



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Química

Diseño de una formulación de refrigerantes para motores a gasolina y diésel aplicando técnicas de diseño experimental.

Trabajo de titulación previo a
la obtención del título de
Ingeniero Químico

Autor:

Erick Adrián Patiño Bravo

CI: 0105746770

adrianpat26@gmail.com

Directora:

Ing. Quim. Sonia Margoth Astudillo Ochoa

CI: 0104044474

Cuenca-Ecuador

04/03/2020



Resumen:

Este trabajo de titulación tiene como objetivo diseñar una formulación de líquidos refrigerantes para motores a gasolina y a diésel, aplicando técnicas de diseño experimental. La empresa CTC service necesita un líquido refrigerante que se adecue a las condiciones climáticas de nuestra región, y que sea amigable con el medio ambiente.

Se plantea reducir el porcentaje de base refrigerante, e implementar inhibidores de corrosión de tecnología ácido orgánico que tienen mejores prestaciones y se degradan fácilmente después del tiempo de vida útil del producto. Para facilitar el desarrollo de la presente investigación se trabaja siguiendo normas ASTM que indican las recomendaciones físicas y químicas de los líquidos refrigerantes, especificaciones de la materia prima y el procedimiento para las diferentes corridas experimentales.

Para la formulación se utiliza el diseño experimental con un solo factor, teniendo como factor independiente el porcentaje de base refrigerante y factores dependientes el punto de ebullición, tendencia al espumado, y pH. El porcentaje de base refrigerante se trabajó con 5 niveles que son el 1%, 5%, 15%, 25% y 40%; con dos réplicas cada uno.

Alcanzados los resultados, se determinó que el porcentaje de base refrigerante tiene una gran influencia en el punto de ebullición y pH, y mediana influencia en la tendencia a la formación de espuma. Así mismo se escogieron los mejores refrigerantes obtenidos para motores de servicio liviano o gasolina, y para motores de servicio pesado o diésel ya que cumplen con los requerimientos planteados.

Palabras claves: Refrigerante de motor. Punto de ebullición. Inhibidor de Corrosión. Antiespumante. Tecnología Ácido Orgánico.



Abstract:

This work is to design a gasoline and diesel engines coolants formulation, through the application of experimental design techniques. The CTC service company demands a coolant that can be efficient to the climatic conditions of our region, and also to be environmental friendly. For this purpose, the author has reduced the percentage of refrigerant base, and use organic acid technology inhibitors which possess a better performance and easily degraded after the end of the product life. To accomplish these objectives work has been developed according to ASTM international standards considering physical and chemical recommendations for coolants. Also the specifications of raw materials and experimental tests were considered.

A single factor was used in the experimental design during the formulation. The independent factor was the proportion of cooling base and dependent factors were, the boiling point, foaming tendency, and pH. The proportion of coolant base was worked with 5 levels (1%, 5%, 15%, 25% and 40%); and two replications of the test were done.

After reaching the results and performing the analysis, it was determined that the percentage of cooling base has a great influence on the boiling point and pH, and a medium influence on foam formation tendency. Likewise, the best refrigerants obtained were selected for light duty or gasoline engines, and for heavy duty or diesel engines.

Keywords: Engine coolant. Boiling point. Corrosion Inhibitor. Antifoam. Organic Acid Technology.



Índice del Trabajo

Contenido

Resumen:.....	2
Abstract:.....	3
Índice de tablas.	8
Índice de Ilustraciones.	11
Índice de Ecuaciones.	13
1. INTRODUCCIÓN.....	18
1.2. Objetivos Generales.....	20
1.3. Objetivos Específicos.....	20
2. MARCO TEÓRICO.....	20
2.1. Motores de Combustión Interna.....	20
2.1.1. Generalidades.	20
2.1.2. Ciclos Termodinámicos y de Trabajo.	22
2.1.3. Motores Ciclo Otto.....	23
2.1.4. Motores ciclo Diésel.	25
2.2. Sistema de Refrigeración de Vehículos a Motor de Combustión Interna. 27	
2.2.1. Generalidades.	27
2.2.2. Funcionamiento.	28
2.2.3. Radiador.....	30
2.2.4. Tapa a Presión del Radiador.....	31
2.2.5. Bomba del Refrigerante.....	31
2.2.6. Ventilador del Motor.	32
2.2.7. Termostato.	32
2.2.8. Líquido refrigerante.	33
2.3. Líquido Refrigerante.....	33
2.3.1. Composición Química.	33
2.3.1.1. Agua.	33
2.3.1.2. Base Refrigerante/Anticongelante.	34
2.3.1.3. Inhibidores de corrosión.....	35
2.3.1.4. Antiespumantes.	42



2.3.1.5.	Colorantes.....	43
2.3.2.	Tipos de Refrigerantes.	43
2.3.2.1.	Tecnología Inorgánica o tradicional.	43
2.3.2.2.	Tecnología Ácido Orgánico.....	44
2.3.2.3.	Tecnología Híbrida.....	45
2.3.3.	Propiedades Fisicoquímicas de Líquidos Refrigerantes/anticongelantes para motores.	45
2.3.3.1.	Punto de Ebullición.	46
2.3.3.2.	Punto crioscópico.....	46
2.3.3.3.	Reserva Alcalina	47
2.3.3.4.	pH.	47
2.3.3.5.	Densidad Relativa.....	48
2.3.3.6.	Formación de Espuma.....	48
2.3.3.7.	Corrosividad.....	48
2.4.	Diseño Experimental.....	48
2.4.1.	Concepto.	48
2.4.2.	Principios Básicos.	49
2.4.3.	Pasos para el Desarrollo del Diseño Experimental.....	50
2.4.4.	Principales tipos de diseño experimental.	53
2.4.4.1.	Experimentos con un solo Factor.....	53
2.4.4.2.	Diseño Factorial de Dos Factores.....	53
2.4.4.3.	Diseño Factorial con más de dos factores.	53
2.4.4.4.	Diseño factorial 2^k	54
2.4.4.5.	Ajuste de Regresión Lineal.	54
3.	METODOLOGÍA.....	54
3.1.	Planteamiento y Enunciación del Problema.....	54
3.2.	Identificación de Factores, Niveles y Rangos.	55



