el ambiente será igual a la simple sustracción de ambos valores.

- Temperatura interna:

Una vez realizado el procedimiento anterior para segmentos de tubería tomando en cuenta las salvedades previamente dichas, se iguala el calor perdido en el segmento de tubería al calor transferido por conducción en las paredes de la misma, de este modo asumiendo un coeficiente conductivo inicial se puede determinar la temperatura interna con la ecuación XXV. Trabajando con la succión del compresor en el Equipo A sin aditivo se tiene que:

$$T_i = \frac{49,1630711W \times \ln \left(\frac{0,01432394m}{0,01267295m} \right)}{394 \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \cdot 2\pi 0,45m} + 56^\circ C = 92,0016203^\circ C$$

- Temperatura media de la tubería:

Utilizando la ecuación XXVI y la temperatura interna recién calculada junto a la temperatura de pared medida en el segmento de tubería se tiene que para la succión del compresor en el equipo A sin aditivo

$$T_m = \frac{92,0016203^\circ C + 92^\circ C}{2} = 92,0008101^\circ C$$

- Porcentaje de desviación del coeficiente de conductividad:

Con la temperatura media se estima el coeficiente de conductividad del cobre y utilizando la ecuación XXVII se observa:

$$\%Desv = \frac{\left| 394 \frac{W}{m.^{\circ}C} - 394,090951 \frac{W}{m.^{\circ}C} \right|}{394 \frac{W}{m.^{\circ}C}} \times 100\% = 0,02308\%$$

Al ser un porcentaje de desviación inferior al 5% se puede considerar que la iteración ha llegado a su fin.

Con la temperatura del fluido y conociendo la presión interna en la tubería se determina la entalpía en cada punto con ayuda del Software *NIST THERMODYNAMIC PROPERTIES OF REFRIGERANTS AND REFRIGERANTS MIXTURE Version 4.0*. Con las entalpías de la succión del compresor y la salida del condensador se determina el calor absorbido por el refrigerante en el condensador con ayuda de la ecuación XVII, por ejemplo para el equipo A se tiene:

$$Q_L = \left(264,8 \frac{kJ}{kg} - 263,1 \frac{kJ}{kg} \right) \times 1000 \frac{J}{kJ} = 1700 \frac{J}{kg}$$

El error arrojado por el método de derivadas parciales viene siendo:

$$\Delta Q_L = |1|\Delta h_1 + |-1|\Delta h_4$$

$$\Delta Q_L = |1|0,1 \frac{kJ}{kg} + |-1|0,1 \frac{kJ}{kg} = 0,2 \frac{kJ}{kg}$$

El calor absorbido por el condensador es $(1700,0 \pm 0,2) \frac{kJ}{kg}$

Ahora se procede a determinar la potencia consumida por el reactor, para ello se trabaja con el promedio de los voltajes de línea y el promedio de las corrientes de línea. Se asume un factor de potencia de 0,8 y se trabaja con la ecuación VIII.

$$P = \sqrt{3} \times 215,9V \times 45,8A \times 0,8 = 9941,62W$$

El error se obtiene de la siguiente manera:

$$\Delta P = |I \times f_p| \Delta V + |V \times f_p| \Delta I$$

$$\Delta P = \sqrt{3} \times (|45,8A \times 0,8|0,1V + |215,9V \times 0,8|0,1A) = 36,25W$$

La potencia es: $(9942 \pm 36) W$

El cálculo del flujo másico del refrigerante se determina relacionando la potencia eléctrica, el calor perdido al ambiente por el compresor, y el calor absorbido en el condensador a través de la ecuación XVIII

$$\dot{m}_{ref} = \frac{9942 \frac{J}{s} - 49 \frac{J}{s}}{1700 \frac{J}{kg}} = 5,819411765 \frac{kg}{s}$$

