PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL LÍQUIDO REFRIGERANTE AUTOMOTRIZ FABRICADO POR LA EMPRESA ECOQUIMICOS

JENNY LIZBETH GONZÁLEZ CLAVIJO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA

BOGOTÁ D.C

2017

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL LÍQUIDO REFRIGERANTE AUTOMOTRIZ FABRICADO POR LA EMPRESA ECOQUIMICOS

JENNY LIZBETH GONZÁLEZ CLAVIJO

Proyecto integral de grado para optar al título de:

INGENIERO QUÍMICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA

BOGOTÁ D.C

2017

Nota de aceptación

Jurado Orientador: Edgar F. Moreno

Jurado 2: Elizabeth Torres

Jurado 3: Nubia Becerra

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro.

Dr. JAIME POSADA DÍAZ

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos.

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectora Académica y de Posgrados.

Dra. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS

Secretario General.

Dr. JUAN CARLOS POSADA GARCÍA-PEÑA

Decano Facultad de Ingenierías.

Ing. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI

Director Programa de Ingeniería Química.

Ing. LEONARDO DE JESÚS HERRERA GUTIERREZ

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo de docentes no son responsables por los criterios ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

DEDICATORIA

Quiero agradecer a Dios por brindarme la oportunidad de culminar esta etapa de la vida. A mi MAMÁ quién me ha acompañado en cada proceso, que me brindó la oportunidad de crecer profesionalmente, por su apoyo y ayuda en todo momento.. A mi esposo quién ha sido mi roca y fortaleza, por su colaboración, interés y amor incondicional. A mis hijos que son mi motor, mis ganas de ser cada día mejor persona y por quién quiero que se sientan orgullosos. A mi abuelita, hermano y tíos quiénes están ahí para verme cumplir mis sueños

Jenny Lizbeth González Clavijo.

AGRADECIMIENTOS

La autora de este proyecto de grado quiere manifestar su agradecimiento a:

Lo más importante Dios, por brindarme la sabiduría necesaria durante la elaboración de este proyecto de grado, porque de la mano con él todo es posible.

A mis padres, por brindarme la posibilidad de obtener un título profesional, con cariño, amor y apoyo incondicional.

A mi esposo e hijos, por darme fortaleza, soporte y apoyo incondicional en este proceso.

A la empresa Ecoquímicos, por darme la oportunidad de ser parte de su empresa y poder colaborar en este proyecto, por todo el apoyo que recibí de su parte, materiales y personal para llevar a cabo el desarrollo de este.

A la Universidad de América, por formarnos como ingenieros y darnos las bases para desarrollar el proyecto.

Y a todas las personas que de una u otra forma colaboraron para que el desarrollo de este proyecto fuera posible su realización.

CONTENIDO

pág.

INTRODUCCIÓN 18

OBJETIVOS 19

1.GENERALIDADES DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN AUTOMOTRÍZ 20
1.1 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO 20
1.2 LÍQUIDO REFRIGERANTE 21
1.3 MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS EN LA FABRICACIÓN 22
1.3.1 Agua Desmineralizada 22
1.3.1.1 Compuestos comunes en el agua 22
1.3.1.2 Propiedades del agua 23
1.3.2 Etilenglicol 24
1.3.3 Inhibidores de corrosión 25
1.3.4 Antiespumante 28
1.3.5 Colorantes 29
1.4 PRINCIPALES PROBLEMAS DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO 29
1.4.1 Corrosión 29
1.4.1.1 Picaduras 29
1.4.1.2 Resistencia a la corrosión de varios metales 30
1.4.1.3 Cavitación 31
1.4.2 Ensuciamiento y formación de escamas dentro de los Intercambiadores de calor 31
1.4.3 Incrustaciones 32
1.4.3.1 Factores que afectan la formación de incrustaciones 33
1.5 ÍNDICES DE ESTABILIDAD 33
1.5.1 Índice de Langelier 33

2. DESARROLLO DEL TRABAJO 37
2.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA 37
2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ACTUAL 37
2.3 DIAGRAMA DE PROCESO ACTUAL 38
2.4 CARACTERIZACIÓN MATERIAS PRIMAS 39

3. PLANTEAMIENTO DE MEJORA 42
3.1 ALTERNATIVA DE MEJORA 42
3.2 PRUEBAS DE LABORATORIO PARA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LOS REFRIGERANTES. 43
3.2.1 Determinación de la temperatura de ebullición 43

3.2.2 Determinación del pH 44
3.2.3 Determinación de la reserva alcalina 45
3.2.4 Determinación de la gravedad específica 46
3.2.5 Determinación del contenido de agua y etilenglicol 46
3.2.6 Determinación de la tendencia a formar espuma 49
3.2.7 Determinación de la corrosividad 51
3.3 MUESTRA DE CÁLCULO 52
3.3.1 Determinación de los índices de estabilidad 52
3.3.2 Cálculo de la capacidad calorífica para distintas concentraciones de etilenglicol. 53
3.3.3 Determinación del % de etilenglicol de los refrigerantes estudiados 54
3.4 SELECCIÓN DE PRODUCTO 55
3.3.1 Análisis de la caracterización del agua utilizada en la fabricación del líquido refrigerante 55

4. ANÁLISIS DE COSTOS 58
4.1 COSTOS DE MATERIAS PRIMAS 58
4.2 COSTOS DE MEJORA DEL PRODUCTO 58
4.3 COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN 59
4.4 COSTOS DE PRODUCCIÓN 59

5. CONCLUSIONES 61

6. RECOMENDACIONES 62

BIBLIOGRAFÍA 63

ANEXOS 65

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Clasificación del agua de acuerdo a su dureza y al contenido de sólidos disueltos.	23
Tabla 2. Valores de características del agua desmineralizada.	24
Tabla 3. Propiedades físicas y químicas del etilenglicol.	25
Tabla 4. Constantes de estabilidad Langelier.	35
Tabla 5. Componentes y propiedades del agua utilizada en la fabricación del líquido refrigerante.	39
Tabla 6. Caracterización del etilenglicol.	40
Tabla 7. Caracterización de Antiespumante Siliconado.	40
Tabla 8. Propiedades Colorantes.	41
Tabla 9. Mezclas a evaluar	43
Tabla 10. Temperatura de ebullición de los refrigerantes estudiados.	44
Tabla 11. Valores obtenidos de pH para los refrigerantes estudiados	45
Tabla 12. Volúmenes de HCl 0,1*N* gastado en cada mezcla estudiada	45
Tabla 13. Gravedad específica de las mezclas estudiadas	46
Tabla 14. Gravedad específica para cada dilución de etilenglicol	47
Tabla 15. % v/v de etilenglicol de las mezclas estudiadas	48
Tabla 16. Capacidades caloríficas para las mezclas estudiadas	49
Tabla 17. Nivel de espuma alcanzado y tiempo de ruptura para cada muestra	50
Tabla 18. Valores de masa obtenidos para diferentes láminas en la prueba de corrosión.	52
Tabla 19. Variación de la masa (mg) para diferentes láminas en la prueba de corrosión.	52
Tabla 20. Capacidad calorífica para distintos porcentajes de etilenglicol.	54
Tabla 21. Parámetros físicos según Norma Técnica Colombiana NTC 3614 para líquido refrigerante automotriz.	56
Tabla 22. Matriz de evaluación para la selección del producto	56
Tabla 23. Costo de los compuestos Químicos.	58
Tabla 24. Costo de producción mezcla B	59
Tabla 25. Costos indirectos de fabricación	59
Tabla 26. Comparación diferentes líquidos refrigerantes	60

LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Obstrucción de camisa por lodo 32
Figura 2. Diagrama de proceso de producción de líquido refrigerante automotriz 38

LISTA DE GRÁFICAS

pág.

Gráfica 1. Curva de calibración % v/v de etilenglicol vs Gravedad Específica. 47
Gráfica 2. Punto de congelación para soluciones acuosas de etilenglicol. 48
Gráfica 3. Curva de calibración % cp. cal/g°C vs % v/v de etilenglicol. 54

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Ecuación química etilenglicol	24
Ecuación 2. Índice de Langelier	35
Ecuación 3. Índice de Ryznar	35
Ecuación 4. Índice Saturación Langelier	35
Ecuación 5. Capacidad calorífica de un fluido	53
Ecuación 6. Pendiente de una recta	55
Ecuación 7. Punto pendiente de una recta	55

LISTA DE ANEXOS

pág.

Anexo A. Caracterización Agua desmineralizada	66
Anexo B. Caracterización Etilenglicol	67
Anexo C. Caracterización Antiespumante Siliconado	68
Anexo D. Caracterización Colorante	69
Anexo E. Caracterización Silicato de Aluminio	70
Anexo F. Caracterización Tolitriazol	71

GLOSARIO

ABRASIVO: es una sustancia que tiene como finalidad actuar sobre otros materiales con diferentes clases de esfuerzo mecánico, es de elevada dureza y se emplea en todo tipo de procesos, industriales y artesanales.

ANTICONGELANTE: compuestos que se le agregan a los líquidos para reducir su punto de solidificación, logrando que esta mezcla se congele a una temperatura más baja.

ANTICORROSIVO: compuesto que sirve para proteger una superficie de un proceso de degradación llamado corrosión.

AGUA DURA: es aquella que contiene un alto nivel de minerales, en particular sales de magnesio y calcio.

CAVITACIÓN: es un efecto hidrodinámico que se produce cuando el agua o cualquier otro fluido en estado líquido pasa a gran velocidad por una arista afilada, produciendo una descompresión del fluido debido a la conservación de la constante de Bernoulli. Puede ocurrir que se alcance la presión de vapor del líquido de tal forma que las moléculas que lo componen cambian inmediatamente a estado de vapor, formándose burbujas las cuales viajan a zonas de mayor presión e implosionan produciendo una estela de gas y un arranque de metal de la superficie en la que origina este fenómeno.

CORROSIÓN: deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno. La corrosión es una reacción química (oxido reducción) en la que intervienen tres factores: la pieza manufacturada, el ambiente y el agua, o por medio de una reacción electroquímica.

DENSIDAD: es una magnitud escalar referida a la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia.

LIQUIDO REFRIGERANTE: es un producto químico líquido o gaseoso, fácilmente licuable, que es utilizado como medio transmisor de calor entre otros dos en una máquina térmica.

LUBRICANTE: es una sustancia que, colocada entre dos piezas móviles, no se degrada, y forma asimismo una capa que impide su contacto, permitiendo su movimiento incluso a elevadas temperaturas.

RADIADOR: dispositivo que permite intercambiar calor entre dos medios, siendo uno de ellos, el aire ambiente. Sirve para disipar calor de un objeto o aparato para evitar su sobrecalentamiento o para aprovecharlo, calentando un espacio o un

objeto. Generalmente trabaja por convección, pero también por radiación, a lo que debe su nombre. Se entiende por este nombre al intercambiador de calor que cede o, en ciertos casos, recibe, el calor al o del aire ambiente.

TERMOSTATO: es el componente de un sistema de control simple que abre o cierra un circuito eléctrico en función de la temperatura, controlan el flujo del líquido refrigerante que regresa al radiador dependiendo de la temperatura del motor.

RESUMEN

Dentro del siguiente trabajo de grado se tuvo como objetivo principal desarrollar la propuesta de mejoramiento de producción de líquido refrigerante automotriz fabricado por ECOQUIMICOS. Para cumplir dicho objetivo se establecieron los siguientes Objetivos específicos: determinar las características físicas y químicas de los componentes utilizados en el proceso de fabricación de líquido refrigerante automotriz; evaluar alternativas de mejora en la producción de líquido refrigerante automotriz y desarrollar el análisis de costos del proyecto en la elaboración del líquido refrigerante automotriz.

La empresa ECOQUIMICOS fabrica 24000 litros mensuales de líquido refrigerante, el cual es comercializado principalmente en la ciudad de Bogotá y algunas ciudades del territorio nacional, sus principales clientes son talleres de radiadores, talleres de mecánica automotriz, centro de lubricación automotriz y estaciones de servicio, su producto COOLMAX actualmente se fabrica con una concentración del 9% de etilenglicol y sin utilizar inhibidores anticorrosivos, afectando su calidad y el no cumplimiento de la norma establecida NTC 3614.

Este documento empieza una breve descripción del sistema de enfriamiento automotriz y sus generalidades, luego con la caracterización de los diferentes componentes tales como el agua desmineralizada, etilenglicol, antiespumante y colorante, en donde se evaluaron los parámetros de cada uno de estos, para así realizar la formulación de tres mezclas como alternativas de mejora, así como la estandarización de una línea de producción rentable que cumpla los requerimientos normativos establecidos para su fabricación y uso, para poder entrar a competir en el mercado donde existen preferencias por los productos importados por su calidad.

Para la determinación de los diferentes parámetros físico-químicos de las mezclas se realizó una serie de pruebas a nivel laboratorio tales como pH, reserva alcalina, temperatura de ebullición, gravedad específica, % v/v etilenglicol, tendencia a formar espuma y corrosividad, esto para así seleccionar la mezcla que cumpla con la normatividad requerida, que se rija con las regulaciones vigentes para el cuidado y aseguramiento del buen funcionamiento de un refrigerante automotriz.

Finalmente se realizó un análisis de costos evaluando los costos de las materias primas y de cada una de las mezclas, se comparó la mezcla seleccionada y otras que son vendidas en el mercado, donde se determinó si era económicamente rentable y competitivos ante otros refrigerantes.

PALABRAS CLAVES: Líquido refrigerante, anticongelante, corrosión, cavitación, radiador, transferencia, viscosidad.

INTRODUCCIÓN

El empleo creciente de los líquidos refrigerantes en los automotores hace que se genere la necesidad de fabricar productos con los estándares más altos de calidad, ya que desafortunadamente las grandes compañías no confían en los productos nacionales por ser estos agresivos con las partes tanto plásticas como metálicas de los motores al usar componentes altamente corrosivos e inapropiados.

El líquido refrigerante es utilizado, principalmente, para obtener mayor rendimiento en el motor evitando su recalentamiento, además de refrigerar también es un anticorrosivo para el radiador y un gran lubricante para las partes que componen el motor del automotor

La falta de concientización tanto en los usuarios dueños de automóviles como en la de los dueños de talleres, centros de lubricación, entre otros, acerca del uso de un buen producto refrigerante que no cause daños en el sistema de refrigeración y en las partes anexas del radiador, hace que no se tenga claro que tipo de líquido refrigerante usar y por ende se haga más extenso el uso del agua como refrigerante sin saber que este conlleve a problemas más graves como corrosión y formación de lodos en el interior del sistema de enfriamiento

La búsqueda de diferentes alternativas por mejorar los estándares de calidad y abrir mercado en grandes compañías, han llevado a Ecoquímicos a buscar nuevas formas para mejorar el proceso de producción, especialmente en la compra de equipos que optimicen y agilicen el proceso, además, el uso de componentes adecuados que den cumplimiento de normas establecidas para la fabricación de este tipo de estos productos.

En la mayoría de los casos los fabricantes nacionales no cuentan con procesos estandarizados ni cumplimientos de las regulaciones vigentes para el cuidado y aseguramiento del funcionamiento de un buen refrigerante automotriz, causando serios daños en el motor de los autos lo que conlleva al consumo de productos importados.

A continuación, a lo largo de este trabajo de grado, se presenta la propuesta generada para Ecoquímicos. con el fin de dar cumplimiento a lo requerido por la norma.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar la propuesta de mejoramiento de producción de líquido refrigerante automotriz fabricado por ECOQUIMICOS.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar las características físicas y químicas de los componentes utilizados en el proceso de fabricación de líquido refrigerante automotriz.

2. Evaluar alternativas de mejora en la producción de líquido refrigerante automotriz.

3. Desarrollar el análisis de costos del proyecto en la elaboración del líquido refrigerante automotriz.

1. GENERALIDADES DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN AUTOMOTRÍZ

La importancia del sistema de refrigeración puede explicarse con las tres funciones que cumple, todas vitales para el buen desempeño de los automóviles: calentar rápidamente el motor cuando está frío; dispersar el exceso de calor y mantener una temperatura apropiada para un funcionamiento correcto. El líquido refrigerante es un aditivo que no solo enfría el mecanismo, sino que también lubrica las partes del propio sistema y las mantiene libres de óxido.