3.3.	Elección de la Variable (s) de Respuesta	58
3.4.	Selección del diseño Experimental.	58
3.5.	Ejecución del Experimento.....	60
3.5.1.	Proceso de Elaboración de Líquido Refrigerante.	61
3.5.2.	Procedimiento estándar para el muestreo de líquido refrigerante.	66
3.5.3.	Procedimiento estándar para determinar el punto de ebullición de refrigerantes para motor.	66
3.5.4.	Procedimiento estándar para Tendencias de espumado de refrigerantes de motores en cristalería.	68
3.5.5.	Procedimiento para determinar el pH del líquido refrigerante para motor. 71	
3.6.	Metodología para el Análisis estadístico de los datos.....	72
3.6.1.	Análisis de varianza (ANOVA) para experimentos con un solo factor. 73	
4.	RESULTADOS.....	77
4.1.	Resultados de la determinación del punto de Ebullición.....	77
4.2.	Resultados de la determinación de la tendencia al espumado.	78
4.3.	Resultado de la determinación del pH de los líquidos refrigerantes formulados.....	79
5.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	80
5.1.	Análisis estadístico del punto de Ebullición.....	80
5.1.1.	Análisis estadístico del punto de ebullición de los refrigerantes formulados.....	80
5.1.2.	Análisis estadístico de temperatura de ebullición de los líquidos de referencia.....	83
5.2.	Análisis estadístico para la tendencia al espumado.....	84
5.2.1.	Análisis estadístico de la tendencia al espumado en los refrigerantes formulados.....	84
5.3.	Análisis estadístico del pH.	87
5.3.1.	Análisis estadístico del pH en los refrigerantes formulados.	87
6.	DISCUSIÓN.....	90
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	92
7.1.	Conclusiones	92
7.2.	Recomendaciones.	93



8. BIBLIOGRAFÍA.....	95
9. ANEXO 1.....	101
9.1. Valores f, en función de la significancia, y grados de libertad.....	101
9.2. Recomendaciones Técnicas de las propiedades líquidos refrigerantes según normativa ASTM.	102
9.3. Recomendaciones Técnicas para refrigerantes base glicol según normativa ASTM.	105
9.4. Manual de Procedimientos	106
1. INTRODUCCIÓN.....	109
2. OBJETIVO DEL MANUAL.....	109
3. PROCEDIMIENTOS.....	109
3.1. Procedimiento de Elaboración de Líquido Refrigerante.....	110
3.2. Método de prueba para el punto de ebullición de refrigerantes de motor.	113
3.3. Método de prueba para determinar la tendencia la espumado de un líquido refrigerante de motor.	116
3.4. Método de prueba para determinar el pH.	120
4. BIBLIOGRAFÍA.....	122



Índice de tablas.

Tabla 1 Inhibidores de corrosión.	42
Tabla 2. Punto de Ebullición y Congelación de un refrigerante vs concentración de base refrigerante	46
<i>Tabla 3. Factores de Diseño</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 4. Factores que se mantienen constantes.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 5. Factores a los que se les permite variar.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 6. Factores Perturbadores Controlables.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 7. Factores Perturbadores No Controlables.</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 8. Factores Perturbador de sesgo</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 9. Variables de Respuesta</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 10. Determinación del número de corridas para el punto de ebullición y para la tendencia al espumado.</i>	<i>59</i>
Tabla 11. Aleatorización de las corridas para la elaboración y las 2 variables de respuesta.	60
<i>Tabla 12. Normas ASTM.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 13. Peso de la materia prima para cada corrida.....</i>	<i>62</i>
Tabla 14. Datos de un experimento de un solo factor.....	74
Tabla 15. Medidas de variabilidad.....	75
Tabla 16. ANOVA para un solo factor.	76
<i>Tabla 17. Punto de ebullición de un Refrigerante Comercial y de Agua</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 18. Punto de ebullición de los refrigerantes formulados.....</i>	<i>78</i>



<i>Tabla 19. Tendencia al espumado para un refrigerante comercial y agua.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 20. Tendencia al espumado en los refrigerantes formulado.</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 21. Resultados de la determinación del pH.</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 22. Temperatura de ebullición en refrigerantes formulados.</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 23. Análisis de varianza de los datos de la temperatura de ebullición de los refrigerantes formulados.</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 24. Otras mediciones estadísticas para el punto de ebullición.</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 25. Análisis de regresión de la temperatura de ebullición.</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 26. Temperatura de ebullición de líquidos de referencia.</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 27. Análisis de varianza de la temperatura de ebullición de líquidos de referencia.</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 28. Otras medidas estadísticas de la Temperatura de ebullición de los líquidos de referencia.</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 29. Tendencia al espumado en los refrigerantes formulados.</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 30. ANOVA de datos de la tendencia de espumado en los refrigerantes formulados.</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 31. Otros datos estadísticos importantes en la tendencia al espumado</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 32. Ajuste de la curva para tendencia al espumado.</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 33. pH en refrigerantes formulados.</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 34. Análisis de variancia del pH de los líquidos refrigerantes formulados...</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 35. Otras medidas estadísticas importantes de pH del líquido refrigerante formulado.</i>	<i>88</i>



<i>Tabla 36. Análisis de regresión del pH de los líquidos refrigerantes formulados. .</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 37. Valores f, con 0.05 de significancia.....</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 38. Requerimientos físicos y químicos de refrigerantes concentrados.</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 39. Requisitos físicos y químicos de refrigerantes pre diluidos.....</i>	<i>103</i>
<i>Tabla 40. Requisitos de rendimiento de líquidos refrigerantes</i>	<i>104</i>
<i>Tabla 41. Límites sugeridos para la calidad del Agua.....</i>	<i>105</i>
<i>Tabla 42. Especificaciones para base refrigerante tipo glicol.</i>	<i>105</i>



Índice de Ilustraciones.