El error viene dado por:

$$\Delta \dot{m}_{ref} = \left| \frac{1}{Q_L} \right| \Delta P + \left| -\frac{1}{Q_L} \right| \Delta Q_{RC} + \left| \frac{P - Q_{RC}}{Q_L^2} \right| \Delta Q_L$$

$$\Delta \dot{m}_{ref} = \left| \frac{1}{1700,0 \frac{J}{kg}} \right| 36 \frac{J}{s} + \left| -\frac{1}{1700,0 \frac{J}{kg}} \right| 2 \frac{J}{s} + \left| \frac{9942 - 49}{\left(1700,0 \frac{J}{kg}\right)^2} \right| 0,2 \frac{J}{s} = 0,023037577 \frac{kg}{s}$$

El flujo másico del refrigerante viene siendo: $(5,82 \pm 0,02) \frac{kg}{s}$

La capacidad de refrigeración viene dada por la ecuación XVI:

$$C = \left(5,82 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 1700,0 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \right) \times \frac{1 \text{ ton ref}}{746 \text{ W}} = 13,26273458 \text{ ton ref}$$

El error asociado acorde con el método de derivadas parciales es:

$$\Delta C = |m_{\text{ref}}| \Delta Q_L + |Q_L| \Delta m_{\text{ref}}$$

$$\Delta C = \left[\left| 5,82 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right| 0,2 \frac{\text{J}}{\text{kg}} + \left| 1700,0 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \right| 0,02 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] \times \frac{1 \text{ ton ref}}{746 \text{ W}} = 0,047136729 \text{ ton ref}$$

La capacidad de refrigeración es: $(13,26 \pm 0,04) \text{ ton ref}$.

Finalmente se calcula el trabajo del compresor con la ecuación VII. Estimando la diferencia de energía entre la descarga y la succión del compresor A por ejemplo se tiene:

$$W_c = 303,3 \frac{\text{J}}{\text{kg}} - 264,4 \frac{\text{J}}{\text{kg}} = 38,9 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

El error viene dado por:

$$\Delta W_c = |1| \Delta h_2 + |-1| \Delta h_1$$

$$\Delta W_c = |1| 0,1 \frac{\text{J}}{\text{s}} + |-1| 0,1 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 0,2 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

El trabajo del compresor es $(38,9 \pm 0,2) \frac{\text{J}}{\text{s}}$

Una vez obtenido el trabajo del compresor y la capacidad de refrigeración de cada equipo a lo largo de toda la etapa experimental sin aditivo se procede a determinar un promedio para ambos parámetros, lo propio se hace con la etapa experimental luego de haber agregado el aditivo.



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**



**EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE UN ADITIVO DEL LUBRICANTE EN LA
EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN**

Tutor académico:

Prof. Galo Ruíz.

Tutor industrial:

Ing. Enrique Cossé

Autores:

ABDUL HAMID, Omar

PÉREZ, Marlon

Jurado: Prof. Carlos Jiménez

Prof. Jorge Rey Lago

Valencia, Mayo de 2011



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



**EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE UN ADITIVO DEL LUBRICANTE EN LA
EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN**

Tutor académico:

Prof. Galo Ruíz

Tutor industrial:

Ing. Enrique Cossé

Autores:

ABDUL HAMID, Omar

PÉREZ, Marlon

Valencia, Mayo de 2011



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**



**EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE UN ADITIVO DEL LUBRICANTE EN LA
EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN**

*Trabajo especial de grado presentado ante la ilustre
Universidad de Carabobo para optar al
título de Ingeniero Electricista*

**ABDUL HAMID, Omar
PÉREZ, Marlon**

Valencia, Mayo de 2011



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado para estudiar el Trabajo Especial de Grado titulado: **“EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE UN ADITIVO DEL LUBRICANTE EN LA EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN”**, realizado por los bachilleres: Abdul Hamid H., Omar, C.I: 17.570.545 y Pérez C., Marlon X., C.I: 19.197.440, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo y que no nos hacemos responsables de su contenido, pero lo encontramos correcto en su forma y presentación.

Prof. Galo Ruíz
Presidente

Prof. Carlos Jiménez
Jurado

Prof. Jorge Rey Lago
Jurado

Valencia, Mayo de 2011

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios.

A nuestros padres y hermanos.