1.1 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

El sistema de enfriamiento es un sistema constituido de partes y refrigerante que trabajan juntos para controlar la temperatura de operación del motor y obtener un óptimo desempeño. El sistema tiene conductos dentro del monoblock y cabezas del motor, una bomba de agua y la banda que la impulsa para que circule el refrigerante, un termostato para controlar la temperatura del refrigerante, un radiador para enfriar el refrigerante, un tapón de radiador para mantener la presión en el sistema y mangueras para conducir el refrigerante del motor al radiador.

El líquido que fluye a través del sistema refrigerante, anticongelante o comúnmente referido como refrigerante, soporta temperaturas extremas de calor y frío, contiene inhibidores de corrosión y lubricantes para mantener el sistema trabajando en óptimas condiciones.

El refrigerante inicia su circulación en la bomba de agua. El impulsor de la bomba de agua utiliza la fuerza centrífuga para hacer circular refrigerante del radiador e impulsarlo al monoblock del motor. Las bombas usualmente son impulsadas por la banda de tiempo o cadena de tiempo. Ahora en día, inclusive hay bombas impulsadas por electricidad. Si la bomba de agua experimenta una fuga por el sello, una fractura en el cuerpo, un impulsor roto o un mal funcionamiento del balero, esto podrá afectar todo el sistema refrigerante ocasionando que el vehículo se sobre-caliente.

Mientras que el refrigerante fluye por el sistema, absorbe el calor del motor antes de llegar al termostato. El termostato es una válvula que mide la temperatura del refrigerante y abre para permitir que el fluido caliente viaje al radiador. Si el termostato se ‘pega’ o deja de funcionar, afectará todo el sistema refrigerante.

Una vez que es liberado por el termostato, el refrigerante caliente viaja dentro de una manguera para ser enfriado en el radiador. El refrigerante pasa a través de tubos delgados en el radiador y se enfría con el aire que pasa por fuera de los tubos. Dependiendo de la velocidad del vehículo, el flujo de aire es proveído

durante el rodaje por el movimiento del mismo (entrada del aire a presión) y / o los ventiladores.

Mientras que la temperatura de refrigerante se incrementa, también se incrementa la presión en el sistema de enfriamiento. Esta presión es regulada por el tapón del radiador. Se requiere de una presión correcta en el sistema para asegurar una correcta lubricación del sello. El punto de ebullición del refrigerante se incrementa al incrementarse la presión en el sistema refrigerante. Por cada libra por pulgada cuadrada que se incrementa la presión en el sistema refrigerante, el punto de ebullición incrementa 3°F. Si la presión incrementa por arriba de un punto específico, una válvula con un resorte comprimido abrirá y liberará la presión.

1.2 LÍQUIDO REFRIGERANTE

Es el encargado de absorber el exceso de calor generado en el motocompresor y debe cumplir con lo siguiente:

- Enfriar eficientemente el motor y compresor.
- Proteger contra la congelación.
- Proteger contra la ebullición.
- Proteger contra la corrosión.

Si se utiliza agua en el sistema de enfriamiento debe poseer ciertas propiedades que le permitan mantener la temperatura de las diferentes partes mecánicas en valores apropiados durante su funcionamiento, y no ocurra la fractura de alguna de estas partes, debido a incrementos de temperatura que debiliten su resistencia.

El agua del sistema de enfriamiento, debe ser destilada y debe poseer las siguientes características:[1]

- No debe estar contaminada con materia orgánica (aceite, hojas, bacterias, hongos, entre otros).
- Tampoco debe estar contaminada con gases como oxígeno, dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno, los cuales aceleran la corrosión si no son ventilados adecuadamente.
- Carbonato de calcio ($CaCO_3$), sulfato de calcio ($CaSO_4$) y silica (SiO_2), son depósitos no deseables en el agua del sistema de enfriamiento, pero que generalmente se encuentran presentes en el sistema. Como regla general 0,025 pulgadas (0,6 mm) de incrustaciones puede reducir en un 30% la transferencia de calor.

[1] PDVSA. Mejoramiento de la Calidad del Agua de Enfriamiento de Compresores. Distrito Anaco, 1995.

- Para evitar la formación de costras en el enfriador de agua, en el bloque del motor o en las tuberías, el agua debe contener una onza de polifosfato por cada 100 galones de agua.
- Debe contener por lo menos 200 g de cromato de sodio por cada galón de agua.
- No se debe permitir una cantidad de impurezas superior a 200 ppm.

1.3 MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS EN LA FABRICACIÓN DEL LÍQUIDO REFRIGERANTE AUTOMOTRIZ

1.3.1 Agua desmineralizada. Es aquella que es usada en múltiples aplicaciones como refrigeración, producción de vapor, lavaderos, producción de aguas gaseosas, industria de la alimentación, electrónica, farmacéutica, agua de mesa, etc.

El fin de los tratamientos que se le dan al agua del grifo es eliminar las impurezas, sales minerales o material orgánico para evitar la formación de incrustaciones sobre las superficies que entran en contacto con el agua, proteger contra la corrosión los metales de los equipos y tuberías, entre otros.

- Este tipo de agua está libre de cloruro, sales y otros residuos orgánicos. Al no poseer estos restos tampoco pueden originarse microorganismos contaminantes.
- El aspecto del agua desmineralizada es el de un líquido transparente, sin color.
- El proceso de intercambio iónico por el que se obtiene la desmineralización del agua es producido por resinas, esto elimina las sales que contiene el agua casi a su totalidad.
- Por sus características, el agua desmineralizada afecta de forma negativa a los metales por eso debe ser contenida en recipientes y envases de plásticos.

1.3.1.1 Compuestos comunes en el agua. Carbonato de calcio: es la incrustación más común presente en los sistemas de enfriamiento, ya que se produce por efecto de la reversión del bicarbonato de calcio, debido a un incremento de la temperatura. A altas temperaturas, el calcio, debido a su tendencia a precipitarse como $CaCO_3$, puede representar un problema en los sistemas de enfriamiento.

- Sílice. La solubilidad de la sílice aumenta cuando la temperatura y el pH aumentan.
- Óxido de hierro. El hierro en forma ferrosa es totalmente soluble, el problema se presenta cuando en un medio saturado de oxígeno, como el agua de un sistema de enfriamiento recirculante abierto, el hierro se oxida, o cuando al sistema se le agrega un agente oxidante fuerte como el cloro, el hierro se oxida a Fe_2O_3 y posteriormente como $Fe(OH)_3$, es insoluble, se precipita y forma incrustaciones.

Los depósitos de hierro se caracterizan por ser de color rojizo, y cuando se mezclan con otros compuestos, toma un color rojo oscuro.

1.3.1.2 Propiedades del agua. El agua desmineralizada o el agua semi es el agua a la cual se le quitan los minerales y las sales. Se utiliza cuando se requiere agua con bajo contenido en sal o baja conductividad.

Para cada uso se utiliza una conductividad específica, las partículas son solidificadas y pueden ser filtradas fácilmente, dando, así como resultado un agua pura y limpia, con características similares al agua destilada. Sin embargo, siempre seguirá habiendo una cierta conductividad, debido al equilibrio ácido/básico del agua. El agua desmineralizada de mejor calidad tiene una resistencia de aproximadamente 18,2 megohmios por centímetro o una conductividad de 0,055 micro Siemens por centímetro. Respecto a la calidad del agua, se utilizan las siguientes propiedades para medirla:

- Dureza (sales de Ca^{++} y Mg^{++} expresadas como $CaCO_3$).
- Alcalinidad (expresada como $CaCO_3$).
- pH.
- Sílice.
- Sólidos disueltos.
- Sólidos suspendidos.
- Sólidos totales (disueltos más suspendidos).

Para efectos de clasificar la calidad del agua por su dureza (como $CaCO_3$), o sólidos totales disueltos, se emplea la siguiente estructura.

Tabla 1 Clasificación del agua de acuerdo a su dureza y al contenido de sólidos disueltos[2]

Dureza como $CaCO_3$	**Parte por millón por peso**
Suave	0 – 60
Moderadamente dura	61 – 120
Dura	121 – 180
Muy dura	Más de 180
Sólidos totales disueltos	**Parte por millón por peso**
Fresca	0 – 1.000
Solubre	1.000 – 10.000
Salada	10.000 – 100.000
Salmuera	Más de 100.000

Fuente: Tratamiento químico del agua.

[2] LIPESA. Tratamiento Químico del Agua. Editorial Impregraf, Caracas, 1998.

En la mayoría de las aguas crudas, la dureza está presente como $CaCO_3$ y es el tipo de dureza llamada temporal, pues se elimina al llevar al agua hasta su punto de ebullición.

La calidad del agua de refrigeración depende del tipo de cambiador de calor o del motor que se quiera refrigerar. En general, los valores deberían ser aproximadamente los siguientes:

Tabla 2. Valores de características del agua desmineralizada[3]

Sólidos Suspendidos	N.D
Conductividad	0-8,0 uS/cm
Dureza	80 dH max
PH	7.8
C02 Agresivo	N.D
Hierro	N.D
Manganesio	N.D
Sulfatos	N.D
Cloruros	< 250 mg/L
DQO	< 40 mg/L
Bacterias	< 1000

Fuente: Tratamiento químico del agua.

1.3.2 Etilenglicol. El etilenglicol es un compuesto químico que pertenece al grupo de los dioles, es un líquido transparente, incoloro, ligeramente espeso como el almíbar y leve sabor dulce. Por estas características organolépticas se suele utilizar distintos colorantes para reconocerlo y así disminuir las intoxicaciones por accidente. A temperatura ambiente es poco volátil, pero puede existir en el aire en forma de vapor.

Se utiliza como anticongelante en los circuitos de refrigeración de motores de combustión interna por su elevado punto de ebullición (197 °C) y un punto de fusión de aproximadamente -12 °C. Se mezcla con agua en cualquier proporción.

Se produce a partir de etileno, mediante el compuesto intermedio óxido de etileno. El óxido de etileno reacciona con agua produciendo etilenglicol según la siguiente ecuación química

Ecuación 1

$$C_2H_4O + H_2O \rightarrow HOCH_2CH_2OH$$

[3] LIPESA. Tratamiento Químico del Agua. Editorial Impregraf, Caracas, 1998.

Esta reacción puede ser catalizada mediante ácidos o bases, o puede ocurrir en un pH neutro a temperaturas elevadas. La mayor producción de etilenglicol se consigue con un pH ácido o neutro en presencia de abundante agua. Bajo estas condiciones, se puede obtener una productividad del 90%.

Tabla 3. Propiedades físicas y químicas del etilenglicol[4]

Propiedades físicas	
Apariencia	Incoloro
Densidad	1116 kg/m^3; 1.116 g/cm^3
Masa molar	62,068 g/mol
Punto de fusión	260 K (-13 °C)
Punto de ebullición	470 K (197 °C)
Viscosidad	1.61 x 10-2 Pa·s^2

Fuente: Tratamiento químico del agua.

1.3.3 Inhibidores de corrosión. Hay dos modos diferentes por los que la corrosión puede hacer fallar el sistema de refrigeración. El primero es el desgaste corrosivo que debilita el metal lo suficiente para producir fallas mecánicas, tales como perforaciones y fugas del refrigerante.

El segundo es la formación de bloqueos en el paso del líquido, a causa de partículas y pedazos de metal corroído. Esto conduce a la reducción del flujo de líquido y al sobrecalentamiento del motor.

Las fallas por corrosión ocurren frecuentemente en los radiadores y las bombas de agua. [5]En los radiadores las perforaciones suelen estar acompañadas con gran cantidad de partículas de metal corroído que taponan los conductos y hasta los mismos agujeros que se han producido. En las bombas de agua, la corrosión causa la reducción de flujo de líquido, fugas y, en casos extremos, la fractura de la bomba.

Otra consideración sobre la corrosión en motores de combustión interna es su relación con el flujo de calor. El metal que está cediendo calor tiene una tasa de corrosión más alta que el metal que lo está absorbiendo. El mayor ejemplo de metal cediendo calor es el bloque de cilindros cuando transfiere su calor al líquido refrigerante.

[4]PHILIP S. BAILEY,CHRISTINA A. BAILE, Química orgánica, conceptos y aplicaciones [en línea] <https://www.textoscientificos.com/quimica/etilenglicol>[citado en 1998]

[5]G. FIELDSON, Fluidos en refrigerantes de combustión interna [en línea] <http://www.lubtechnology.com/pdf >

Existe un cierto número de metales diferentes presentes en los sistemas de refrigeración de los automotores. Los más comunes son acero, hierro, cobre, bronce, aluminio y soldadura de estaño. En términos generales, la corrosión es prevenida por la formación de un filme estable en las superficies metálicas. Este filme se forma por productos de la misma corrosión, como cuando el aluminio se expone al aire, o por la absorción de algún otro químico como los silicatos.

El potencial corrosivo de los metales es el resultado de muchos factores que compiten entre sí. Los dos más importantes son el potencial de electrodo, que indica la tendencia del metal a oxidarse, enfrentado a la dureza y estabilidad de la capa protectora de la superficie. Los metales más fáciles de corroer en un motor son el aluminio y el estaño.

La falla más importante de los radiadores ocurre cuando se corroe la soldadura entre el cuerpo y las tapas del radiador. Dependiendo de la técnica de construcción, este puede ser un problema tremendo.

Existe una variedad de compuestos químicos que se agregan a los refrigerantes para inhibir la corrosión. Bien llamados inhibidores, la función de estos aditivos es formar una capa protectora estable sobre las superficies de metal, y además modificar las propiedades de solubilidad del refrigerante. Francamente el mecanismo preciso de protección de algunos aditivos no es totalmente conocido, y adicionalmente, los aditivos de la mayoría de los productos comerciales son de tecnología propietaria. Afortunadamente, publicaciones en los últimos años han aportado mucha información sobre los principales inhibidores en uso.

Los inhibidores de corrosión más comunes, incluyen: fosfato de sodio, nitrato de sodio, tolitriazol de sodio, molibdato de sodio, borato de sodio, benzoato de sodio y silicato de sodio. Nótese que todos estos son sales de sodio[6]. Sólo el componente izquierdo de estas sales es el inhibidor (fosfato, benzoato, silicato, etc.). Estas sales se disocian en el agua, o sea que se separan en sodio con carga positiva y el inhibidor con carga negativa. Se usan sales de sodio por la alta solubilidad del sodio; nunca se verán depósitos de sodio en un motor (con excepción, por supuesto, del sodio líquido incluido por diseño dentro del vástago de válvulas de alta performance para el enfriamiento de la cabeza de la válvula).

Distintos inhibidores protegen distintos metales. Los datos muestran que la corrosión por transferencia de calor en el aluminio es mejor inhibida por los silicatos y en menor grado por los fosfatos y boratos. La corrosión del cobre es mejor inhibida por los molibdatos y en menor grado por los benzoatos; las soldaduras de estaño de alta se protegen más por molibdatos y fosfatos y menos

[6] G. FIELDSON, Fluidos en refrigerantes de combustión interna [en línea] <http://www.lubtechnology.com/pdf >

por nitratos, silicatos y benzoatos; las soldaduras de estaño de baja están mejor protegidas con los tolitriazoles y molibdatos y menos por los nitratos y silicatos; el acero se proteges mejor con fosfatos, molibdatos, y nitratos y peor con los tolitriazoles y benzoatos; el hierro esta mejor protegido con los nitratos y menos por benzoatos, tolitriazoles y boratos.