Ilustración 1 Clase de automotores.....	19
Ilustración 2 Cámara de Combustión Interna.....	22
Ilustración 3 Diagrama Presión-Volumen de un motor ciclo Otto 4 tiempos.	24
Ilustración 4. Tiempo de un Ciclo Otto, a) Admisión, b) Compresión, c) Expansión, d) Escape.....	25
Ilustración 5 Diagrama P-V para motor Diésel 4 tiempos.....	26
Ilustración 6 Esquema simplificado de Transferencia de Calor en el motor.	29
Ilustración 7 Sistema de Refrigeración de un Vehículo.....	29
Ilustración 8. Configuración del Radiador	30
Ilustración 9. Bomba del Sistema de Refrigeración.....	32
Ilustración 10. Funcionamiento del Termostato.....	33
Ilustración 11. Clasificación de Inhibidores	37
Ilustración 12 Mecanismo de acción de un inhibidor anódico inorgánico.....	38
Ilustración 13 Mecanismo de acción de un inhibidor inorgánico catódico.	39
Ilustración 14, Mecanismo de acción de un inhibidor orgánico	40
Ilustración 15. Comparación entre refrigerantes orgánicos e inorgánicos.....	45
Ilustración 16. Pasos para el diseño experimental	50
Ilustración 17. Generación de números aleatorios.	60
Ilustración 18. Materia Prima.....	62
Ilustración 19. Dosificación de materia prima.....	63



Ilustración 20. Mezclado	64
Ilustración 21. Homogenizado.....	64
Ilustración 22. Producto Final.....	65
Ilustración 23. Envasado y Etiquetado.	65
Ilustración 24. Montaje del equipo de medición de la temperatura de ebullición. .	67
Ilustración 25. Inicio del ensayo.	68
Ilustración 26. Montaje del Equipo.	69
Ilustración 27. Corrida del ensayo de tendencia al espumado.....	70
Ilustración 28. Burbujeo del líquido refrigerante.....	71
Ilustración 29. Medición de pH.....	72
Ilustración 30. Bandeja de entrada del Software IBM SPSS statistic.....	73
Ilustración 31. Líquido formulado, refrigerante comercial, y agua destilada.....	77
Ilustración 32. Base refrigerante Vs. Temperatura de ebullición	82
Ilustración 33. Gráfico de medias de la tendencia al espumado a los 5 minutos. .	86
Ilustración 34. Base refrigerante vs pH	89
Ilustración 35. Diagrama de flujo de elaboración de líquido refrigerante.....	112
Ilustración 36. Equipo para punto de ebullición.....	114
Ilustración 37. Equipo para la tendencia al espumado.....	118



Índice de Ecuaciones.

Ecuación 1 Combustión completa de gasolina	21
Ecuación 2 Combustión incompleta de un hidrocarburo	21
Ecuación 3. Reacción catódica para medio neutro o alcalino	36
Ecuación 4. Reacción catódica para medio ácido	36
Ecuación 5. Reacción anódica	36
<i>Ecuación 6. Relación entre el % de base refrigerante y % de agua.....</i>	<i>58</i>
Ecuación 7. Modelo de las medias.....	74
Ecuación 8. Hipótesis nula y Alternativa	74
Ecuación 9. Condición de rechazo de la hipótesis nula	76



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio
Institucional

Erick Adrián Patiño Bravo en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Diseño de una formulación de refrigerantes para motores a gasolina y diésel aplicando técnicas de diseño experimental.", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 4 de marzo de 2020

Erick Adrián Patiño Bravo

C.I: 0105746770



Cláusula de Propiedad Intelectual

Erick Adrián Patiño Bravo, autor del trabajo de titulación "Diseño de una formulación de refrigerantes para motores a gasolina y diésel aplicando técnicas de diseño experimental.", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 4 de marzo de 2020

Erick Adrián Patiño Bravo

C.I: 0105746770



DEDICATORIA.

Esta meta cumplida se la dedico a Dios quien me ha guiado durante todo este proceso y a lo largo de mi vida, más que todo porque ha puesto en mi camino los instrumentos y personas correctas para alcanzar tan anhelado sueño.

También se la dedico a mi querida madre que es un pilar fundamental de este logro y que, gracias a su esfuerzo digno de admiración, me ha brindado el apoyo que he necesitado.

Otra persona especial a la que dedico este fruto es a mi padre adoptivo quien al igual que mi madre, con su apoyo, experiencia y buenos consejos me ha enseñado a no rendirme, perseverar y esforzarme para cumplir mis objetivos a pesar de los obstáculos y fracasos que se pueden presentar en el camino.

De mismo modo a mis hermanos menores Criss y Gera sepan que los quiero y que siempre he deseado lo mejor para ustedes, que prosperen y cumplan sus metas.

Quiero dedicar también a mis abuelitos que me han criado como un hijo y tíos que me han querido como hermano, quienes han aportado con sus acciones, consejos y buenos augurios para poder así culminar esta etapa de la vida.



AGRADECIMENTOS

Agradezco principalmente a Dios, por guiarme en el camino del saber y del bien, por brindarme la capacidad para enfrentar los retos que demanda esta carrera, y sobre todo por rodearme de buenas personas familia, profesores y amigos que han sido partícipes en la culminación de esta meta.

Mi más sincero agradecimiento a mis padres Lucila y Nelson, por todo el apoyo brindado a lo largo de la vida, por esos consejos, por esos abrazos, por esos regaños bien merecidos, y por los valores que me han inculcado y hacen de mi lo que soy.