A nuestra familia y amigos.

Al ingeniero Galo Ruíz, nuestro tutor académico.

Al ingeniero Jorge Romero.

Al ingeniero Carlos Jiménez y demás profesores.

A los ingenieros Patrick Van De Wall, Enrique Cossé y Carlos Rojas.

A Mary Herrera y su familia.

A Carla Rosales.

A Subner Tirado, Leonardo Peña, Luis Ruiz y Pedro Hernández.

Omar Abdul Hamid H.

Marlon X. Pérez C.

RESUMEN

En el presente trabajo se proyectó la evaluación del impacto de un aditivo en la eficiencia de un sistema de refrigeración. Esto se llevó a cabo en dos unidades de refrigeración encargadas de climatizar el segundo piso del edificio principal de la empresa (Industrias Venoco). Se dividió la evaluación en dos períodos de tiempo, el primero estuvo enfocado a la elaboración de una base de datos para tener un historial acerca de la condición inicial de los equipos, para esto se realizó el registro y medición de variables específicas para determinar el trabajo del compresor, la capacidad de refrigeración del sistema, análisis de vibración y estudios físico-químicos del aceite en uso; el segundo período del trabajo de campo constituyó el mismo procedimiento de la etapa anterior pero con la incorporación del aditivo en las unidades de refrigeración. Entonces, a partir de la rigurosa observación y comparación de los resultados obtenidos en los análisis de aceites, estudios de vibración y el cálculo de los parámetros necesarios para determinar la eficiencia del sistema en las dos etapas de la evaluación, se logró llegar a las conclusiones globales de la investigación, entre las que se encuentra que después de agregar el aditivo se dió lugar a una reducción del trabajo del compresor, hecho que está íntimamente relacionado con un ahorro de consumo energético, además de observarse una disminución del movimiento vibratorio de la máquina.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I. EL PROBLEMA	
1.1. LA EMPRESA.....	2
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.3. OBJETIVOS.....	4
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	5
1.5. ALCANCE.....	6
1.6. LIMITACIONES.....	6
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	8
2.2 BASES TEÓRICAS.....	11
2.2.1. Ciclo de Carnot.....	11
2.2.2 Sistema de Refrigeración.....	13
2.2.3 Descripción del sistema de refrigeración.....	14
2.2.4 Ley de conservación de la energía.....	16
2.2.5 Código de limpieza ISO 4406.....	17
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.....	18
CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO	
3.1. NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	31
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	32
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN.....	33
3.4. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.....	34
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	
4.1. DEFINIR LAS VARIABLES A MEDIR QUE SON NECESARIAS PARA	42

LOGRAR UN ESTUDIO EXHAUSTIVO QUE PERMITA EVALUAR LA INFLUENCIA DEL ADITIVO EN EL SISTEMA.....	
4.2. MEDIR Y REGISTRAR LOS PARÁMETROS NECESARIOS PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD DE REFRIGERACIÓN Y EL TRABAJO DEL COMPRESOR DE DOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN ANTES Y DESPUÉS DE AGREGAR EL ADITIVO.....	48
4.3. MUESTREAR EL ACEITE UTILIZADO EN DOS UNIDADES DE REFRIGERACIÓN CON Y SIN ADITIVO, PARA LUEGO SOLICITAR SU ANÁLISIS DE ACIDEZ, VISCOSIDAD, CONTEO DE PARTÍCULAS, MISCIBILIDAD, FLUIDEZ Y METALES DISUELTOS EN EL LABORATORIO CENTRAL DE LA EMPRESA.....	49
4.4. DETERMINAR LA VIBRACIÓN EN LA PARED DEL COMPRESOR ANTES Y DESPUÉS DE AGREGAR EL ADITIVO.....	59
4.5. COMPARAR LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN CUANTO AL ANÁLISIS DE ACEITE, TRABAJO DEL COMPRESOR, CAPACIDAD DE REFRIGERACIÓN Y ESTUDIO DE VIBRACIÓN PARA EVALUAR LA INFLUENCIA DEL ADITIVO EN LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN.....	60
<i>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i>	
5.1. CONCLUSIONES.....	65
5.2. RECOMENDACIONES.....	66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67
APÉNDICE A.....	70
APÉNDICE B.....	75
APÉNDICE C.....	89
APÉNDICE D.....	104