Los inhibidores más comunes encontrados son[7]:

- Fosfato es el inhibidor más común y también el más discutido. Es muy conocido como inhibidor en los metales ferrosos. Fabricantes americanos de autos han especificado el fosfato en los refrigerantes porque es altamente efectivo evitando la cavitación. Los fabricantes europeos especifican refrigerantes sin fosfatos porque tienen propensión a precipitar en aguas duras. También tienen un efecto negativo en la tasa de corrosión del aluminio. Los efectos benéficos tienen su pico en concentraciones de 3 g/l y bajan a más bajas y más altas concentraciones. Concentraciones típicas van de 0 a 8 g/l.

- Nitrato es incluido en todas las formulas por su eficacia en la prevención del picado de los radiadores de aluminio, sin ningún efecto negativo con el resto de los metales. Una concentración típica es 2 g/l.

- Tolitriazol es similarmente incluido en todas las formulas por su efectividad en prevenir la corrosión en el cobre. Una concentración típica es 1 g/l.

- Molibdato es un aditivo ampliamente benéfico. Previene la corrosión de muchos metales y actúa en sinergia con fosfatos y silicatos para prevenir la corrosión en otros. El molibdato también parece prevenir la cavitación; se lo selecciona usualmente para tener esta función en refrigerante sin fosfatos. Concentraciones típicas son de 2 a 3 g/l.

- Borato es usado comúnmente como refuerzo. Los refrigerantes americanos tienen un pH de 10 o más, mientras que los europeos tienen de 7 a 8.5. En servicio, los refrigerantes americanos bajan a 8. Desafortunadamente los boratos tienen un efecto directo y negativo en la corrosión del aluminio. Una concentración típica es 4 g/l.

- Benzoato (y Nitrito, el cual no fue mencionado) es parte de la fórmula de inhibición de corrosión del British Standards Institute [BSI]. Benzoato es más común en las formulas europeas que en las americanas. Vukasovich y Sullivan

---

[7] G. FIELDSON, Fluidos en refrigerantes de combustión interna [en línea] <http://www.lubtechnology.com/pdf >

encontraron que no es efectivo protegiendo hierro a concentraciones más bajas que 5% (que es una concentración desmesuradamente alta). Por otro lado, parece que no ofrece protección al acero y a la soldadura en concentraciones más bajas. Una concentración típica es 5 g/l.

- Finalmente está el silicato, que parece ser lo mejor en protección para el aluminio. El problema con los silicatos es que no son indefinidamente estables en solución. Otros aditivos pueden usarse de cierto modo para estabilizar a los silicatos. 2 g/l es una concentración efectiva. Teniendo todos estos inhibidores juntos, una combinación de benzoato, molibdato, borato, nitrato, tolitriazol y silicato es el mejor paquete de aditivos sin utilizar fosfatos. La parte sin silicato del paquete es efectiva en la prevención de la corrosión del aluminio, y da un buen sistema de resguardo para los bloques de aluminio.

1.3.4 Antiespumante. Se llama espuma a una dispersión estable de gas en un líquido. Si se introduce una corriente de aire en un líquido las burbujas producidas adoptan una forma esférica. Al ser más ligeras que el líquido las burbujas ascienden. Una burbuja de gas que ha penetrado en un líquido exento de tensoactivos, tiene solamente una limitada estabilidad y estalla espontáneamente. El aire de la burbuja escapa y el líquido que previamente envolvía el aire fluye hacia atrás. Por tanto, no se forma espuma estable en líquidos puros exentos de tensoactivos.

Los antiespumantes son sustancias añadidas a los aceites lubricantes y a los anticongelantes con el objeto de limitar la formación de espuma. La espuma debe ser evitada y reducida al mínimo, en cuanto que no permite al lubricante mantener la presión y, por otra parte, favorece la oxidación y el envejecimiento de los aceites, haciendo elásticos e imprecisos los servomandos y los accionamientos hidráulicos, y provocando la cavitación de las bombas. La formación de espuma se combate con aditivos que modifican la tensión superficial y de interfase del líquido, favoreciendo la coherencia (agregación) de las burbujas, haciendo más frágiles las burbujas mismas e inestables la espuma.

Los aditivos antiespumantes más usados son los llamados siliconados (polisiloxanos y polisiloxanos modificados) pertenecen al grupo más ampliamente usado como substancias antiespumantes. Se puede acceder a una serie enorme de substancias antiespumantes mediante su modificación con poliésteres y otros polímeros. La compatibilidad y la efectividad pueden ajustarse para adaptarse a formulaciones concretas de recubrimientos.

Los antiespumantes de polisiloxanos tienen unas características de difusión muy elevadas, son altamente efectivos y se usan especial y frecuentemente en

modernos recubrimientos y medios acuosos, donde hay una gran exigencia en cuanto a despumación y acabado de la superficie.

1.3.5 Colorantes. Son pigmentos fluorescentes termoplásticos recomendados para su uso en una amplia gama de aplicaciones tales como en la detección de fugas en los sistemas de enfriamiento, estos son fluorescentes, lo que facilita y hace más precisa la ubicación de las fugas. No contiene solventes, no tienen efectos adversos en la viscosidad o la lubricidad del aceite del sistema y no corroe los demás componentes utilizados en la fabricación del líquido refrigerante. El colorante permanece en el sistema sin ocasionar efectos secundarios para futuras inspecciones del sistema.

El proveedor de este componente es la empresa NOVACOLOR (ver ANEXO D), y poseen las siguientes características:

- No tiene componentes radioactivos ni tóxicos.
- Poseen larga duración en la emisión de luz.
- Alto brillo en su acabado.
- Alta resistencia a la temperatura 800 C.
- No tiene ningún inconveniente con las bajas de temperatura hasta -20C.
- Alta duración, larga vida útil, siempre y cuando se mantenga su estructura química.
- Uso al aire libre o intemperie No sufre disminución de luminancia, a 300 W de presión y 1000 horas con una lámpara de mercurio.
- Es químicamente estable a la mayoría de compuestos anhídridos, resistente a la mayoría anhídridos, productos químicos tanto orgánicos e inorgánicos. Tiene inconvenientes con productos como los óxidos de metal pierde su luminancia cuando entren en contacto con el agua, excepto cuando se utiliza el agua esterilizada.

1.4 PRINCIPALES PROBLEMAS DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

1.4.1 Corrosión. Los metales se encuentran en la naturaleza bajo la forma de compuestos estables, como óxidos, sales, etc. El hombre ha encontrado la manera de utilizar estos metales para sus fines, extrayéndolos de la naturaleza, purificándolos, asociándolos con otros elementos para mejorar sus propiedades y dándole una forma apropiada para su utilización práctica.

1.4.1.1 Picaduras. Es una de las formas más destructivas de corrosión, es promovida por baja velocidad del agua, puntos inactivos y por la presencia de iones cloruro. La corrosión por picadura es una forma de ataque localizado que resulta en agujeros que penetran rápidamente el metal expuesto.

Este tipo de corrosión se caracteriza por producir agujeros de pequeño diámetro y cierta profundidad en el material metálico. Este tipo de ataque causa el fallo de tuberías y equipos por perforación con pérdidas metálicas relativamente pequeñas. A menudo es difícil descubrir las picaduras, debido a su pequeño diámetro y a que generalmente están cubiertas de productos de corrosión. Las picaduras, lo mismo pueden aparecer aisladas o tan juntas que la superficie metálica puede parecer rugosa[8].

Las picaduras pueden presentarse a consecuencia de:

- Los depósitos de capas de corrosión que dificultan el acceso de oxígeno algunas partes del material metálico, en relación con el resto, lo cual provoca celdas de concentración que ocasionan ataques localizados en pequeñas zonas y que en su parte más profunda perforan el material. Esta es la causa común de las picaduras en el hierro o acero al carbono no pasivos.
- Los materiales que presentan frecuentemente este tipo de ataque, son los materiales pasivos y la causa más característica es la ruptura de la capa pasiva de estos materiales, como consecuencia de la presencia de aniones de los halógenos: Cl^-, Br^-, I^- y algunos otros aniones como: ClO^- y ClO_4^-.

1.4.1.2 Resistencia a la corrosión de varios metales. Bajo condiciones similares, el hierro y el acero se corroen prácticamente con la misma rapidez, pero la distribución de la corrosión puede ser diferente en los dos. La escoria esparcida en el hierro dulce puede dar por resultado, bajo la corrosión atmosférica, un ataque distribuido de una manera general, más bien que un ataque fuertemente localizado (picadura).

Las condiciones externas sobrepasan el efecto de la composición del metal, al determinar las velocidades de corrosión. El oxígeno determina el comienzo de la corrosión del hierro y el acero bajo condiciones ordinarias; no sólo actúa como despolarizador, sino que además se une con el hierro ferroso en los ánodos de corrosión[9]. En la ausencia general de oxígeno, la corrosión desciende a una rapidez despreciable, mientras que en la ausencia local de oxígeno se puede establecer una célula diferencial de oxígeno que sirve para acelerar la corrosión en la porción pobre de oxígeno.

La herrumbre o formación de hematita (Fe_20_3), puede acelerar la corrosión y causar picaduras. La explicación probable es, que las acumulaciones superficiales de herrumbre protegen al metal que recubren, del acceso libre de oxígeno,

[8] Norma ASTM D4985-00a para refrigerante de motores de combustión interna
[9] AVALLONE. E., BAUMEISER. T. Manual del Ingeniero Mecánico, Editorial McGraw-Hill, Novena Edición, Tomo I, España, 2002.

volviéndolas así, anódicas (corrosibles) a esas porciones, con respecto a las zonas no cubiertas, las cuales tienen más libre acceso de oxígeno (zona catódica).

Las aleaciones de hierro comercialmente puro, con cobalto, níquel o cobre en pequeñas cantidades, entre 0,25 a 0,30%, son resistentes a la corrosión atmosférica porque forman revestimientos protectores contra la herrumbre.

1.4.1.3 Cavitación. Es un efecto que se produce cuando hay descompresión del agua o líquido refrigerante de tal forma que las moléculas que lo componen cambian inmediatamente a estado de vapor, formándose burbujas o, más correctamente, *cavidades*. Las burbujas formadas viajan a zonas de mayor presión e implosionan (el vapor regresa al estado líquido de manera súbita, «aplastándose» bruscamente las burbujas) produciendo una estela de gas y un arranque de metal de la superficie en la que origina este fenómeno.

La implosión causa ondas de presión que viajan en el líquido, estas pueden disiparse en la corriente del líquido o pueden chocar con una superficie. Si la zona donde chocan las ondas de presión es la misma, el material tiende a debilitarse metalúrgicamente y se inicia una erosión que, además de dañar la superficie, provoca que ésta se convierta en una zona de mayor pérdida de presión y por ende de mayor foco de formación de burbujas de vapor. Si las burbujas de vapor se encuentran cerca o en contacto con una pared sólida cuando implosionan, las fuerzas ejercidas por el líquido al aplastar la cavidad dejada por el vapor dan lugar a presiones localizadas muy altas, ocasionando picaduras sobre la superficie sólida, dependiendo de la composición del material usado se podría producir una oxidación de éste con el consiguiente deterioro del material.

1.4.2 Ensuciamiento y formación de escamas dentro de los intercambiadores de calor. El ensuciamiento se define como la precipitación de materiales que no forman incrustaciones, es decir, son depósitos originados por material suspendido en el agua, que se diferencian de las incrustaciones, porque estos últimos, se forman a partir de material disuelto o que está en solución[10]. Un depósito por ensuciamiento puede formarse de:

- Sólidos suspendidos (lodo, hierro, materia orgánica) presentes en el agua de reposición.
- Precipitación de aditivos químicos debido a un pésimo control.
- Sólidos suspendidos producto de la corrosión y de sales incrustantes.
- Contaminación orgánica por fugas del proceso.
- Partículas provenientes del aire que son introducidas al sistema de enfriamiento durante el contacto aire-agua.

---

[10] BUSTAMANTE. S. Termodinámica y el Concepto de Entropía. [en línea] <http://www.ilustrados.com/publicaciones/epzkapulkkgruiqyxj.php> [citado en 2004]

El ensuciamiento tiene aspectos negativos sobre la eficiencia de un sistema de enfriamiento, debido a que influye sobre los aspectos siguientes:

- Permite la corrosión.
- Absorbe los productos químicos del tratamiento: inhibidores de corrosión e incrustaciones.
- Reduce la transferencia de calor.

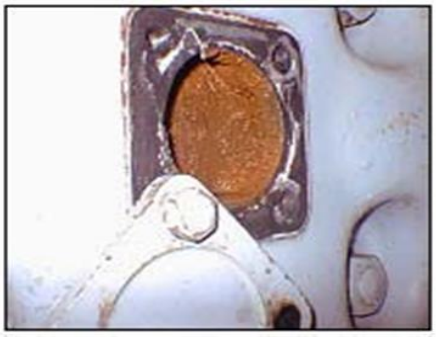
El ensuciamiento descontrolado en un sistema de enfriamiento causa severos problemas de corrosión, incrustaciones y crecimiento microbiológico que, a su vez, originan una baja eficiencia del sistema.

1.4.3 Incrustaciones. El agua tiene una serie de compuestos denominados sólidos disueltos, los cuales permanecen solubles en el agua bajo unas determinadas condiciones, tales como: pH, temperatura, concentración, etc. Mientras estos sólidos permanecen disueltos no existe posibilidad que se formen incrustaciones. El problema está en que en un sistema de enfriamiento, las condiciones son tan dinámicas que la probabilidad para formarse las incrustaciones es bastante alta[11].

En los intercambiadores de un sistema de enfriamiento pueden formarse incrustaciones o lodo, por lo tanto, es importante diferenciarlos:

- Incrustación: es una capa densa compuesta principalmente por material inorgánico que ha precipitado porque su solubilidad ha sido excedida. Usualmente, es muy densa y fuertemente adherida a sí misma y a la superficie metálica, debido a que su formación es de diferentes cristales.
- Lodo: es la precipitación de minerales o compuestos orgánicos, que están débilmente adheridos a la superficie metálica y a otras partículas. En la figura 1 se puede observar la camisa de un cilindro taponeada por lodo.

Figura 1. Obstrucción de camisa por lodo[12].



[11] LIPESA. Tratamiento Químico del Agua, Editorial Impregraf, Caracas, 1998.
[12] PDVSA. Mejoramiento de la Calidad del Agua de Enfriamiento de Compresores. Distrito Anaco, 1995.

1.4.3.1 Factores que afectan la formación de incrustaciones

- pH: la mayoría de las sales presentes en el agua disminuyen su solubilidad cuando el pH aumenta, por lo tanto, incrementan su potencial incrustante. Cuando el pH baja, aumenta la corrosión del agua y se incrementa el potencial incrustante de algunos tipos de sílice.
- Temperatura: al igual que con el pH, muchas sales comunes en el agua disminuyen su solubilidad cuando aumenta la temperatura.
- Concentración: cuando la cantidad de una especie incrustante disuelta en agua, excede su punto de saturación, se producen incrustaciones. Mientras mayor sea el contenido de sólidos, mayor será la posibilidad de formación de incrustaciones.
- Sólidos suspendidos: un mayor contenido de sólidos suspendidos (sólidos naturales, productos de corrosión, actividad microbiológica, etc.), favorece la formación de incrustaciones.
- Factores dinámicos: las velocidades de flujo menores a 2 ft/s (0,6 m/s) ocasionan un flujo laminar en los tubos de los intercambiadores, creando condiciones favorables para la formación de incrustaciones. Otro factor dinámico que afecta la formación de incrustaciones, es el cambio en las velocidades de flujo, tal es el caso de un codo.

1.5 ÍNDICES DE ESTABILIDAD

Uno de los principales problemas en un sistema de enfriamiento es la formación de incrustaciones de carbonato de calcio en las áreas de transferencia de calor y la tendencia corrosiva del agua utilizada como refrigerante. En este sentido, se han propuesto y establecido algunos métodos para predecir la formación de carbonato de calcio y de dicha tendencia. Estos métodos están basados en el equilibrio termodinámico del ácido carbónico, la alcalinidad, la temperatura y los sólidos disueltos.