Quiero agradecer también a mi directora de tesis, Ingeniera Sonia Astudillo, por toda la atención prestada, por brindarme su conocimiento y porque ha sabido corregir mis errores en el tiempo que me ha tomado hacer este trabajo de titulación. Así como también al Ingeniero Ivor Inga por ofrecerme su apoyo y asesoramiento para realizar este trabajo de tesis.

De igual manera agradezco a todos docentes de la carrera y personal de laboratorio, de los cuales he tenido el privilegio de aprender todo lo relacionado a la ingeniería química. Gracias por formar buenos profesionales.

Agradezco asimismo a todas las demás personas que de una u otra manera han contribuido para poder llevar a cabo todo este proceso de profesionalización.



1. INTRODUCCIÓN

1.1. Justificación

Los seres humanos siempre han tenido la necesidad de movilizarse y transportar bienes de un lugar a otro, recorriendo distancias cortas y largas. Las maneras de hacerlo han evolucionado al paso del tiempo desde carruajes conducidos por otros humanos y animales, hasta el uso de embarcaciones, aviones y automóviles. Los autos juegan un papel muy importante ya que es uno de los medios de transporte más usado en la actualidad. Aunque hay autos eléctricos la mayoría funcionan mediante un motor de combustión interna que generan energía de la quema de combustibles fósiles como gasolina y diésel produciendo gran cantidad de calor que debe ser disipado mediante un sistema de refrigeración (ECUADORTV, 2019).

Para el correcto funcionamiento de un motor de combustión interna tanto a gasolina como diésel, se debe trabajar a una determinada temperatura de entre 82 °C y 113 °C. Sin embargo, en el interior del bloque del motor se puede llegar hasta 3000 °C. Por eso es necesario contar con un sistema de refrigeración que generalmente para estos casos se da mediante un líquido refrigerante que absorbe la mayor parte del calor a través de las paredes del bloque del motor. El líquido refrigerante recomendado por los constructores de automóviles consiste principalmente en agua mezclada con un porcentaje de base refrigerante que ayudará a prevenir el congelamiento y aumentar el punto de ebullición, que además pueden contener otros aditivos contra la corrosión y formación de espuma. (Fieldson, 2011; Tapia, 2010).

Según el INEC el Ecuador hasta finales del 2017 contaba con un parque vehicular de 2.237.264 de unidades, donde el equivalente de 31.7 % son automóviles, el 18.9% camionetas, el 16.1 son Jeeps y el 4.7% de camiones, tal como se muestra en la figura 1. Las provincias con la mayoría de vehículos son Pichincha, Guayas, Manabí y Azuay; además la mayor parte es de servicio particular (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2018). Esto nos hace pensar que el uso y la



producción de líquido refrigerante es muy desarrollado en nuestro país. Sin embargo, la realidad es muy diferente, ya que el líquido que se usa es importado principalmente de Estados Unidos y Europa

Clase de vehículos	
Automóvil	709.775
Motocicleta	529.888
Camioneta	423.656
Jeep	359.498
Camión	104.510
Otros	109.937
Total	2.237.264

Ilustración 1 Clase de automotores

Fuente: INEC 2017

Por lo expuesto anteriormente la empresa CTC SERVICE busca implementar una línea de producción de refrigerantes para motores de combustión a gasolina y diésel (servicio liviano y servicio pesado), que se adecúe al entorno climático de la región, y además que este producto sea amigable con el medio ambiente. Para facilitar la ejecución de este proyecto, la empresa primero debe determinar el tipo y las características del refrigerante a producir. Actualmente la empresa necesita los conocimientos científicos y técnicos para desarrollar la formulación de un refrigerante que se adapte a las condiciones climáticas de nuestra región, debido a que al ser el líquido que se usa actualmente importado su formulación está adecuada para las condiciones del lugar geográfico del que provienen es decir temperaturas bajo los 0°C y superiores a los 35°C. En el último boletín climatológico del mes de octubre de 2019 emitido por la INAMHI, en la región interandina se llegó a una temperatura máxima de 33.5 °C y una temperatura mínima de 0.5 °C (INAMHI, 2019).

Se trabajará conjuntamente con la empresa para desarrollar una dosificación del producto, esto pretende disminuir la concentración de base refrigerante/anticongelante empleada en los productos normales, debido a que en



el país no llegamos a temperaturas de congelamiento, por tal razón se trabajará utilizando el diseño experimental para obtener una fórmula que no considere las temperaturas de congelación. Además, se utilizará tecnología ácido orgánico (OAT), que tiene que ver con el o los tipos de inhibidores de corrosión usados. Se identificarán los estándares de control y posteriormente se realizarán ensayos de acuerdo a la normativa internacional ASTM, debido a que actualmente al no haber producción nacional de líquido refrigerante, no existen normas establecidas por el Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN.

1.2. Objetivos Generales.

Desarrollar una formulación para obtener refrigerantes para motores de combustión a gasolina y diésel aplicando técnicas de diseño experimental.

1.3. Objetivos Específicos.

1. Realizar los ensayos en base al diseño experimental aplicando normas internacionales para líquidos refrigerantes formulados.
2. Analizar el mejor refrigerante obtenido en el diseño experimental.
3. Elaborar un manual de procedimientos, para los ensayos de calidad y la elaboración del líquido refrigerante para motor a gasolina y diésel escogidos en el diseño experimental.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Motores de Combustión Interna.

2.1.1. Generalidades.

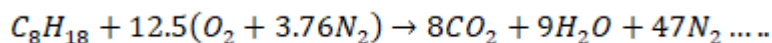
Se puede decir que un motor es un artefacto que tiene la capacidad de transformar un cierto tipo de energía en energía mecánica. Entonces los motores de combustión interna (MCI) o también conocidos como endotérmicos son los que se encargan de producir energía mecánica mediante la utilización de energía



calorífica proveniente de un combustible fósil que se quema en el interior de una cámara de combustión (Rafael & Hernández, 2014).