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 3.1 Instrumento de recolección de datos para determinar la vibración en la pared del compresor.....	39
Tabla 3.2 Tabla comparativa de resultados.....	40
Tabla 3.3 Tabla comparativa de resultados (Código ISO).....	40
Tabla 3.4 Herramienta utilizada para llevar a cabo la comparación de los resultados obtenidos en cuanto a la fluidez de la mezcla virgen del aceite y aditivo con la norma COVENIN1926:1997.....	41
Tabla 4.1 Trabajo y capacidad de refrigeración de los compresores A y B antes de agregar el aditivo.....	48
Tabla 4.2 Trabajo y capacidad de refrigeración de los compresores A y B después de agregar el aditivo.....	49
Tabla 4.3 Análisis del aceite virgen y el aceite usado antes de agregar el aditivo.....	50
Tabla 4.4 Análisis del aceite después de agregar el aditivo.....	50
Tabla 4.5 Datos experimentales obtenidos para determinar la vibración en la pared del compresor (A) antes de agregar el aditivo.....	59
Tabla 4.6 Datos experimentales obtenidos para determinar la vibración en la pared del compresor (B) antes de agregar el aditivo.....	59
Tabla 4.7 Datos experimentales obtenidos para determinar la vibración en la pared del compresor (A) después de agregar el aditivo.....	59
Tabla 4.8 Instrumento de recolección de datos para determinar la vibración en la pared del compresor (B) después de agregar el aditivo.....	60
Tabla 4.9 Comparación de resultados (trabajo, capacidad, vibración).....	60
Tabla 4.10 Comparación de resultados (código ISO).....	62
Tabla A.1 Aceites lubricantes para compresores de refrigeración. Especificaciones de comportamiento.....	70
Tabla A.2 Aceites lubricantes para compresores de refrigeración. Requisitos físico-químicos.....	71

Tabla A.3 Propiedades del aire (sistema internacional).....	71
Tabla A.4 Propiedades del aire (sistema Ingles).....	72
Tabla A.5 Constantes B, C Y n. Para convección natural de aire Sistema Internacional.....	72
Tabla A.6 Tubos de cobre comercial tipo: K, L, M.....	73
Tabla A.7 Niveles de limpieza del aceite de acuerdo con la Norma ISO 4406....	73
Tabla A.8 Propiedades termofísicas de sólidos metálicos seleccionados.....	74
Tabla A.9 Datos típicos del aceite Suniso.....	74
Tabla B.1 Análisis de aceite del Suniso 4GS virgen.....	75
Tabla B.2 Análisis de aceite sin aditivo para el compresor A.....	77
Tabla B.3 Análisis de aceite sin aditivo para el compresor B.....	79
Tabla B.4 Análisis de aceite con aditivo para el compresor A.....	81
Tabla B.5 Análisis de aceite con aditivo para el compresor B.....	83
Tabla B.6 Segundo análisis de aceite con aditivo para el compresor A.....	85
Tabla B.7 Segundo análisis de aceite con aditivo para el compresor B.....	87
Tabla C.1 Datos experimentales obtenidos en la primera medición hecha en el compresor A antes de agregar el aditivo.....	89
Tabla C.2 Datos experimentales obtenidos en la primera medición hecha en el compresor antes de agregar el aditivo.....	89
Tabla C.3 Datos experimentales obtenidos en la segunda medición hecha en el compresor A antes de agregar el aditivo.....	90
Tabla C.4 Datos experimentales obtenidos en la segunda medición hecha en el compresor B antes de agregar el aditivo.....	90
Tabla C.5 Datos experimentales obtenidos en la tercera medición hecha en el compresor A antes de agregar el aditivo.....	91
Tabla C.6 Datos experimentales obtenidos en la tercera medición hecha en el compresor B antes de agregar el aditivo.....	91
Tabla C.7 Datos experimentales obtenidos en la cuarta medición hecha en el compresor A antes de agregar el aditivo.....	92
Tabla C.8 Datos experimentales obtenidos en la cuarta medición hecha en el compresor B antes de agregar el aditivo.....	92
Tabla C.9 Datos experimentales obtenidos en la quinta medición hecha en el compresor A antes de agregar el aditivo.....	93
Tabla C.10 Datos experimentales obtenidos en la quinta medición hecha en el compresor B antes de agregar el aditivo.....	93