1.5.1 Indice de Langelier. Es un índice para calcular el carácter incrustante o agresivo del agua y tiene que ver con los diversos equilibrios en el agua del anhídrido carbónico, bicarbonato-carbonatos, el pH, la temperatura, la concentración de calcio y la salinidad total.

El Índice de Langelier se usa para determinar el equilibrio del agua:

- Si el índice es 0: el agua está perfectamente equilibrada.
- Si el índice es negativo: indica que el agua es corrosiva.
- Si el índice es positivo: indica que el agua es incrustante.

Para realizar el cálculo del Índice de Langelier deben de realizarse las mediciones de 5 parámetros claves: pH, temperatura, dureza cálcica, alcalinidad y sólidos totales disueltos.

- Medida de pH. La determinación de pH puede llevarse a cabo tanto electroquímicamente como fotométricamente. La determinación electroquímica mediante pHmetro es el método normalizado.

- Medida de temperatura. El valor de la temperatura de la muestra se utilizará para calcular el factor TF en la tabla 4.

- Medida de dureza cálcica. La dureza cálcica se define como la concentración de calcio expresado como carbonato cálcito en miligramos por litro. La valoración con EDTA es el método normalizado para la determinación de la dureza cálcica (o el calcio) sin embargo puede realizarse una determinación fotométrica mediante un indicador llamado calmagita que reacciona con el calcio y magnesio presente y acomplejando después el calcio presente para que pueda ser determinado. Este método es sencillo y rápido para poder realizarlo directamente en las instalaciones donde se vaya a calcular el índice de langelier. El valor de dureza cálcica obtenida expresada en mg/L $CaCO_3$ se utilizará para determinar el factor HF en la tabla 4.

- Medida de alcalinidad. La alcalinidad de un agua es su capacidad para neutralizar ácidos y constituye la suma de todas las bases valorables. El método normalizado para la determinación de la alcalinidad es la valoración con ácidos, sin embargo, puede llevarse a cabo una determinación fotométrica utilizando un indicador como por ejemplo anaranjado de metilo. El valor de alcalinidad obtenida expresada en mg/L $CaCO_3$ se utilizará para determinar el factor AF en la tabla 4.

- Medida de sólidos totales disueltos. La determinación de los sólidos totales disueltos suele realizarse mediante medida de la conductividad y cálculo mediante factor, sin embargo, en los cálculos simplificados del índice de Langelier suele aplicarse el valor de 12.5 como factor correspondiente a los sólidos totales disueltos.

Mediante los factores calculados o medidos de los parámetros indicados y aplicándolos en la fórmula IL = pH + TF + HF + AF -12.5 se calcula el Índice de saturación o índice de Langelier.y el de Ryznar, los cuales se calculan mediante las siguientes ecuaciones[13]:

[13] LIPESA. Tratamiento Químico del Agua. Editorial Impregraf, Caracas, 1998.

Ecuación 2

- Índice de Langelier (IL) = pH + TF + HF + AF – 12,5

dónde:

Tabla 4 Constantes de estabilidad Langelier[14]

TEMPERATURA		DUREZA		ALCALINIDAD	
°C	TF	Ppm	HF	Ppm	AF
0	0	5	0,7	5	0,7
4	0,1	25	1,4	25	1,4
8	0,2	50	1,7	50	1,7
12	0,3	75	1,9	75	1,9
16	0,4	100	2,0	100	2,00
20	0,5	150	2,2	150	2,2
24	0,6	200	2,3	200	2,3
28	0,7	250	2,4	250	2,4
32	0,7	300	2,5	300	2,5
36	0,8	400	2,6	400	2,6
40	0,9	500	2,7	500	2,7
50	1	1000	3,00	1000	3,00

Fuente: Tratamiento químico del agua.

Ecuación 3

- Índice de Ryznar (IR) = 2pHs – pH

Donde:

pH: pH del agua

pHs: pH de saturación

El pH de saturación de calcula por la siguiente ecuación:

Ecuación 4

- $ISL = PH - PH_S$

Estos índices señalan solamente la tendencia del carbonato de calcio a depositarse si se trata de un agua corrosiva, medianamente corrosiva o no corrosiva.

[14] LIPESA. Tratamiento Químico del Agua. Editorial Impregraf, Caracas, 1998.

Un agua suave, con índice de estabilidad negativo puede ser tratada con $Ca(OH)_2$ o con Na_2SO_3, o ambos, a fin de aumentar el índice, lo cual haría el agua menos corrosiva[15].

El valor del índice de estabilidad dependerá mucho de la temperatura. A mayor temperatura, el índice aumenta. Se debe buscar que el índice no aumente mucho en el rango de temperatura de trabajo, a fin de evitar la deposición excesiva de $CaCO_3$.

Hay limitaciones para el uso del índice:

- Si el agua natural contiene materia orgánica o sílice en forma coloidal, el $CaCO_3$ puede precipitar sobre las materias coloidales o sobre las materias orgánicas como algas, en lugar de la superficie del metal. Esto conducirá a corrosión, aunque el índice sea positivo.
- Si hay NaCl u otras sales de haluros, disueltas en el agua o a altas temperaturas, la película de $CaCO_3$ puede perder su carácter protectivo en ciertos puntos, lo cual conducirá a un grado avanzado de corrosión en dichos puntos con el resultado final de picadura.
- Si el agua contiene iones complejos en ella, como polifosfatos, que se añaden al agua tratada, el índice de estabilidad no se aplica como índice de corrosividad.
- El índice no indica la corrosividad, si los metales en contacto con el agua son pasivos, como: níquel, aluminio, etc., o en aceros inoxidables.

[15] GIL. L. Fundamentos de Corrosión y Protección de los Metales. Fundacite, Ciudad Guayana, 2002.

2. DESARROLLO DEL TRABAJO

En este capítulo se muestra una breve descripción de la empresa y el funcionamiento actual del proceso de producción de líquido refrigerante automotriz COOLMAX. También, se darán a conocer las caracterizaciones de las diferentes materias primas que se realizaron con el laboratorio Ispectorate Colombia Ltda.

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

Ecoquímicos es una fábrica productora y comercializadora de líquido refrigerante automotriz, fundada en el año 2013 con el fin de incursionar en el mercado con productos de alta calidad y en cumplimiento de los más altos estándares de fabricación, con el objetivo de convertirse en la empresa líder en fabricación y distribución de productos que satisfagan la necesidad del mercado automotriz.

Hoy en día la empresa Ecoquímicos fabrica un promedio de 24000 litros mensuales de líquido refrigerante COOLMAX, el cual es comercializado principalmente en ciudad de Bogotá y algunas ciudades del territorio nacional, sus principales clientes son talleres de radiadores, talleres de mecánica automotriz, centros de lubricación y estaciones de servicio.

La empresa está ubicada en la calle 79 A # 62-03 en la ciudad de Bogotá, tiene un horario de atención, y producción, es de lunes a viernes desde las siete de la mañana hasta las cinco de la tarde.

2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ACTUAL

Actualmente el proceso de fabricación de líquido refrigerante automotriz tiene un área de producción y se lleva a cabo de la siguiente forma:

- terminado al área de distribución.
- **Recepción de materia prima.** En esta actividad se efectúa el recibo almacenaje temporal de las materias primas necesarias (Etilenglicol, Antiespumante y Colorantes) para el proceso de fabricación del líquido refrigerante automotriz. En particular se registran los datos del proveedor, procedencia, costo y cantidad entregada.
- **Transporte.** La materia prima es llevada al área de producción.
- **Pesaje.** Se pesan cada una de las materias primas para luego realizar la mezcla.
- **Mezclado**. En esta actividad se procede a adicionar las materias primas ya pesadas, primero el agua desmineralizada que proviene de un desmineralizador se mezcla con el antiespumante, luego el etilenglicol se mezcla con el colorante,

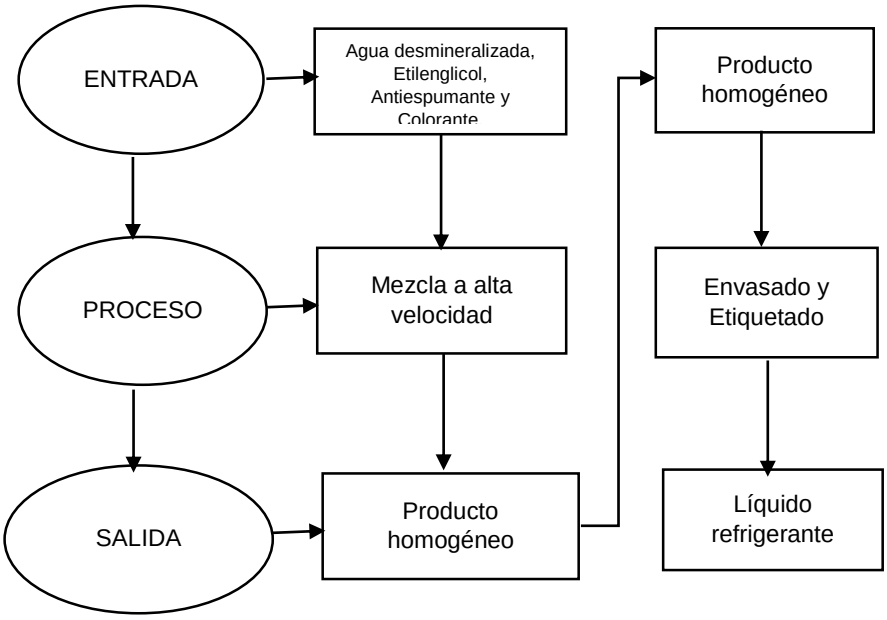
y se lleva a un mezclador de alta velocidad que es el encargado de homogenizar la mezcla final.

- **Envasado.** Una vez terminado el proceso de producción del líquido refrigerante jabón se procede al empacado del mismo en envases de polietileno de alta densidad de capacidad un galón, cuarto de galón o garrafa de cinco galones, para ser transportado al almacén de productos finales.
- **Etiquetado.** Se procede entonces a colocarle su respectiva etiqueta con la información general del producto, esta etiqueta es autoadhesiva y plastificada para que no se dañe al contacto con otros líquidos.
- **Transporte al área de distribución**. En esta actividad se realiza el transporte del producto
- **Distribución.** Finalmente se realiza la actividad de distribución y entrega del producto terminado al cliente.

El proceso actual fabrica su producto con una concentración del 9% de etilenglicol y no utiliza ningún componente anticorrosivo en su producción, esto para evitar costos adicionales, generando un producto que no cumple con la función eficaz que se necesita en un sistema de refrigeración automotriz; tampoco cuenta con un sistema de gestión documental, además con el fin de realizar la trazabilidad necesaria a materias primas durante el proceso de producción.

2.3 DIAGRAMA DE PROCESO ACTUAL

Figura 2. Diagrama de proceso de producción de líquido refrigerante automotriz



2.4 CARACTERIZACIÓN DE MATERIAS PRIMAS

Con el fin de conocer las características físicas y químicas se analizarán a nivel laboratorio los diferentes componentes para la fabricación del líquido refrigerante automotriz COOLMAX.

Primero se tomó una muestra del agua del sistema de desmineralización existente en la empresa, donde se le practicó análisis químico a fin de verificar si las características y componentes cumplen la normatividad y son aptos para la fabricación del líquido refrigerante (ver ANEXO A). Los resultados obtenidos del análisis son mostrados en la tabla 5.

Tabla 5. Componentes y propiedades del agua utilizada en la fabricación del líquido refrigerante

ENSAYO	RESULTADOS	UNIDADES	TECNICA ANALITICA
Hierro Total	0,01	mg/L	Standard Methods: 3120 B
Potasio	No Detectable	mg/L	Standard Methods: 3120 B
Magnesio	0,01	mg/L	Standard Methods: 3120 B
Bario	No Detectable	mg/L	Standard Methods: 3120 B
Estroncio	No Detectable	mg/L	Standard Methods: 3120 B
Manganeso	No Detectable	mg/L	Standard Methods: 3120 B
Sodio	0,02	mg/L	Standard Methods: 3120 B
Calcio	No Detectable	mg/L	Standard Methods: 3120 B
pH a 25 ºC	8	Unidades	Electrométrico
Conductividad a 25 ºC	4	µS/cm	Conductimétrico
Alcalinidad Total	100	mg/L CaCO3	Volumétrico
Dureza Total	75	mg/L CaCO3	Volumétrico-Edta
Solidos disueltos a 25 ºC	5,6	mg/L	Electrométrico
Solidos totales	5,6	mg/L	Secado a 103-105 °C - Gravimétrico
Cloruros	No Detectable	mg/L Cl-	Argentométrico
Sulfatos	20	mg/L SO4-2	Turbidimétrico
Carbonatos	No Detectable	mg/L CaCO3	Volumétrico-Cálculo
Bicarbonatos	0	mg/L CaCO3	Volumétrico-Cálculo

Fuente. Caracterización elaborada por Laboratorios Inspectorate Ltda.

La caracterización del Etilenglicol fue hecha a partir de una muestra tomada de un tambor que provee Química Cosmos y fue llevada a laboratorios Inspectorate Colombia Ltda. (ver ANEXO B), donde se le practicó el análisis físico químico donde arrojó los siguientes resultados

Tabla 6. Caracterización del etilenglicol

ENSAYO	RESULTADOS	UNIDADES	TECNICA ANALITICA
Hierro Total	0,2	ppm	Standard Methods: 105
Cenizas	0,005	% peso	Standard Methods: 104
Dietilenglicol	0,1	% peso	Standard Methods: 100
Agua	0,15	% peso	Standard Methods: 002
Acidez, como ácido acético	0,005	% peso	Standard Methods: 108
Pureza	99.5	% peso	Standard Methods: 100-impurezas
Peso Específico	1,1151	20/20 °C	Standard Methods: 004
Punto Ebullición Inicial	196	°C	Cálculo
Punto Seco	200	° C	Cálculo
Apariencia		Líquido Claro	Visual
Olor		Característico	Organoléptico
Color	10	Pt- Co	Standard Methods: 001

Fuente. Caracterización elaborada por Laboratorios Inspectorate Ltda.

La caracterización del Antiespumante Siliconado fue hecha a partir de una muestra tomada de una garrafa que provee Química Cosmos y fue llevada a laboratorios Inspectorate Colombia Ltda. (ver ANEXO C), donde se le practicó el análisis físico químico donde arrojó los siguientes resultados

Tabla 7. Caracterización de Antiespumante Siliconado

ENSAYO	RESULTADOS	UNIDADES	TECNICA ANALITICA
Viscosidad	4.0	Cps	Standard Methods: 104
Pureza	21	% peso	Standard Methods: 100-impurezas
pH a 25 °C	5	Unidades	Electrométrico
Densidad	0,95	g/cm^3	Standard Methods: 004
Punto Ebullición	300	°C	Cálculo
Apariencia		Líquido	Visual
Olor		Característico	Organoléptico
Color	Blanco	Cremoso	Standard Methods: 001

Fuente. Caracterización elaborada por Laboratorios Inspectorate Ltda.

La caracterización del colorante fue hecha a partir de una muestra tomada de un bulto que provee Laboratorios Novacolor y fue llevada a laboratorios Inspectorate Colombia Ltda. (ver ANEXO D), donde se le practicó el análisis físico químico donde arrojó los siguientes resultados

Tabla 8. Características del colorante

CARACTERÍSTICAS	RESULTADOS	UNIDADES
Tamaño de Partícula	3-4	µ
Aceite de Absorción	50 – 60	g/g pigmento
Densidad	0.27 ± 0.02	g/cm^3
Punto de Descomposición	210	°C
Punto Ablandamiento	130-140	°C
Apariencia		sólido
Olor		Característico
Color	Rojo, Verde, Azul, Naranja	Polvo

Fuente. Caracterización elaborada por Laboratorios Inspectorate Ltda.

3. PLANTEAMIENTO DE MEJORA

Como se explicó con anterioridad, COOLMAX no da cumplimiento a la Norma Técnica Colombiana 3614[16] completamente, por lo cual en este proyecto de grado se desea generar una propuesta de mejoramiento de producto que al final posea las características adecuadas de acuerdo a la producción de líquido refrigerante automotriz anticorrosivo, con base de etilenglicol para uso en automóviles y motores de servicio liviano.