El proceso de combustión se da cuando el combustible se quema mediante acción de un comburente que es el aire de la atmósfera. En otras palabras, es un proceso físico-químico en el cual se produce una reacción química de oxidación entre el oxígeno que contiene el aire y todos los elementos oxidables del combustible. Dicha reacción genera energía química en forma de calor, subproductos como vapor de agua, CO_2 y N, si la reacción es completa; en cambio sí es incompleta produce además CO, metano y otros productos que provocan contaminación, por lo que es importante una mezcla optima de combustible-comburente (Palomares, 2007).

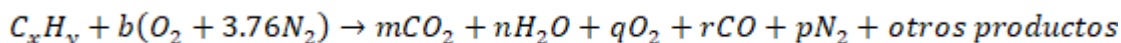
Ecuación 1 Combustión completa de gasolina



Combustible Comburente (Aire)

(Palomares, 2007)

Ecuación 2 Combustión incompleta de un hidrocarburo



Combustible Comburente (Aire)

(Palomares, 2007)

En los vehiculos la cámara donde se da la combustión tiene una forma cilíndrica, en el interior consta de un pistón ajustado al diámetro de la cámara, que este se une a un cigüeñal por medio de un brazo llamado biela. La reacción química que se da en el interior genera una explosión violenta haciendo que el pistón adquiera un movimiento lineal, que se transmite a la biela que esta conectada al cigüeñal y transforma el movimiento rectilíneo a movimiento rotativo (Rafael & Hernández, 2014).

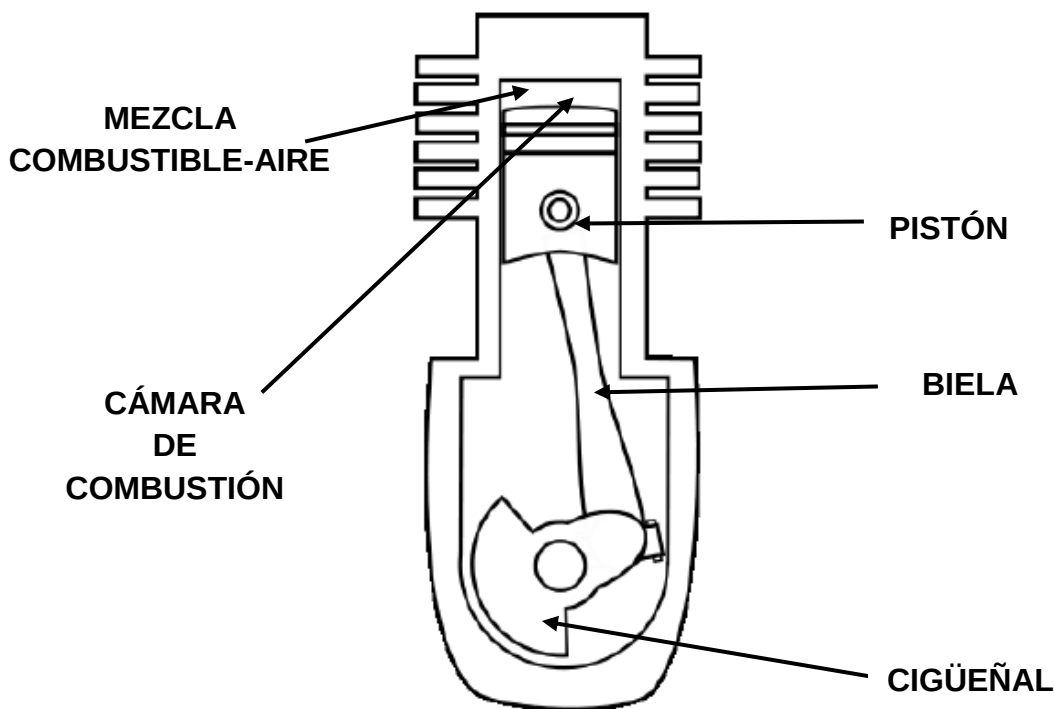


Ilustración 2 Cámara de Combustión Interna
Fuente: Palomares Anselmo, 2017

2.1.2. Ciclos Termodinámicos y de Trabajo.

Un ciclo termodinámico se refiere al proceso o serie de procesos que ocurren en un sistema, para dejar a este nuevamente en el mismo estado inicial habiendo generado previamente liberación de energía, se trabaja suponiendo un ciclo termodinámico cerrado para facilidad de cálculos y estimaciones, sin embargo, en la realidad esto no sucede ya que se opera en un sistema abierto. En un ciclo de trabajo cada proceso se lo denomina “tiempo” que es el número de carreras necesarias para completar el ciclo termodinámico de combustión, en cada tiempo ocurre un proceso de transformación termodinámica. En el mercado existen motores de dos y cuatro tiempos cuya diferencia se relaciona con la renovación de la carga combustible-aire (Rafael & Hernández, 2014).

En motores cuatro tiempos el ciclo termodinámico se completa con cuatro carreras del pistón o embolo, esto genera que el cigüeñal produzca dos movimientos de rotación. En caso del motor de dos tiempos el ciclo se cumple con una vuelta del



cigüeña, es decir con dos corridas del émbolo, como resultado genera más potencia que el de cuatro tiempos, de ahí su uso en tracción ferroviaria, buques de carga y aeronaves (Conesa, 2011).

En automóviles de servicio liviano y pesado generalmente funcionan a cuatro tiempos debido a que estos motores presentan un mejor rendimiento, y bajas emisiones de gases contaminantes en relación a motores de dos tiempos (Conesa, 2011).