Tabla C.11 Datos experimentales obtenidos en la sexta medición hecha en el compresor A antes de agregar el aditivo.....	94
Tabla C.12 Datos experimentales obtenidos en la sexta medición hecha en el compresor B antes de agregar el aditivo.....	94
Tabla C.13 Datos experimentales obtenidos en la séptima medición hecha en el compresor A antes de agregar el aditivo.....	95
Tabla C.14 Datos experimentales obtenidos en la séptima medición hecha en el compresor B antes de agregar el aditivo.....	95
Tabla C.15 Datos experimentales obtenidos en la primera medición hecha en el compresor A después de agregar el aditivo.....	96
Tabla C.16 Datos experimentales obtenidos en la primera medición hecha en el compresor B después de agregar el aditivo.....	96
Tabla C.17 Datos experimentales obtenidos en la segunda medición hecha en el compresor A después de agregar el aditivo.....	97
Tabla C.18 Datos experimentales obtenidos en la segunda medición hecha en el compresor B después de agregar el aditivo.....	97
Tabla C.19 Datos experimentales obtenidos en la tercera medición hecha en el compresor A después de agregar el aditivo.....	98
Tabla C.20 Datos experimentales obtenidos en la tercera medición hecha en el compresor B después de agregar el aditivo.....	98
Tabla C.21 Datos experimentales obtenidos en la cuarta medición hecha en el compresor A después de agregar el aditivo.....	99
Tabla C.22 Datos experimentales obtenidos en la cuarta medición hecha en el compresor B después de agregar el aditivo.....	99
Tabla C.23 Datos experimentales obtenidos en la quinta medición hecha en el compresor A después de agregar el aditivo.....	100
Tabla C.24 Datos experimentales obtenidos en la quinta medición hecha en el compresor B después de agregar el aditivo.....	100
Tabla C.25 Datos experimentales obtenidos en la sexta medición hecha en el compresor A después de agregar el aditivo.....	101
Tabla C.26 Datos experimentales obtenidos en la sexta medición hecha en el compresor B después de agregar el aditivo.....	101
Tabla C.27 Datos experimentales obtenidos en la séptima medición hecha en el compresor A después de agregar el aditivo.....	102
Tabla C.28 Datos experimentales obtenidos en la séptima medición hecha en el compresor B después de agregar el aditivo.....	102
Tabla C.29 Datos experimentales obtenidos en la octava medición hecha en el compresor A después de agregar el aditivo.....	103
Tabla C.30 Datos experimentales obtenidos en la octava medición hecha en el compresor B después de agregar el aditivo.....	103