3.1 ALTERNATIVA DE MEJORA

La alternativa de mejora que se plantea, es primero, incluir en la preparación componentes anticorrosivos tanto para el cobre como para el aluminio que son los dos materiales usados en la fabricación de radiadores automotrices, y que ayudarán a obtener un producto eficaz para los sistemas de refrigeración automotriz.

Segundo hacer tres mezclas con diferentes concentraciones de los componentes usados en la fabricación de líquido refrigerante, la primera mezcla A será la que actualmente emplea Ecoquímicos en la fabricación de su refrigerante y las siguientes B y C se basan en las concentraciones recomendadas por la norma Técnica Colombiana NTC 3614.

Tercero realizar pruebas de laboratorio para determinar las propiedades fisicoquímicas de cada una de las mezclas para finalmente obtener una matriz de selección que dé cumplimiento a la normatividad.

Para que la alternativa de mejora a ejecutar señale los resultados adecuados, acorde a lo que se quiere lograr, se deben tener ciertos criterios de selección que se mencionan a continuación:

- Precios. Este criterio es indispensable ya que se requiere de una alternativa que cuente con costos que mantengan la competitividad del producto frente a otros que existen en el mercado.
- Eficiencia. Se tiene que tener muy en cuenta la capacidad del proceso de llegar a concentraciones permisibles en la normativa ya que el resultado final dependerá de esto.
- Posibilidad. Es necesario saber que tan posible es llegar a realizar el proyecto con los recursos destinados por parte de Ecoquímicos.

[16] NORMA TÉCNICA COLOMBIANA 3614. [en línea] <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC3614.pdf> [citada el 18 de mayo de 1994].

- Sostenibilidad. Es necesario encontrar una alternativa que no contribuya a contaminar el medio ambiente lo cual se logra al manejar adecuadamente los residuos generados durante el proceso.
- Mano de obra: Se requiere de una alternativa que no requiera personas externas a las que laboren en las actividades regulares de Ecoquímicos, ya que la misma es una pequeña empresa que no cuenta con los recursos necesarios para contratar personas anexas que se dediquen únicamente a mejorar el producto.

Los inhibidores de corrosión que se escogieron fueron el Tolitriazol por su efectividad en la protección al Cobre y el Silicato de Aluminio por la prevención de la corrosión en el Aluminio (ver ANEXOS E y F). Además de sus bajos costos frente a otros inhibidores de corrosión existentes en el mercado

Las mezclas a estudiar fueron las siguientes:

Tabla 9. Mezclas a estudiar

Mezcla	Composición				
	Agua	Etilenglicol	Anticorrosivo	Antiespumante	Colorante
A	81%	9%	0%	5%	5% VERDE
B	45%	40%	8%	2%	5% ROJO
C	10%	75%	8%	2%	5% AZUL

3.2 PRUEBAS DE LABORATORIO PARA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LAS MEZCLAS

3.2.1 Determinación de la temperatura de ebullición. Para esta prueba se aplicó el procedimiento establecido en la norma ASTM D-1120-94[17], el cual consiste en agregar 60 mL de refrigerante y 6 piedras porosas, en un balón de destilación, tapar el balón con un tubo de condensación dispuesto en forma vertical e introducir un termómetro en forma diagonal. Colocar el balón sobre un calentador eléctrico y comenzar a suministrarle calor hasta observar la condensación de las primeras gotas (las cuales condensan dentro del mismo balón), luego se regula el calentador hasta observar que condensan de 1 a 2 gotas por segundo hasta mantenerse constante durante 10 min. Transcurridos los 10min se lee en el termómetro la temperatura y se reporta ésta como temperatura de ebullición de cada mezcla.

[17] NORMA ASTDM. Método para la determinación de temperatura de ebullición en líquidos refrigerantes [en línea] <http://file.yizimg.com/175706/2011120609371399.pdf>

El líquido refrigerante debe ser capaz de absorber el calor proveniente de las camisas del motor, de la cámara de combustión y del aceite. Durante esta transferencia de calor, el líquido refrigerante no debe evaporarse, ya que los gases originados en la evaporación traerían consigo problemas tales como: *cavitación de la bomba de agua*, originada por los diferenciales de presión a los que es sometida la bomba durante la succión, *disminución de la capacidad de transferencia*, originado por la pérdida de líquido en forma de vapor. En la tabla 10 se muestran los valores de temperatura de ebullición obtenidos para las distintas mezclas fabricadas.

Tabla 10. Temperatura de ebullición de los refrigerantes estudiados.

Mezclas	Temperatura (ºC)
A	102
B	168
C	184

Mientras mayor es la temperatura de ebullición, menor será la evaporación, minimizando las pérdidas de líquido refrigerante y evitando la cavitación de la bomba. En la tabla 10 se observa que el líquido con mayor punto de ebullición es el correspondiente a la muestra C, seguido en orden descendente por el B y por último de A. La diferencia de puntos de ebullición en los refrigerantes se debe a la cantidad de etilenglicol, mientras mayor es el contenido de etilenglicol, mayor será el punto de ebullición.

3.2.2. Determinación del pH. Para esta prueba se aplicó el procedimiento establecido en la norma ASTM D-1287-91[18], el cual consiste en colocar 50 mL de cada mezcla en un beaker, luego se introduce el electrodo del medidor de pH (previamente calibrado con soluciones buffer con pH de 4, 7 y 10) en las muestras y se toma el valor de pH arrojado por el equipo.

Las variaciones en el pH afectan notablemente la velocidad de corrosión de los materiales metálicos. En el rango de pH entre 4 y 10, la velocidad de corrosión es independiente del pH; mientras que en el rango de pH < 4, la velocidad de corrosión es determinada por la evolución del hidrógeno, y esta evolución depende del acero y/o de su tratamiento térmico. En la tabla 11 se observan los valores obtenidos de pH para los refrigerantes estudiados.

[18] NORMA ASTDM. Método para la determinación de pH en líquidos refrigerantes [en línea] <http://www.worldstdindex.com/soft2/716568.htm > [citado 15 de junio de 1991]

Tabla 11. Valores obtenidos de pH para los refrigerantes estudiados

Mezclas	pH
A	4,5
B	8,5
C	11

Es importante resaltar que todos los refrigerantes estudiados se ubicaron en el rango de pH entre 7 y 11, donde la velocidad de corrosión es independiente del pH. Sin embargo, se puede notar que la mezcla A se encuentra por debajo del rango, donde el pH comienza a determinar la velocidad de corrosión. En la mezcla B se obtiene un valor adecuado de pH y la mezcla C se encuentra en el límite superior de pH.

3.2.3 Determinación de la reserva alcalina. Para esta prueba se aplicó el procedimiento establecido en la norma ASTM D-1121-98[19], el cual consiste en tomar 10mL de cada mezcla y diluir con agua destilada en un matraz aforado de 100mL. El pH en el agua a utilizar para la dilución debe ser ajustado a un valor de 7 agregándole al agua gradualmente una solución buffer. Luego la mezcla es diluida y colocada en un beaker, en el que posteriormente se introduce el electrodo de un titulador automático que previamente es programado para agregar al beaker la cantidad de solución HCl 0,1*N* necesaria para que el pH diluido llegue a 5,5. La reserva alcalina se reporta como el volumen de HCl 0,1*N* gastado durante la titulación, donde no se favorece la velocidad de corrosión.

Mientras mayor sea el volumen gastado, mayor será la reserva alcalina, por lo tanto, mayor será la capacidad amortiguadora de pH del líquido. En la tabla 12 se observan los volúmenes de HCl 0,1*N* gastado en la titulación de cada una de las muestras estudiadas. Según estos resultados, la muestra A no posee una buena capacidad amortiguadora. Las muestras B y C presentaron buena capacidad amortiguadora de pH, ya que los valores de reserva alcalina fueron muy altos.

Tabla 12. Volúmenes de HCl 0,1*N* gastado en cada mezcla estudiada

Mezclas	mL de HCl gastados
A	0,89
B	3,67
C	2,49

[19] NORMA ASTDM. Método para la determinación de la reserva alcalina en líquidos refrigerantes [en línea] < http://file.yizimg.com/175706/2011120609430276.pdf >

3.2.4 Determinación de la gravedad específica. Para esta prueba se aplicó el procedimiento establecido en la norma ASTM D-1122-97a[20], el cual consiste en colocar 200mL de cada mezcla en un cilindro sin graduación; luego se introduce un hidrómetro hasta que el mismo se queda estático flotando en la solución sin tocar el fondo del cilindro y se lee la gravedad específica. Inmediatamente se introduce un termómetro en la mezcla para tomar la temperatura a la cual se realizó la prueba y utilizando tablas de correlación ASTM se convierte el valor de gravedad específica obtenido a la temperatura de trabajo para ser reportado a 25°C.

3.2.5 Determinación del contenido de agua y etilenglicol. Para obtener estos valores se construye una curva de calibración. Para la construcción de la curva se parte de etilenglicol puro, se hacen diluciones sucesivas de etilenglicol hasta 10% v/v, se le debe determinar la gravedad específica a cada dilución incluyendo el etilenglicol puro, luego se grafican los datos de %v/v de etilenglicol vs gravedad específica y se ajusta trazando la mejor recta. Luego los valores de gravedad específica previamente obtenidos para las mezclas se introducen en la ecuación de la línea recta obtenida y se calcula el % v/v de etilenglicol y por diferencia el % v/v de agua.

Se determinó en la Tabla 13 la gravedad específica para cada mezcla de refrigerante con la finalidad de obtener el % v/v de etilenglicol y de agua contenido en cada una.

Tabla 13. Gravedad específica de las mezclas estudiadas

Mezclas	Gravedad Específica
A	1,0251
B	1,0597
C	1,0764

Para determinar el % de etilenglicol se construye una curva de calibración, a partir de diluciones sucesivas de una muestra de etilenglicol puro. A cada dilución se le determinó la gravedad específica y los valores se observan en la tabla 14.

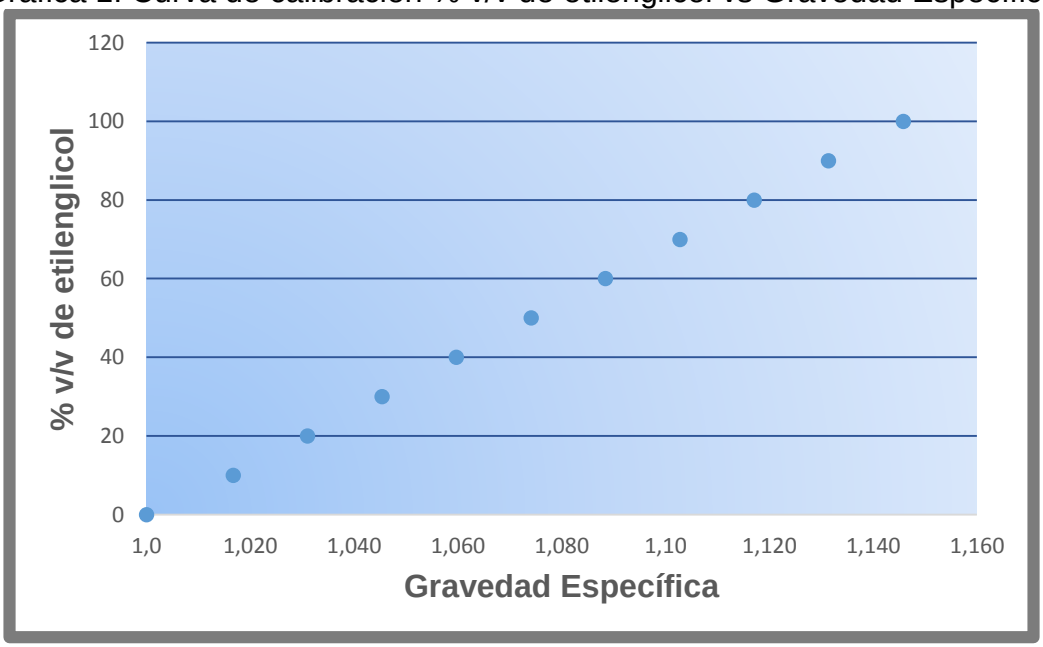
[20] NORMA ASTDM. Método para la determinación de la gravedad específica en líquidos refrigerantes [en línea] < http://file.yizimg.com/175706/2011120609422622.pdf >

Tabla 14. Gravedad específica para cada dilución de etilenglicol

%v/v de etilenglicol	Gravedad Específica
0	1,0000
10	1,0167
20	1,0310
30	1,0454
40	1,0597
50	1,0741
60	1,0884
70	1,1028
80	1,1171
90	1,1314
100	1,1458

Los valores de la tabla 14 fueron graficados y se trazó la mejor recta para obtener la ecuación con la cual se determina el % de etilenglicol de cada muestra. En la gráfica 1 se presenta la curva de calibración obtenida.

Gráfica 1. Curva de calibración % v/v de etilenglicol vs Gravedad Específica



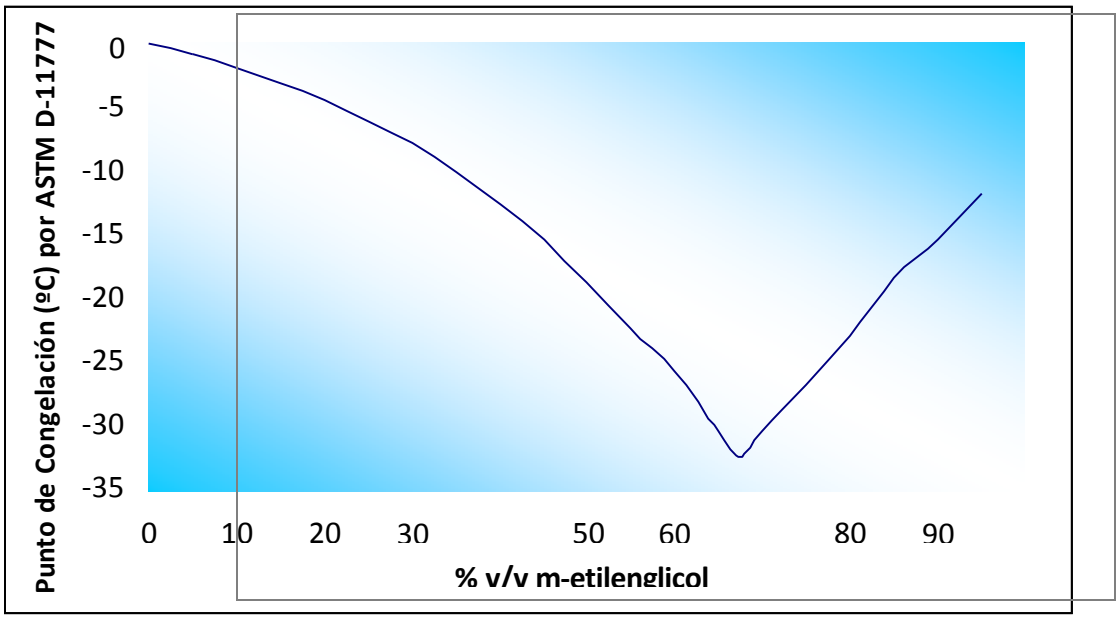
Utilizando la gráfica 1 se obtuvieron los % v/v de etilenglicol reales contenidos en cada mezcla. En la tabla 15 se observan los % v/v de etilenglicol obtenidos.

Tabla 15. % v/v de etilenglicol de las mezclas estudiadas

Mezclas	% v/v etilenglicol
A	10,40
B	42,45
C	77,24

El etilenglicol es uno de los componentes utilizado en la mayoría de los líquidos refrigerantes. Una razón por la cual se utiliza este aditivo es la protección anticongelante que ofrece, ya que a medida que se incrementa el % de etilenglicol en el sistema, el punto de congelamiento disminuye, como se muestra en la gráfica 2. Esta bondad que ofrece el etilenglicol al sistema es aprovechada en países donde la temperatura del ambiente alcanza valores sumamente bajos y un sistema basado 100% en agua correría el riesgo de congelarse, impidiendo la circulación del líquido a través del sistema de enfriamiento. La temperatura ambiente a la cual están sometidos los radiadores en Colombia en promedio es de 20ºC; por ende, no sería necesario modificar el punto de congelación.