2.1.3. Motores Ciclo Otto.

Esta clasificación, al igual que los motores ciclo Diésel, tiene que ver con el tipo de encendido del motor, y está directamente relacionada con el ciclo termodinámico de funcionamiento del artefacto. En motores Otto la explosión del combustible se da por una contribución exterior de energía que es una chispa provocada por una bujía situada en la cara superior del cilindro, esto se denomina principio de ignición que trabaja con un volumen constante de mezcla aire combustible. De ahí que también se los conoce como motores de explosión, de encendido provocado, de encendido por chispa, de combustión a volumen constante. Este tipo de motor puede funcionar tanto a dos como a cuatro tiempos, aunque el más común y el que nos interesa es el de cuatro tiempos. En cada tiempo ocurrirá una transformación termodinámica que se puede visualizar y entender en un diagrama P vs V (Payri & Dasantes, 2011)

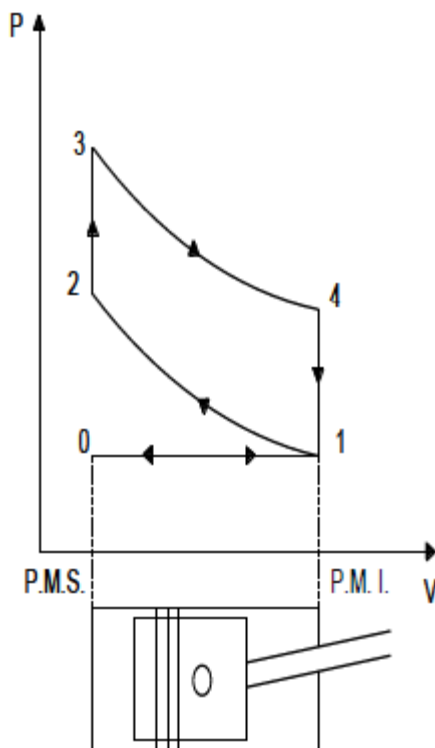


Ilustración 3 Diagrama Presión-Volumen de un motor ciclo Otto 4 tiempos.

Fuente: (Palomares, 2007)

Tiempo 1 se da en 0-1 que corresponde al proceso de admisión, en donde ingresa el aire y combustible por medio de la válvula de admisión provocando un desplazamiento del pistón desde el punto muerto superior (P.M.S.) hasta el punto muerto inferior (PMI) del cilindro. Es un proceso en la cual la presión se mantiene, pero el volumen aumenta (Palomares, 2007; Rafael & Hernández, 2014).

Tiempo 2 se da en 1-2 correspondiente al proceso de compresión, donde el pistón asciende de P.M.I. a P.M.S. comprimiendo la mezcla aire combustible por lo que la mezcla se vaporiza. En este proceso no se da ningún tipo de intercambio de calor entre la mezcla vaporizada y las paredes de la cámara, por lo que se dice que el tiempo dos es adiabático (Palomares Anselmo, 2007; Rafael & Hernández, 2014).

Tiempo 3 se da en 2-3 y 3-4 llamado procesos de combustión y expansión respectivamente. En la combustión la mezcla se quema o explota mediante una chispa provocada por una bujía, esto se da a un volumen constante (proceso

isocórico) y con un aumento de presión. En la expansión sucede que la fuerza de dicha explosión instantánea ejerce un movimiento del pistón desde P.M.S. al P.M.I. transformando la energía de la reacción química en trabajo mecánico, este es un proceso adiabático en donde el volumen y la presión disminuye (Palomares, 2007; Rafael & Hernández, 2014)

Tiempo 4, se da en 4-1 y 1-0 correspondiente a la fase de expulsión o escape. En 4-1 de esta etapa la válvula de admisión se encuentra cerrada y se abre la de escape dándose la salida de los gases de combustión con una reducción de presión y sin modificar el volumen interior. En 1-0 El pistón se desplaza desde el P.M.I al P.M.S, disminuyendo el volumen y completando el ciclo termodinámico y de trabajo (Palomares, 2007; Rafael & Hernández, 2014)

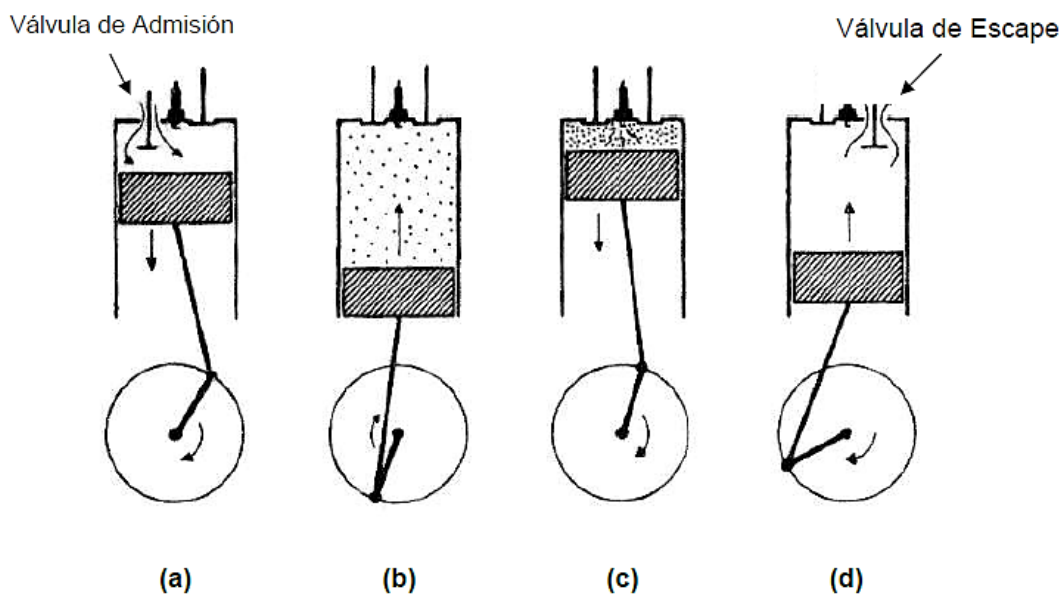


Ilustración 4. Tiempo de un Ciclo Otto, a) Admisión, b) Compresión, c) Expansión, d) Escape