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1 Diagrama P-V del Ciclo de Carnot invertido.....	12
Figura 2.2 Sistema de refrigeración.....	16
Figura 2.3 Calor transferido en un segmento cilíndrico.....	29
Figura 3.1 Herramienta de recolección de datos.....	35
Figura 4.1 Variación de la viscosidad con y sin aditivo para el compresor A.....	51
Figura 4.2. Variación de la viscosidad con y sin aditivo para el compresor B.....	51
Figura 4.3. Variación del número ácido con y sin aditivo para el compresor A...	52
Figura 4.4. Variación del número ácido con y sin aditivo para el compresor B...	52
Figura 4.5. Cantidad de hierro (Fe) con y sin aditivo para el compresor A.....	53
Figura 4.6. Cantidad de hierro (Fe) con y sin aditivo para el compresor B.....	53
Figura 4.7. Cantidad de Cobre (Cu) con y sin aditivo para el compresor A.....	54
Figura 4.8. Cantidad de Cobre (Cu) con y sin aditivo para el compresor B.....	54
Figura 4.9. Cantidad de Estaño (Sn) con y sin aditivo para el compresor A.....	55
Figura 4.10. Cantidad de Estaño (Sn) con y sin aditivo para el compresor B.....	55
Figura 4.11. Cantidad de Zinc (Zn) con y sin aditivo para el compresor A.....	56
Figura 4.12. Cantidad de Zinc (Zn) con y sin aditivo para el compresor B.....	56
Figura 4.13. Cantidad de Silicio (Si) con y sin aditivo para el compresor A.....	57
Figura 4.14. Cantidad de Silicio (Si) con y sin aditivo para el compresor B.....	57
Figura 4.15. Cantidad de Boro (B) con y sin aditivo para el compresor A.....	58
Figura 4.16. Cantidad de Boro (B) con y sin aditivo para el compresor B.....	58

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El aditivo ciertamente proporciona un ahorro energético ya que el trabajo de los dos equipos en estudio se redujo, indicando una mejora en la eficiencia mecánica del sistema la cual va de la mano con la eficiencia eléctrica.

El análisis de vibración arroja una disminución del movimiento vibratorio en el compresor, lo que se traduce en una mejora del desempeño mecánico del equipo.

Se obtuvo un efecto detergente y antidesgaste observando en los resultados del análisis de aceite la peptización de las partículas metálicas, efecto que se atribuye a ciertos elementos del aditivo como lo son el Zinc y el Boro, formando además una película lubricante en las piezas donde existe contacto metal-metal.

A través del análisis de aceite se determinó que el aceite en ambas unidades de refrigeración se encuentra en muy mal estado en cuanto a la acidez y el código de limpieza ISO 4406.

En el proceso del cálculo de la entalpía a la salida del condensador para estimar la capacidad de refrigeración, se manifestó el mal estado en que se encuentra dicho condensador no logrando el estado de vapor saturado a su salida.

Los resultados de esta investigación no pueden ser generalizados debido a la particularidad del estudio realizado.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda que se efectúe el cambio de aceite de las dos unidades de refrigeración lo antes posible, si dentro de la empresa se encuentran otras unidades que al igual que las estudiadas poseen el mismo tiempo del cambio se recomienda que también se les realice el cambio de aceite.

Se sugiere de ser posible para la empresa que antes de realizar el cambio de aceite se tome una muestra de cada equipo y se envíen a hacer los mismos análisis planteados en esta investigación para compararlos con los ya realizados y estudiar su tendencia.

En el caso de los condensadores es necesario que se implemente un plan de mantenimiento basado en frecuencia, ya que no hay evidencia de su existencia.

Se recomienda que la empresa realice el mismo estudio luego de efectuar el cambio de lubricante y el respectivo mantenimiento a los condensadores de las unidades de refrigeración, se sugiere que el lubricante sea completamente miscible con el aditivo además de ser compatible con el refrigerante R-22, y apoyarse en la metodología desarrollada en este proyecto.