Gráfica 2. Punto de congelación para soluciones acuosas de etilenglicol



Además de disminuir el punto de congelación del sistema, el punto ebullición es directamente proporcional al porcentaje de etilenglicol. Mientras mayor sea el porcentaje de etilenglicol, mayor será el punto de ebullición del sistema, lo cual es favorable para evitar pérdidas por evaporación, sin embargo, a medida que varía el porcentaje de etilenglicol, también varía la capacidad calorífica.

Tabla 16. Capacidades caloríficas para las mezclas estudiadas

Mezclas	Capacidad Calorífica cal/g · ºC
A	0,24
B	0,84
C	0,69

De los resultados obtenidos se tiene que la mezcla que ofrece mayores beneficios de transferencia de calor es el refrigerante B, con una capacidad calorífica de 0,84 cal/g°C, debido a su porcentaje de etilenglicol (42,45%), seguido por el refrigerante C con una capacidad calorífica de 0,69 cal/g°C y por último el refrigerante A con una capacidad calorífica de 0,24 cal/g°C.

3.2.6 Determinación de la tendencia a formar espuma. Para esta prueba se aplicó el procedimiento establecido en la norma ASTM D-1881-97[21], el cual consiste en colocar 145mL de mezcla en un cilindro graduado de 1000mL de capacidad e introducir en el cilindro un termómetro y un tubo para suministrarle aire a la solución. El tubo debe estar provisto de una piedra porosa en la punta para que las burbujas de aire suministrado sean homogéneas. El cilindro se introduce en un baño de María que debe permanecer regulado a 80°C. Cuando la mezcla alcance los 80°C se conecta el tubo a un flujometro de aire, que debe ser regulado a 1000mL/min. Se comienza a suministrar aire durante 5 min. Transcurridos los 5 min se lee en el cilindro el volumen alcanzado por la espuma formada, inmediatamente se cierra el flujo de aire y se toma el tiempo en que la espuma desaparece completamente, repitiendo el procedimiento 2 veces. Se reporta en una tabla el promedio de las 3 lecturas de volumen de espuma y el promedio del tiempo de ruptura de la espuma.

El contenido de etilenglicol y las sales agregadas al refrigerante para la inhibición, son responsables de la formación de espuma del refrigerante. Aquel refrigerante cuya tendencia a la formación de espuma sea alta provocará problemas de corrosión por picadura debido a que la bomba de agua se expone a cavitación, por la aspiración en vacío que se produce cuando el agua u otro líquido refrigerante pasa a gran velocidad por una arista afilada, produciendo una descompresión del fluido.

Puede ocurrir que se alcance la presión de vapor del líquido de tal forma que las moléculas que lo componen cambien inmediatamente a estado de vapor, formándose burbujas o cavidades. Las burbujas formadas viajan a zonas de

[21] NORMA ASTDM. Método para la determinación de la gravedad específica en líquidos refrigerantes [en línea] < http://file.yizimg.com/175706/201112060995622.pdf >

mayor presión e implosionan (el vapor regresa al estado líquido de manera súbita, aplastándose bruscamente las burbujas) produciendo una estela de gas y un rápido desgaste de la superficie que origina este fenómeno. La implosión causa ondas de presión que viajan en el líquido, éstas pueden disiparse en la corriente del líquido o pueden chocar con una superficie. Si la zona donde chocan las ondas de presión es la misma, el material tiende a debilitarse metalúrgicamente y se inicia una erosión que, además de dañar la superficie, provoca que ésta se convierta en una zona de mayor pérdida de presión y por ende de mayor foco de formación de burbujas de vapor. Si las burbujas de vapor se encuentran cerca o en contacto con una pared sólida cuando implosionan, las fuerzas ejercidas por el líquido al aplastar la cavidad dejada por el vapor dan lugar a presiones localizadas muy altas, ocasionando picaduras sobre la superficie sólida.

Por esta razón el líquido refrigerante debe ser pasivado de tal manera que no genere espuma mientras circula por el sistema de enfriamiento.

En la tabla 17 se observan los volúmenes de espuma alcanzados por cada muestra durante la prueba, siendo los mejores valores aquellos cuyo volumen alcanzado de espuma sea menor a 150mL y que el tiempo de ruptura de la misma sea en un tiempo no mayor a 5 segundos. De acuerdo a los volúmenes observados en la tabla 4.9, los refrigerantes B y C cumplen con los requerimientos establecidos en la norma ASTM D-1881-97 (Reaprobada 2002), mientras que para el refrigerante A no se pudo obtener el volumen de espuma ya que se interrumpió la prueba antes de culminar debido a que el nivel máximo del cilindro (1000mL) fue alcanzado y rebosado. La espuma es originada por las sales utilizadas como inhibidores, las cuales están contenidas en los refrigerantes; adicionalmente, el etilenglicol también origina espuma, por esta razón, los refrigerantes que contienen etilenglicol y/o sales disueltas, deben ser tratados con antiespumantes siliconados para minimizar la formación de espuma.

Tabla 17. Nivel de espuma alcanzado y tiempo de ruptura para cada muestra

Mezcla	**Volumen de Espuma (mL)**	**Tiempo de Ruptura (sg)**
A	**	**
B	20	3,5
C	28	4,7

**: No pudo ser medido.

3.2.7 Determinación de la corrosividad. Para esta prueba se aplicó el procedimiento establecido por la norma ASTM D-1384-01[22], el cual consiste en agregar 333mL de mezcla en un cilindro graduado de 1000mL de capacidad, completar con agua corrosiva hasta 1L. El agua corrosiva deberá contener 100ppm de iones sulfato, 100ppm de iones cloruro y 100ppm de iones bicarbonato. Colocar la solución preparada en un beaker e introducir un cupón de corrosión con los siguientes metales: cobre y aluminio, luego se tapa el beaker y se coloca a través del tapón un termómetro, un tubo de condensación y un tubo para suministrarle aire a razón de 100mL/min. Se coloca un calentador regulado a 80°C y deja montada la prueba durante 14 días. Transcurridos los 14 días se extrae el cupón de corrosión, se lavan por separadas cada una de las láminas de metal, se colocan en la estufa para secar y posteriormente se pesan. Por diferencia de pesada se obtiene el peso perdido durante la prueba y se reporta como miligramos de metal perdido.

El análisis de la velocidad de corrosión es una de las pruebas más importantes y determinantes a la hora de evaluar líquidos refrigerantes, ya que si se mantiene controlada la corrosión se alarga la vida útil del sistema de enfriamiento.

En la tabla 18 se observan los valores de masa obtenidos durante la prueba de corrosión y en la tabla 19 se observa la variación de masa que sufrió cada lámina. Los valores negativos en la tabla 18 significan que la lámina tuvo ganancia de masa debido a que las sales disueltas en los refrigerantes (anticorrosivas), reaccionan con la superficie del metal, formando una película que impide la interacción entre el fluido y el metal, protegiéndolo contra los ataques del medio. Al finalizar la prueba, las láminas son limpiadas con la finalidad de pesarlas para obtener la masa perdida de cada lámina, y de esa manera se observa si la lámina es atacada o no por la corrosión. Al momento de limpiar las láminas, parte de las partículas que se encontraban formando la película protectora permanecieron adheridas al metal aumentando el peso de las láminas con respecto al peso inicial. Los valores en rojo significan que la pérdida de masa de las láminas fue superior al valor máximo que especifica la prueba. Es de resaltar que durante la aplicación de la prueba no se determinó la velocidad de corrosión, tal y como se expresa en ecuación contenida en la norma; esto debido a que los valores de pérdida de masa obtenidos fueron determinantes y no fue necesario ahondar más en los resultados.

[22] NORMA ASTDM. Método para la determinación de la corrosividad en líquidos refrigerantes [en línea] < http://www.reco-cool.com/media/uploads/data_sheets/Bulletin_0007_12.pdf >

Tabla 18. Valores de masa obtenidos para diferentes láminas en la prueba de corrosión

Lámina	Mezclas	Peso (g) al inicio de la prueba			Peso (g) al final de la prueba			Diferencia (mg)
		1	2	Prom.	1	2	Prom.	
Cobre	A	16,725	16,718	16,7215	4,654	4,897	4,7755	11,95
	B	16,294	16,2928	16,2932	16,2933	16,2936	16,29345	0,15
	C	17,7622	17,762	17,7621	15,76	15,163	15,4615	2,3
Aluminio	A	15,987	16,102	16,0445	6,876	6,275	6,5755	9,469
	B	11,2877	11,2868	11,2869	11,2885	11,2869	11,2877	0.8
	C	10,9939	10,9926	10,9933	8,95	8,983	8,9665	2,03

Tabla 19. Variación de la masa (mg) para diferentes láminas en la prueba de corrosión.

Mezclas	Cobre	Aluminio
A	11,95	9,469
B	0,15	0.8
C	2,3	2,03
Especificación (variación de masa en mg)	≤ 10	≤ 30

En un sistema de enfriamiento automotor, los metales procesados más comunes son: cobre y aluminio.

Según los datos obtenidos en la Tabla 19 se observa que la lámina de Cobre utilizada en la muestra A fue la que sufrió mayor desgaste.

También se observa que las mezcla A no ofrece protección al aluminio, mientras que los refrigerantes B y C ofrecen buena protección. Es de resaltar que el sistema de enfriamiento en su diseño contempla en su mayoría piezas que contienen aluminio como material de fabricación.

De las mezclas analizadas la B cumplió con las especificaciones de la prueba de corrosión, de acuerdo a norma ASTM D-4985, ya que ofrecen óptima protección a todas las láminas analizadas.

3.3 MUESTRA DE CÁLCULO

3.3.1 Determinación de los índices de estabilidad. Para el cálculo de los índices de estabilidad de Langelier (IL) y de Ryznar (IR), se utilizaron los datos mostrados

en la tabla 4, sobre análisis fisicoquímico realizado al agua utilizada para la fabricación.

Para calcular los índices de estabilidad de esta muestra de agua fue necesario calcular primero el ISL mediante la ecuación 3.

Para ello, fue necesario calcular las constantes TF, AF Y HF empleando la tabla de las constantes mostrada en la tabla 4.

La constante TF depende de la temperatura de la muestra, en este caso se toma 25 ºC, por lo que tiene un valor de 0,6, la constante AF depende de la alcalinidad que es de 100 ppm su constante es de 2,0 y la constante HF depende de la dureza que tiene un valor de 75 ppm su constante es igual a 1,9. Por lo tanto, el ISL quedó de la siguiente manera:

ISL= PH + TF + AF+ HF – 12,5
ISL= 8 + 0,6 + 2,0 + 1,9 – 12,5
ISL= 0

El valor de pHs es obtenido por la ecuación 2:
Índice de Langelier (ISL) = PH – PH_S
PH_S = 8 + 0
PH_S = 8

Y de la ecuación 3 obtenemos:
Índice de Ryznar (IR) = 2*(PH_S) – PH
IR = 2* 8 – 8
IR= 8

3.3.2 Cálculo de la capacidad calorífica para distintas concentraciones de etilenglicol. Para un fluido cuya composición líquida esté representada por etilenglicol y agua, se tiene que la capacidad calorífica viene expresada por la siguiente:

Ecuación 5

C_P = - 0,42 X + 1
donde:
Cp: es la capacidad calorífica del fluido en [cal/g·ºC]
X: es la fracción volumétrica de etilenglicol presente en el fluido.

De igual manera se realizan los cálculos para distintos porcentajes de etilenglicol y los resultados son mostrados en la tabla 15.

En la tabla 20 se observa el valor de capacidad calorífica para distintos porcentajes de etilenglicol. Con los datos de la tabla 11 se construyó la gráfica de

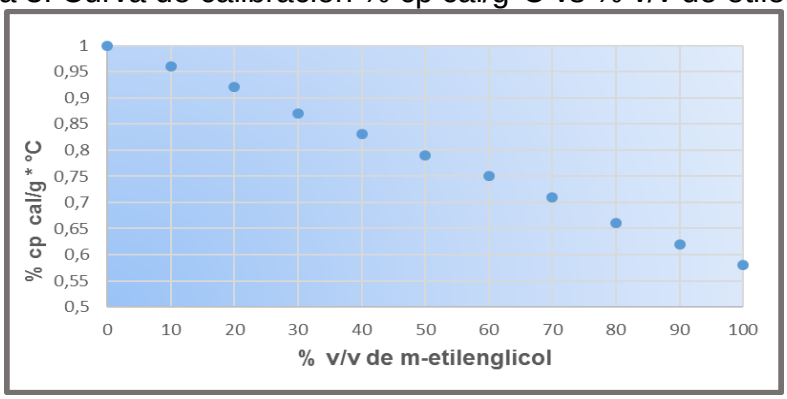
capacidad calorífica vs % etilenglicol mostrada en la gráfica 3 se observa que a medida que se incrementa el porcentaje de etilenglicol, disminuye la capacidad calorífica de la mezcla y por ende, disminuye la capacidad que tiene el fluido de enfriamiento para absorber el calor generado por el radiador.

Tabla 20. Capacidad calorífica para distintos porcentajes de etilenglicol

%v/v de etilenglicol	Capacidad Calorífica cal/g · ºC
0	1,00
10	0,96
20	0,92
30	0,87
40	0,83
50	0,79
60	0,75
70	0,71
80	0,66
90	0,62
100	0,58

Los valores de porcentaje de etilenglicol mostrados en la tabla 15, fueron introducidos en la gráfica 3, con lo cual se obtuvieron los valores de capacidad calorífica para cada mezcla.

Gráfica 3. Curva de calibración % cp cal/g°C vs % v/v de etilenglicol



3.3.3 Determinación del % de etilenglicol de los refrigerantes estudiados. Para determinar el % de etilenglicol se construyó una curva de calibración, la cual se realizó a partir de diluciones sucesivas de una muestra de etilenglicol puro.

La gráfica 1 se construyó con los datos contenidos en la tabla 14.

Para obtener la ecuación de la recta trazada se debe obtener primero la pendiente, utilizando la ecuación de la pendiente para una recta, la cual se muestra a continuación:

Ecuación 6

$$m = \frac{Y2 - Y1}{X2 - X1}$$

Donde
Y2 : Valor de % v/v de etilenglicol en el punto 2
Y1 : Valor de % v/v de etilenglicol en el punto 1
X2 : Valor de gravedad específica en el punto 2
X1 : Valor de gravedad específica en el punto 1
La ecuación de la recta trazada se obtiene utilizando la ecuación punto-pendiente, la cual se muestra a continuación:

Ecuación 7

$$\boxed{Y - Y1 = m\,(X - 1)}$$

Donde:

Y : Valor de % v/v de etilenglicol
Y1 : Valor de % v/v de etilenglicol en el punto 1
X : Valor de gravedad específica en el punto 2
X1 : Valor de gravedad específica en el punto 1

Tomando los datos de gravedad específica obtenidos para cada refrigerante de la tabla 14, y sustituyéndolo en la ecuación de la recta obtenida, se tiene como resultado para las muestras y los valores son mostrados en la tabla 16.

3.4 SELECCIÓN DE PRODUCTO

3.4.1 Análisis de la caracterización del agua utilizada en la fabricación del líquido refrigerante. Los resultados arrojados de los Índices de Langelier y de Ryznar, muestra que el agua presenta una tendencia altamente corrosiva (IL<0 e IR>8).

La dureza total de la muestra fue de 75 ppm; ésto representa una dureza del tipo temporal, ya que son sales solubles de bicarbonato de calcio, las que se encuentran contenidas en el agua. El contenido de dureza de la muestra no sobrepasa el límite máximo permisible para aguas en sistemas de enfriamiento de motores, que es de 170 ppm.