Fuente: (Rafael & Hernández, 2014)

2.1.4. Motores ciclo Diésel.

En los motores Diésel la explosión de combustible se da por auto encendido debido a las temperaturas lo bastante altas en el interior del cilindro que son producto de la compresión del aire. Estos motores también se le conoce como motores de encendido por compresión, o de combustión a presión constante. A

diferencia de los de ciclo Otto, estos no poseen una bujía, y el combustible es inyectado después de la compresión del aire para controlar de una mejor manera la detonación en la cámara. Los motores Diésel pueden funcionar tanto a dos como a cuatro tiempos, aunque el más común y el que nos interesa es el de cuatro tiempos. En cada tiempo ocurrirá una transformación termodinámica que se puede visualizar y entender en un diagrama P vs V . estos motores son más utilizados en vehículos de servicio pesado, como camiones y en el transporte público. (Payri & Dasantes, 2011).

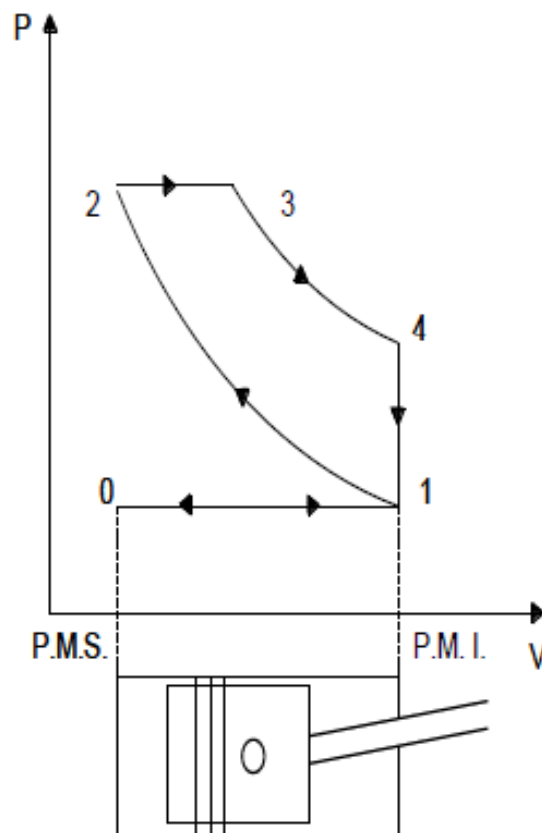


Ilustración 5 Diagrama P - V para motor Diésel 4 tiempos.

Fuente: (Palomares, 2007)

Tiempo 1 se da en 0-1 que corresponde al proceso de admisión, en donde ingresa solo aire por medio de la válvula de admisión provocando un desplazamiento del pistón desde el P.M.S. hasta el punto muerto inferior P.M.I. del cilindro. Es un



proceso en la cual la presión es constante, pero el volumen aumenta (Palomares, 2007; Tapia, 2010).

Tiempo 2 se da en 1-2 correspondiente al proceso de compresión, donde el pistón asciende de P.M.I. a P.M.S., dicho desplazamiento comprime el aire de la cámara hasta alcanzar una temperatura de 850 °C (Palomares, 2007; Conesa, 2011).

Tiempo 3 se da en 2-3 y 3-4 llamado procesos de combustión y expansión respectivamente. En la combustión una vez comprimido el aire, el combustible es introducido a la cámara mediante un sistema de inyección a gran presión atomizándose en todo el cilindro y encendiéndose por acción de las altas temperaturas. En este proceso se da un aumento de volumen moviéndose el pistón desde el P.M.S. hasta antes del P.M.I. manteniendo así la presión constante. En la expansión sucede que la fuerza de la combustión instantánea ejerce un movimiento del pistón desde después del P.M.S. al P.M.I. transformando la energía de la reacción química en trabajo mecánico, este es un proceso en donde el volumen y la presión disminuye (Conesa, 2011; Palomares, 2007).

Tiempo 4, se da en 4-1 y 1-0 correspondiente a la fase de expulsión o escape. En 4-1 de esta etapa la válvula de admisión se encuentra cerrada y se abre la de escape dándose la salida de los gases de combustión con una reducción de presión y sin modificar el volumen interior. En 1-0 El pistón se desplaza desde el P.M.I al P.M.S, disminuyendo el volumen y completando el ciclo termodinámico y de trabajo (Palomares, 2007; Rafael & Hernández, 2014).

2.2. Sistema de Refrigeración de Vehículos a Motor de Combustión Interna.

2.2.1. Generalidades.

En los motores de combustión se libera gran cantidad de energía, llegando a temperaturas de hasta 3000 °C en el interior de la cámara de combustión, la temperatura optima a mantener debe ser homogénea y estar en un rango de entre 82 y 113 °C. Un tercio de esta energía es ocupada para generar movimiento, esto significa que el sobrante tiene que eliminarse para evitar un posterior



sobrecalentamiento y daños en el motor. El resto de energía se libera en forma de calor como gases de escape, energía radiante y mediante un sistema de refrigeración que generalmente es mixto, es decir líquido y de aire (Fieldson, 2011; Tapia, 2010).

El sistema de enfriamiento o de refrigeración es el encargado de garantizar el estado térmico del motor, disipando el calor transferido a las paredes de la cámara de combustión a igual rapidez que su generación. Es importante que el sistema tenga la suficiente capacidad de respuesta cuando exista alguna variación en el régimen de velocidad y carga del motor. Los principales componentes de un sistema de refrigeración de tipo cerrado son: un radiador principal, una bomba, termostatos que pueden ser electrónicos o mecánicos, válvulas controladoras de líquido, mangueras y elementos conectores, pasajes para el paso del líquido refrigerante por el bloque, y líquido refrigerante (Romero & Carranza, 2007).