Medir la potencia y el factor de potencia de los equipos a través de un método más exacto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Barbas, M (2010, mayo 19) Reducir en un 20% la factura eléctrica de climatización es posible. *Energías Renovables, especial energía*, p-3.
- [2] Bilbao, M y Málaga, Adolfo (2004, Abril) Contaje de partículas *Boletín mensual sobre lubricación y mantenimiento*, N° 3.
- [3] Clausius, R. (1850). *Annalen der Physik und Chemie* pp. 368-397, 500-524. Extraído el 13 de octubre desde <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k15164w/f384.table>.
- [4] Conservación de alimentos a bajas temperaturas (2003) Extraído el 13 de octubre de 2010 desde: http://www.quiminet.com/ar8/ar_bcBu-conservacion-de-alimentos-a-bajas-temperaturas.htm
- [5] Contenidos didácticos-Energía, (s.f.) Extraído el 13 de octubre de 2010 desde: http://energia3.mecon.gov.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/contenidos_didacticos/Energia.pdf
- [6] CORPOELEC (2010) *Ahorrar energía es tarea de todos y todas*. (publicado en la página web: www.mppee.gob.ve) Caracas: Ministerio del poder popular para la energía eléctrica.
- [7] Correa, S. Puerta, A y Restrepo, B (1996) *Investigación evaluativa Colombia*: ARFO Editores e impresores Ltda.
- [8] Díaz, G. Hernández, J. Velázquez, R. Ambrosio, A. (2005, diciembre). Desarrollo e implementación de estrategias enfocadas a la disminución del consumo de energía eléctrica en una empresa cervecera. *Impulso amarillo*, 1, 60-67.
- [9] Domínguez, M., García C. y Arias J. (2009) *Eficiencia energética en el campo del frío*. Extraído el 11 de julio de 2010 desde: <http://www.grupodominguezinstitutodelfrio.es/>
- [10] Domínguez, R (s.f.) *Ahorro Energético Integral* Extraído el 11 de julio desde: www.energianow.com
- [11] DuPont™ (2008) *Ficha de datos de seguridad Freón® 22* España.

- [12] Energía eléctrica (n.d) Extraído el 13 de octubre de 2010 desde:
http://www.electroindustria.com/energia_electrica.asp
- [13] Fidas G. Arias (1999) *El proyecto de investigación: Guía para su elaboración*. (3era ed.) Caracas: Epístome
- [14] Frigi-Tech EES (s.f) *Ahorro en A/C y refrigeración* Extraído el 11 de julio desde: www.energysolutionsystems.com
- [15] García, J (1995) *Cómo elaborar un proyecto de investigación*. España: Universidad de Alicante.
- [16] Grajales, T. (2000) *Tipos de investigación*. Extraído el 1 de agosto de 2010 desde: <http://tgrajales.net/investipos.pdf>
- [17] Incropera, F. (1999) *Fundamentos de transferencia de calor* (4ta ed) México: Prentice Hall.
- [18] Manual técnico del lubricante (n.d) Extraído el 13 de octubre de 2010 desde:
<http://www.es.total.com/es/content/NT00004A9E.pdf>
- [19] Martínez, P. (s.f) Energía mecánica Extraído el 13 de octubre de 2010 desde
http://platea.pntic.mec.es/pmarti1/educacion/trabajo_glosario/energia_mecanica/energia_mecanica.htm
- [20] Mujica, V (1999) *Balance de energía utilizable y rendimiento exergético en un ciclo de refrigeración por compresión de vapor*. Trabajo de ascenso no publicado.
- [21] Nosotros, Industrias Venoco C.A.-Misión, visión y valores (n.d) Extraído el 5 de julio de 2010 desde:
http://www.venoco.com/noticias.asp?id=389&co_clasif_pub=16&id_segmento=&id_linea=1.
- [22] Shrieve Products International Limited (2009) *Mejorador del lubricante para equipos de climatización estacionarios ZEROL[®] ICE*. Houston: USA.
- [23] Sine, J. (2005). *Solving Excess Oil Problems*. Extraído el 11 de Julio de 2010 desde:
http://www.achrnews.com/Articles/Feature_Article/d823a8fcd9f5a010VgnVCM100000f932a8c0
- [24] Smith, J. Van Ness, H y Abbott, M (1996) *Introducción a la termodinámica en Ingeniería Química* (5ta ed) México: McGraw Hill.

[25] Van Wylen (2007) *Fundamentos de termodinámica* (2da ed.) México: Limusa-Wiley.

[26] Villanueva, R (2003) *Refrigerantes para aire acondicionado y refrigeración* España: Club Universitario.

[27] Yunus C. (2003) *Termodinámica*. México: McGraw-Hill.

[28] Zalbarracín, P (2002) *La rugosidad en el desgaste de los mecanismos lubricados*. Medellín: Universidad de Antioquia.

[29] Programa de eficiencia energética regional. Extraído el 13 de octubre de 2010 desde: <http://www.bun-ca.org/>