Comparando la cantidad de sólidos disueltos contenidos en esta muestra (5,6ppm) con el contenido máximo permisible para aguas usadas en sistemas de enfriamiento de motores, el cual es de 340 ppm, se observa que esta muestra de agua se ubica dentro de las características recomendadas para los sistemas de enfriamiento de motores, es decir, es un agua óptima para la fabricación de líquido refrigerante.

Tabla 21. Parámetros físicos según Norma Técnica Colombiana NTC 3614 para líquido refrigerante automotriz.

PROPIEDAD	VALORES ESPECÍFICOS	NORMA ASTM
Temperatura de Ebullición (°C)	163 mínimo	D 1120
Ph	7.5 – 11.0	D 1287
Reserva Alcalina	5.5 máximo	D 1121
Gravedad Específica	1.110 – 1.145	
% etilenglicol	40% - 70%	D 1122
Formación de Espuma (sg)	5 máximo	D 1881
Protección a la Corrosión Cobre (mg)	10 máximo	D 1384
Protección a la Corrosión Aluminio (mg)	30 máximo	D 1384

Fuente: Norma Técnica Colombiana NTC 3614.

Tabla 22. Matriz de evaluación para la selección del producto[23]

Pruebas	Mezclas		
	A	B	C
Temperatura de Ebullición (°C)	102	168	184
pH	4.5	8.5	11
Reserva Alcalina	0.89	3.67	2.49
Gravedad Específica	1.0251	1.0597	1.0764
% etilenglicol	10.40	42.45	77.24
Capacidad Calorífica (cal/g°C)	0.24	0.68	0.69
Formación de Espuma (sg)	N.D	4.7	3.5
Protección a la Corrosión Cobre (mg)	11.93	0.15	2.3
Protección a la Corrosión Aluminio (mg)	9.469	0.8	2.03

[23] NORMA TÉCNICA COLOMBIANA 3614. [en línea] <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC3614.pdf> [citada el 18 de mayo de 1994].

Para la selección del producto se toma como base los resultados obtenidos en las pruebas de caracterización de los distintos refrigerantes. Para ello se seleccionó el producto que cumple con los requerimientos del sistema de enfriamiento de los radiadores automotrices. En la tabla 22 se muestran los valores obtenidos en las diferentes pruebas de laboratorio a las que fueron sometidas las mezclas.

De acuerdo a los resultados obtenidos las mezclas B y C cumplieron con todos los requerimientos del sistema de enfriamiento automotriz como se observa en los valores de la Tabla 21. Sin embargo la mezcla C debido a su mayor concentración no sería aplicable en Colombia considerando el factor anticongelante porque no existen temperaturas inferiores a los 0°C, además porque además porque este refrigerante con esta concentración de etilenglicol tiende a ser corrosivo con las partes metálicas del sistema de enfriamiento automotriz, que es lo que garantiza que posteriormente no ocurran obstrucciones en las tuberías por precipitación de sales, fugas de líquido por desgaste de los sellos, colapso del sistema de enfriamiento u otras fallas asociadas al refrigerante, así bien la mezcla que mejor comportamiento tiene para el uso en automóviles sería la B.

4. ANÁLISIS DE COSTOS

El sistema de producción de líquido refrigerante automotriz COOLMAX de la empresa ECOQUIMICOS está conformado por diferentes equipos, para el presente análisis es necesario conocer los costos de fabricación y operación del sistema.

Los costos involucrados se establecieron por medio de cotizaciones realizadas por proveedores pertenecientes al sector. Se ejecuta un análisis de costos anual de la implementación de la alternativa seleccionada para ECOQUIMICOS.

4.1 COSTOS DE MATERIAS PRIMAS

Para la fabricación del líquido refrigerante automotriz COOLMAX se utilizan compuestos como el agua desmineralizada, etilenglicol, aditivo anticorrosivo (Silicato de Aluminio y Trolitiazol), antiespumante y colorante.

Tabla 23. Costo de los compuestos Químicos.

Insumo	Marca	Descripción	Costo
Agua	Laboratorio Ecoquímicos	m^3	$ 2.132
Etilenglicol	Química Cosmos	Tambor (55 gl)	$ 817.500
Anticorrosivo 1 (silicato)	Laboratorios Fabcom	Bulto (50 kg)	$ 103.478
Anticorrosivo 2 (tolitriazol)	Laboratorios Andia	Bulto (50 kg)	$ 150.000
Antiespumante	Química Cosmos	Garrafa (20 kg)	$ 239.600
Colorantes	Laboratorios Novacolor	Bulto (25 kg)	$ 992.000

De acuerdo al estudio del diagnóstico se determina el promedio del consumo de agua en la empresa, el cual es de 24.000 L mensuales, esto quiere decir que son 923 L/dia.

4.2 COSTOS DE MEJORA DEL PRODUCTO

Para este análisis se tuvo en cuenta los costos de los insumos utilizados en la mezcla B, así como los costos de envasado y etiquetado para la elaboración de la alternativa de mejora del producto, se observa que los precios son bajos, debido a que el proyecto fue realizado a escala laboratorio, en el que se utilizaron pequeñas cantidades de cada aditivo, y se calculó el valor económico en pesos colombianos (COP) del porcentaje utilizado para la formulación.

Tabla 24. Costo de producción mezcla B

Producto	Cantidad por unidad de medida	Cantidad utilizada en el laboratorio	Precio (COP)
Agua desmineralizada	3.78 L	1.701 L	$ 4190
Etilenglicol	3.78 L	1.512 L	$ 5235
Silicato de Aluminio	1 Lb	0.1512 g	$ 347
Tolitriazol	1 Lb	0.1512 g	$ 347
Antiespumante	1 Lb	0.0756 g	$ 410
Colorantes	1 Lb	0,189 g	$ 3397
Envase	1 Gl	1 Gl	$ 2000
Etiqueta	1 Un	1 Un	$ 400
Total			**$ 15979**

Teniendo en cuenta que la alternativa escogida fue la mezcla B, se observa que tiene un costo de fabricación de $ 15979 COP.

4.3 COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN

Tabla 25. Costos indirectos de fabricación

Detalles	Costo Mensual	Costo Día
Energía	$ 270.000	$ 10.385
Agua	$ 250.000	$ 9.615
Arrendamiento	$ 1.000.000	$ 38.461
Mano de obra directa	$ 2.068.362	$ 79.552
Dotación y Utensilios	$ 100.000	$ 3.846
Mantenimiento Maquinaria	$ 150.000	$ 5.769
Transporte	$ 400.000	$ 15.385
Total	$ 2898908	$ 163.013

4.4 COSTOS DE PRODUCCIÓN

- Los costos de producción diarios de la empresa ECOQUIMICOS serán entonces; al día se fabrican aproximadamente 244 galones de líquido refrigerante automotriz, con unidad de empaque por 6 galones, serían alrededor de 40 cajas diarias.

- El costo de materias primas e insumos son de $ 15.979 por galón * por 244 galones= $ 3.898.876 diarios.

- El costo indirecto de producción es de $ 163.013 diarios/ 244 galones diarios = $ 668 diarios por galón.

- El costo de materias primas, insumos y costos indirectos de fabricación por galón darían entonces: $ 15.979 + $ 668 = $ 16647 por galón de líquido refrigerante automotriz.

- La empresa ECOQUÍMICOS trabaja con un porcentaje de ganancia del 40%, entonces el precio de venta al público sería de $ 23.309 COP.

Se procede entonces a hacer una comparación entre COOLMAX y dos marcas más de líquido refrigerante automotriz conocidos en el mercado, para así poder identificar si la alternativa de mejora es o no competitiva.

Tabla 26. Comparación diferentes marcas de líquido refrigerante

Marcas	Concentración Etilenglicol	Procedencia	Precio Unitario
COOLANT	9%	Nacional	$ 15.000
COOLMAX	40%	Nacional	$ 23.309
AC DELCO	50%	Americano	$ 30.000

El líquido refrigerante automotriz más económico es COOLANT, este ofrece una concentración de etilenglicol del 9%, con los cálculos hechos anteriormente se puede observar que, a esa concentración de etilenglicol, no cumpliría con los requerimientos de normatividad para una buena protección del sistema de enfriamiento.

Le sigue COOLMAX con una concentración del 40% cumpliendo con toda la normatividad para un buen funcionamiento de los sistemas de enfriamiento automotriz y están listos para utilizar.

Por último, está el AC DELCO, este ofrece una concentración del 50%, cumple con los requerimientos y normatividad, pero existe una recomendación del fabricante y es diluirlo con agua destilada debido a que el producto de fábrica para zonas donde existen estaciones climáticas y se utilice como anticongelante.

5. CONCLUSIONES

- Se determinó que la falta de un inhibidor anticorrosivo en la fabricación de líquido refrigerante es uno de los problemas más graves que la empresa Ecoquímicos enfrenta con su producto, debido a que no protege las superficies del radiador y sus partes, ocasionando así un desgaste en el material y el no cumplimiento de la normatividad establecida.

- Los demás componentes para la fabricación de líquido refrigerante, cuyas caracterizaciones fueron realizadas, se encontraban en la normativa, señalaron cumplimiento absoluto a la misma y evidenciaron que son apropiadas para el su uso en la producción y comercialización del producto final obtenido.

- Con la alternativa de mejora propuesta y sus mezclas realizadas, se obtuvo buenos resultados en las pruebas de evaluación, las mezclas B y C con concentraciones del 40% y 75% de etilenglicol respectivamente, arrojaron los mejores resultados y al ser comparadas con la norma cumplieron con las condiciones y requerimientos necesarios para su comercialización.

- Para la selección de la mezcla B se tuvo en cuenta que cumpliera con los requisitos normativos NTC 3614 para las condiciones climáticas y geográficas de nuestro territorio, garantizando el uso del producto directamente en el sistema de enfriamiento automotriz.

- Se comprobó que la mezcla C, aunque cumple con la mayoría de condiciones sujetas a la normatividad no es apta para el uso, debido a que por su alta concentración de etilenglicol 75% su propiedad principal es ser anticongelante en lugares donde se presentan estaciones climáticas y su protección a la corrosión y cavitación es susceptible.

- Ante la comparación con otros productos reconocidos en el mercado se determina que la alternativa de mejora es competitiva por su precio de venta $23.309 COP y su rentabilidad a la empresa que es del 40%.

6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar el montaje de una línea de producción eficiente, con un envasado y etiquetado semiautomatizado, debido a que por el momento se hace de forma manual acarreando demoras y pérdidas en el proceso.

- Se recomienda realizar un sellado de envase con foile de aluminio para evitar la entrada de contaminantes por agentes externos al producto final.

- Implementar un sistema de gestión documental, con el fin de realizar la trazabilidad necesaria a materias primas durante el proceso de producción.

- Implementar rutinas de toma de muestras por lote de producción, con el fin de asegurar el uso de la alternativa de mejora identificada en este proyecto.

- Se recomienda evaluar otra alternativa de mejora con concentraciones de etilenglicol intermedias entre el 40% y 70% recomendadas por la Norma Técnica Colombiana NTC 3614.

BIBLIOGRAFÍA

BAUTISTA, CARLOS y GIRALDO LUIS. Diseño de propuesta de mejoramiento del área de mercadeo, servicio y estandarización de los procesos de producción de laboratorios, utilizando como metodología la gerencia y el control estadístico de procesos. Universidad javeriana 2009.

BUSTAMANTE, S. Termodinámica y el concepto de entropía. http://www.ilustrados.com/publicaciones/epzkapulkkgruiqyxj.php (2004)

CARMONA, GABRIEL ALEJANDRO. Evaluación de refrigerantes para el sistema de enfriamiento de los motocompresores ubicados en la superintendencia de plantas del distrito san tomé. Universidad de oriente en el año 2007.

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL. El efecto de los aditivos anticongelantes en hormigón fresco sometido a ciclos de congelación y descongelación. Universidad Atatürk, Turquía.

GARCIA, DÍAZ MARTIN. Composición de un líquido anticongelante polivalente. Patente año 2001.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIONES NTC 1486. Documentación, presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. Sexta actualización 2008-07-23,36 páginas.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIONES NTC 3614. Productos Químicos, líquido refrigerante anticorrosivo, elevador del punto de ebullición, con base en etilenglicol para uso en automóviles y motores de servicio liviano. 1994-05-18, 6 páginas.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIONES NTC 4490. Referencias documentales para fuentes de información electrónicas.1998-10-28, 23 páginas.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIONES NTC 5613. Referencias bibliográficas, contenido, forma y estructura. 2008-07-23, 33 páginas.

S.M. PEYGHAMBARZADEH, S.H. HASHEMABADI, S.M. HOSEINI, M. SEIFI JAMNANI. Estudio experimental para la mejora de transferencia de calor utilizando nanofluídos a base de agua y etilenglicol como un nuevo refrigerante para radiadores de automóviles. Departamento de Ingeniería Química, Universidad Islamica Azad, Irán.

TAPIA, GUILLERMO. Determinación de causas de la degradación de un módulo del sistema de enfriamiento de un motor de combustión interna. Universidad Autónoma de México 2010.

ANEXOS

ANEXO A

CARACTERIZACIÓN AGUA DESMINERALIZADA

INSPECTORATE COLOMBIA LTDA.
Calle 76 No. 54 – 11, Piso 10 Edificio World Trade
Center Tel: +57 (5) 3669450
Barranquilla, Colombia
ambiental@inspectorate.com.co

INSPECTORATE

REPORTE DE ENSAYO AMBIENTAL

ORDEN DE SERVICIO:		01-23673	
CODIGO MUESTRA:		15005	
CLIENTE:		ECOQUIMICOS	
NIT/CC:		UBICACION:	BOGOTÁ
DIRECCION:		CALLE 79 A # 62 - 03	
SOLICITADO POR:		Jenny Gonzalez	
AUTORIZADO POR			
NATURALEZA DE LA MUESTRA:			ANALISIS FISICO-QUIMICO
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:			AGUA DEMINERALIZADA
MUESTRA SUMINISTRADA POR:			ECOQUIMICOS
LUGAR DE RECOLECCION DE MUESTRA:		BOGOTA	
FECHA DE RECOLECCION	15/10/2016	HORA DE RECOLECCION:	9:00 AM
FECHA DE RECEPCION	17/10/2016	ELABORACION REPORTE	25/10/2016
INICIO PROCESO	18/10/2016	FINALIZACION PROCESO	24/10/2016

ENSAYO	RESULTADOS	UNIDADES	TECNICA ANALITICA
Hierro Total	0,01	mg/L	Standard Methods 3120 B
Potasio	No Detectable	mg/L	Standard Methods 3120 B
Magnesio	0,01	mg/L	Standard Methods 3120 B
Bario	No Detectable	mg/L	Standard Methods 3120 B
Estroncio	No Detectable	mg/L	Standard Methods 3120 B
Manganeso	No Detectable	mg/L	Standard Methods 3120 B
Sodio	0,02	mg/L	Standard Methods 3120 B
Calcio	No Detectable	mg/L	Standard Methods 3120 B
pH a 25 °C	8	Unidades	Electrométrico
Conductividad a 25 °C	4	µS/cm	Conductimétrico
Alcalinidad Total	100	mg/L CaCO3	Volumétrico
Dureza Total	75	mg/L CaCO3	Volumétrico-Edta
Solidos disueltos a 25 °C	5,6	mg/L	Electrométrico
Solidos totales	5,6	mg/L	Secado a 103-105 °C - Gravimétrico
Cloruros	No Detectable	mg/L Cl-	Argentométrico
Sulfatos	20	mg/L SO4-2	Turbidimétrico
Carbonatos	No Detectable	mg/L CaCO3	Volumétrico-Cálculo
Bicarbonatos	0	mg/L CaCO3	Volumétrico-Cálculo
Indice de Langelier	0	-	Cálculo

* VALOR DE REFERENCIA:

OBSERVACIONES:

El presente informe de ensayo solo afecta a la muestra identificada.
Este informe no deberá reproducirse parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito de Inspectorate Colombia Ltda.
Este@28 informe no deberá reproducirse parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito de Inspectorate Colombia Ltda.

Analista Fisicoquimico e instrumental:

Supervisor de Laboratorio / Director Tecnico

FORMATO "REP-ENSAYO" REV # 1 08/15

ANEXO B

CARACTERIZACIÓN ETILENGLICOL

INSPECTORATE COLOMBIA LTDA.
Calle 76 No. 54 – 11, Piso 10 Edificio World Trade Center Tel:
+57 (5) 3669450
Barranquilla, Colombia ambiental@inspectorate.com.co

INSPECTORATE

REPORTE DE ENSAYO			
ORDEN DE SERVICIO:		01-23673	
CODIGO MUESTRA:		15006	
CLIENTE:		ECOQUIMICOS	
NIT/CC:		UBICACION:	BOGOTÁ
DIRECCION:		CALLE 79 A # 62 - 03	
SOLICITADO POR:		Jenny Gonzalez	
AUTORIZADO POR			
NATURALEZA DE LA MUESTRA:			ANALISIS FISICO-QUIMICO
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:			ETILENGLICOL
MUESTRA SUMINISTRADA POR:			ECOQUIMICOS
LUGAR DE RECOLECCION DE MUESTRA:		BOGOTA	
FECHA DE RECOLECCION	15/10/2016	HORA DE RECOLECCION:	9:00 AM
FECHA DE RECEPCION	17/10/2016	ELABORACION REPORTE	25/10/2016
INICIO PROCESO	18/10/2016	FINALIZACION PROCESO	24/10/2016

ENSAYO	RESULTADOS	UNIDADES	TECNICA ANALITICA
Hierro Total	0,2	ppm	Standard Methods: 105
Cenizas	0,005	% peso	Standard Methods: 104
Dietilenglicol	0,1	% peso	Standard Methods: 100
Agua	0,15	% peso	Standard Methods: 002
Acidez, como acido acético	0,005	% peso	Standard Methods: 108
Pureza	99.5	% peso	Standard Methods: 100-impurezas
Peso Especifico	1,1151	20/20 °C	Standard Methods: 004
Punto Ebullicion Inicial	196	°C	Calculo
Punto Seco	200	° C	Calculo
Apariencia		Liquido Claro	Visual
Olor		Caracteristico	Organoléptico
Color	10	Pt- Co	Standard Methods: 001

*** VALOR DE REFERENCIA:**

OBSERVACIONES:

El presente informe de ensayo solo afecta a la muestra identificada.
Este informe no deberá reproducirse parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito de Inspectorate Colombia Ltda.
Este informe no deberá reproducirse parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito de Inspectorate Colombia Ltda.

Analista Fiscoquimico e instrumental:

Supervisor de Laboratorio / Director Tecnico

FORMATO "REP-ENSAYO" REV # 1 08/15

ANEXO C

CARACTERIZACIÓN ANTIESPUMANTE SILICONADO

INSPECTORATE COLOMBIA LTDA.
Calle 76 No. 54 – 11, Piso 10 Edificio World Trade Center Tel: +57 (5) 3669450
Barranquilla, Colombia ambiental@inspectorate.com.co

INSPECTORATE

REPORTE DE ENSAYO			
ORDEN DE SERVICIO:		01-23673	
CODIGO MUESTRA:		15009	
CLIENTE:		ECOQUIMICOS	
NIT/CC:		UBICACION:	BOGOTÁ
DIRECCION:		CALLE 79 A # 62 - 03	
SOLICITADO POR:		Jenny Gonzalez	
AUTORIZADO POR			
NATURALEZA DE LA MUESTRA:			ANALISIS FISICO-QUIMICO
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:			ANTIESPUMANTE
MUESTRA SUMINISTRADA POR:			ECOQUIMICOS
LUGAR DE RECOLECCION DE MUESTRA:		BOGOTA	
FECHA DE RECOLECCION	15/10/2016	HORA DE RECOLECCION:	9:00 AM
FECHA DE RECEPCION	17/10/2016	ELABORACION REPORTE	25/10/2016
INICIO PROCESO	18/10/2016	FINALIZACION PROCESO	24/10/2016

ENSAYO	RESULTADOS	UNIDADES	TECNICA ANALITICA
Viscosidad	4.0	cps	Standard Methods: 104
Pureza	21	% peso	Standard Methods: 100-impurezas
pH a 25 °C	5	Unidades	Electrométrico
Densidad	0,95	gr/cm3	Standard Methods: 004
Punto Ebullición	300	°C	Cálculo
Apariencia		Liquido	Visual
Olor		Característico	Organoléptico
Color	Blanco	Cremoso	Standard Methods: 001

*** VALOR DE REFERENCIA:**

OBSERVACIONES:

El presente informe de ensayo solo afecta a la muestra identificada.
Este informe no deberá reproducirse parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito de Inspectorate Colombia Ltda.
Este informe no deberá reproducirse parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito de Inspectorate Colombia Ltda.

Analista Fiscoquimico e instrumental:

Supervisor de Laboratorio / Director Tecnico

FORMATO "REP-ENSAYO" REV # 1 08/15

ANEXO D

CARACTERIZACIÓN COLORANTE

INSPECTORATE COLOMBIA LTDA.
Calle 76 No. 54 – 11, Piso 10 Edificio World Trade Center Tel: +57 (5) 3669450
Barranquilla, Colombia ambiental@inspectorate.com.co

INSPECTORATE

REPORTE DE ENSAYO			
ORDEN DE SERVICIO:		01-23673	
CODIGO MUESTRA:		15010	
CLIENTE:		ECOQUIMICOS	
NIT/CC:		UBICACION:	BOGOTÁ
DIRECCION:		CALLE 79 A # 62 - 03	
SOLICITADO POR:		Jenny Gonzalez	
AUTORIZADO POR			
NATURALEZA DE LA MUESTRA:			ANALISIS FISICO-QUIMICO
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:			COLORANTE
MUESTRA SUMINISTRADA POR:			ECOQUIMICOS
LUGAR DE RECOLECCION DE MUESTRA:		BOGOTA	
FECHA DE RECOLECCION	15/10/2016	HORA DE RECOLECCION:	9:00 AM
FECHA DE RECEPCION	17/10/2016	ELABORACION REPORTE	25/10/2016
INICIO PROCESO	18/10/2016	FINALIZACION PROCESO	24/10/2016

CARACTERÍSTICAS	RESULTADOS	UNIDADES	TECNICA ANALITICA
Tamaño de Partícula	3-4	µ	Standard Methods: 104
Aceite de Absorción	50 - 60	gr/gr pigmento	Standard Methods: 100-impurezas
Densidad	0.27 ± 0.02	gr/cm3	Electrométrico
Punto de Descomposición	210	°C	Standard Methods: 004
Punto Ablandamiento	130-140	°C	Cálculo
Apariencia		sólido	Visual
Olor		Característico	Organoléptico
Color	Rojo, Verde, Azul, Naranja	Polvo	Standard Methods: 001

* VALOR DE REFERENCIA:

OBSERVACIONES:

El presente informe de ensayo solo afecta a la muestra identificada.
Este informe no deberá reproducirse parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito de Inspectorate Colombia Ltda.
Este informe no deberá reproducirse parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito de Inspectorate Colombia Ltda.

Analista Fiscoquimico e instrumental:

Supervisor de Laboratorio / Director Tecnico

FORMATO "REP-ENSAYO" REV # 1 08/15

ANEXO E

CARACTERIZACIÓN SILICATO DE ALUMINIO

INSPECTORATE COLOMBIA LTDA.
Calle 76 No. 54 – 11, Piso 10 Edificio World Trade Center Tel: +57
(5) 3669450
Barranquilla, Colombia ambiental@inspectorate.com.co

INSPECTORATE

REPORTE DE ENSAYO

ORDEN DE SERVICIO:		01-23673	
CODIGO MUESTRA:		15008	
CLIENTE:		ECOQUIMICOS	
NIT/CC:		UBICACION:	BOGOTÁ
DIRECCION:		CALLE 79 A # 62 - 03	
SOLICITADO POR:		Jenny Gonzalez	
AUTORIZADO POR			
NATURALEZA DE LA MUESTRA:			ANALISIS FISICO-QUIMICO
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:			SILICATO DE ALUMINIO
MUESTRA SUMINISTRADA POR:			ECOQUIMICOS
LUGAR DE RECOLECCION DE MUESTRA:		BOGOTA	
FECHA DE RECOLECCION	15/10/2016	HORA DE RECOLECCION:	9:00 AM
FECHA DE RECEPCION	17/10/2016	ELABORACION REPORTE	25/10/2016
INICIO PROCESO	18/10/2016	FINALIZACION PROCESO	24/10/2016

ENSAYO	RESULTADOS	UNIDADES	TECNICA ANALITICA
Hierro Total	17	mg/L	Standard Methods: 3120 B
Aluminio	26	mg/L	Standard Methods: 3120 B
Silice	50	mg/L	Standard Methods: 3120 B
Calcio	5	mg/L	Standard Methods: 3120 B
Potasio	5	mg/L	Standard Methods: 3120 B
Sodio	5	mg/L	Standard Methods: 3120 B
Magnesio	5	mg/L	Standard Methods: 3120 B
Azúfre	2	mg/L	Standard Methods: 3120 B
Peso Específico	2,5	kg/dm	Electrométrico
Conductividad a 25 °C	15	µS/cm	Conductimétrico
Densidad	2,2	kg/dm	Volumétrico
Dureza Total	7	mg/L CaCO3	Volumétrico-Edta
Cloruros	10	mg/L	Standard Methods: 3120 B
Apariencia		Sólido	Visual
Color	Negro	Granular	Visual
Olor		Característico	Organoléptico

* VALOR DE REFERENCIA:

OBSERVACIONES:

El presente informe de ensayo solo afecta a la muestra identificada.
Este informe no deberá reproducirse parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito de Inspectorate Colombia Ltda.
Este informe no deberá reproducirse parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito de Inspectorate Colombia Ltda.

Analista Fiscoquimico e instrumental:

Supervisor de Laboratorio / Director Tecnico

FORMATO "REP-ENSAYO" REV # 1 08/15

ANEXO F

CARACTERIZACIÓN TOLITRIAZOL

INSPECTORATE COLOMBIA LTDA.
Calle 76 No. 54 – 11, Piso 10 Edificio World Trade Center Tel: +57 (5) 3669450
Barranquilla, Colombia ambiental@inspectorate.com.co

INSPECTORATE

REPORTE DE ENSAYO			
ORDEN DE SERVICIO:		01-23673	
CODIGO MUESTRA:		15007	
CLIENTE:		ECOQUIMICOS	
NIT/CC:		UBICACION:	BOGOTÁ
DIRECCION:		CALLE 79 A # 62 - 03	
SOLICITADO POR:		Jenny Gonzalez	
AUTORIZADO POR			
NATURALEZA DE LA MUESTRA:			ANALISIS FISICO-QUIMICO
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:			TOLITRIAZOL
MUESTRA SUMINISTRADA POR:			ECOQUIMICOS
LUGAR DE RECOLECCION DE MUESTRA:		BOGOTA	
FECHA DE RECOLECCION	15/10/2016	HORA DE RECOLECCION:	9:00 AM
FECHA DE RECEPCION	17/10/2016	ELABORACION REPORTE	25/10/2016
INICIO PROCESO	18/10/2016	FINALIZACION PROCESO	24/10/2016

ENSAYO	RESULTADOS	UNIDADES	TECNICA ANALITICA
Humedad	0,2	ppm	Standard Methods: 105
Cenizas	0,005	% peso	Standard Methods: 104
Pureza	99.5	% peso	Standard Methods: 100-impurezas
pH a 25 °C	6	Unidades	Electrométrico
Densidad	1,1151	kg/dm3	Standard Methods: 004
Punto Fusión	84	°C	Calculo
Apariencia		Solido	Visual
Olor		Característico	Organoléptico
Color	Blanco	Polvo	Standard Methods: 001

* VALOR DE REFERENCIA:

OBSERVACIONES:

El presente informe de ensayo solo afecta a la muestra identificada.
Este informe no deberá reproducirse parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito de Inspectorate Colombia Ltda.
Este informe no deberá reproducirse parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito de Inspectorate Colombia Ltda.

Analista Fiscoquimico e instrumental:

Supervisor de Laboratorio / Director Tecnico

FORMATO "REP-ENSAYO" REV # 1 08/15

AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL LUMIERES

Yo **Jenny Lizbeth González Clavijo** en calidad de titular de la obra **Propuesta de mejoramiento del líquido refrigerante automotriz fabricado por la empresa Ecoquímicos**, elaborada en el año **2016** , autorizo al **Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad América** para que incluya una copia, indexe y divulgue en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales que me corresponde y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normatividad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).

Al respecto como Autor manifiesto conocer que:

- La autorización es de carácter no exclusiva y limitada, esto implica que la licencia tiene una vigencia, que no es perpetua y que el autor puede publicar o difundir su obra en cualquier otro medio, así como llevar a cabo cualquier tipo de acción sobre el documento.

- La autorización tendrá una vigencia de cinco años a partir del momento de la inclusión de la obra en el repositorio, prorrogable indefinidamente por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales del autor y podrá darse por terminada una vez el autor lo manifieste por escrito a la institución, con la salvedad de que la obra es difundida globalmente y cosechada por diferentes buscadores y/o repositorios en Internet, lo que no garantiza que la obra pueda ser retirada de manera inmediata de otros sistemas de información en los que se haya indexado, diferentes al Repositorio Digital Institucional – Lumieres de la Fundación Universidad América.

- La autorización de publicación comprende el formato original de la obra y todos los demás que se requiera, para su publicación en el repositorio. Igualmente, la autorización permite a la institución el cambio de soporte de la obra con fines de preservación (impreso, electrónico, digital, Internet, intranet, o cualquier otro formato conocido o por conocer).

- La autorización es gratuita y se renuncia a recibir cualquier remuneración por los usos de la obra, de acuerdo con la licencia establecida en esta autorización.

- Al firmar esta autorización, se manifiesta que la obra es original y no existe en ella ninguna violación a los derechos de autor de terceros. En caso de que el trabajo haya sido financiado por terceros, el o los autores asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.

- Frente a cualquier reclamación por terceros, el o los autores serán los responsables. En ningún caso la responsabilidad será asumida por la Fundación Universidad de América.

- Con la autorización, la Universidad puede difundir la obra en índices, buscadores y otros sistemas de información que favorezcan su visibilidad.

Conforme a las condiciones anteriormente expuestas, como autor establezco las siguientes condiciones de uso de mí obra de acuerdo con la ***licencia Creative Commons*** que se señala a continuación:

BY NC ND	**Atribución- no comercial- sin derivar:** permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor.	☐
BY NC	**Atribución – no comercial:** permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor.	X
BY NC SA	**Atribución – no comercial – compartir igual:** permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma.	☐

Licencias completas: http://co.creativecommons.org/?page_id=13

Siempre y cuando se haga alusión de alguna parte o nota del trabajo, se debe tener en cuenta la correspondiente citación bibliográfica para darle crédito al trabajo y a su autor.

De igual forma como autor autorizo la consulta de los medios físicos del presente trabajo de grado así:

AUTORIZO	SI	NO
La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca) del CD-ROM y/o Impreso	x	
La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer para efectos de preservación	x	

	SI	NO
Información Confidencial: este Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica o secreta o se ha pedido su confidencialidad por parte del tercero, sobre quien se desarrolló la investigación. En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta, tal situación con el fin de que se respete la restricción de acceso.		x

Para constancia se firma el presente documento en Bogotá, a los 09 días del mes de Marzo del año 2017.

EL AUTOR:

Autor 1

Nombres	**Apellidos**
Jenny Lizbeth	González Clavijo
Documento de identificación No	**Firma**
C.C. 1.032.385.797	Jenny González

Nota: Incluya un apartado (copie y pegue el cuadro anterior), para los datos y la firma de cada uno de los autores de la obra.