2.2.2. Funcionamiento.

En el sistema de refrigeración el líquido de refrigerante es el que se encarga de disipar el calor del motor, este fluye desde el radiador hasta el motor. Inicialmente el líquido a baja temperatura llega hasta una bomba, la cual la bombea hacia el bloque del motor, que tiene una temperatura muy alta. El refrigerante absorbe el calor generado por la quema del combustible en el interior de la cámara de combustión, existe un intercambio de calor por conducción entre los gases de combustión y el líquido refrigerante a través de las paredes del bloque del motor (Díaz, 2014).

Posteriormente el líquido continúa su paso hasta la tapa de cilindros, donde gana más calor. Una vez que el líquido absorba el calor regresa al radiador por la entrada superior del mismo. En este punto se da otro intercambio de calor por convección entre las placas del radiador que están en contacto con el fluido caliente y el aire que choca y pasa a través del radiador, Esto permite enfriar el líquido para que nuevamente regrese al motor a baja temperatura teniendo una recirculación del mismo (Díaz, 2014).

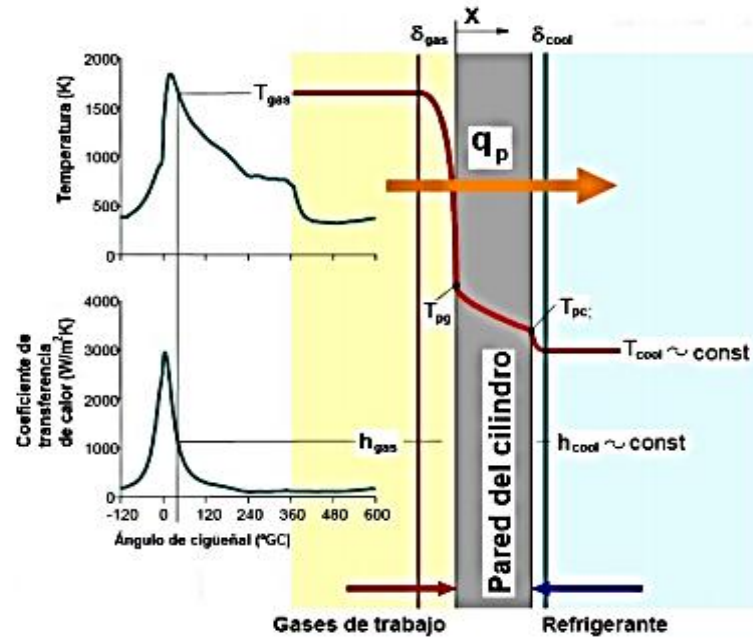


Ilustración 6 Esquema simplificado de Transferencia de Calor en el motor.

Fuente: (Romero, 2019)

Para que todo este proceso funcione correctamente el sistema cuenta con un sensor de temperatura del líquido refrigerante llamada termostato. Este permite o niega la entrada o salida del fluido del motor que tiene que cumplir con los requisitos de temperatura especificados por tal sensor.

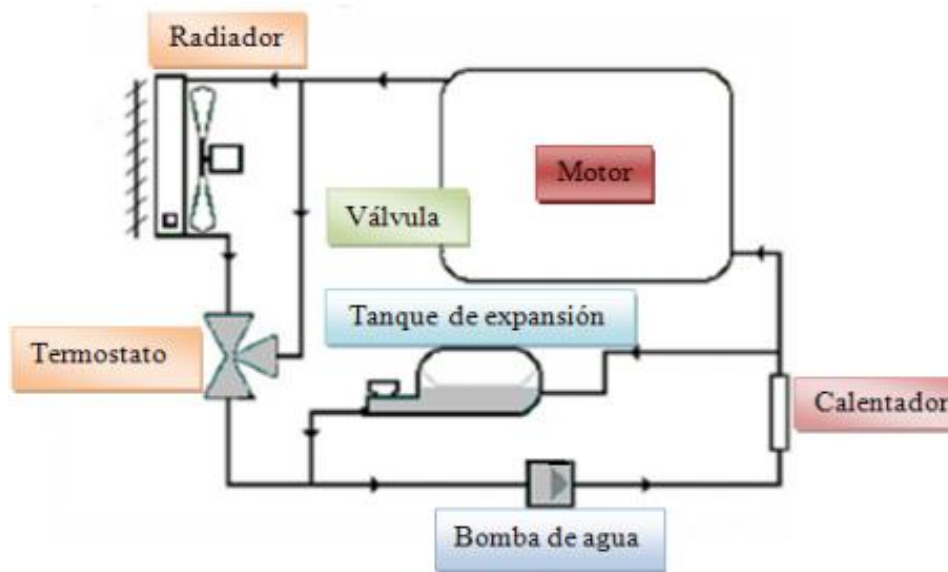


Ilustración 7 Sistema de Refrigeración de un Vehículo

A continuación, se revisará los componentes de dicho sistema.

2.2.3. Radiador.

Es un tipo de intercambiador de calor, que sirve para enfriar el líquido refrigerante caliente proveniente del motor, se da una transferencia de calor por convección entre el aire que fluye a través de las paredes exteriores de este, produciendo un enfriamiento del fluido. Consta de dos depósitos que pueden estar ubicados arriba y abajo, o lateralmente según sea el tipo. Estos depósitos están unidos entre sí mediante tubos delgados los cuales están rodeados por varias aletas paneles que aumentan el área de transferencia de calor, disminuyendo el tiempo de enfriado. El flujo puede ser descendente o transversal en donde para el descendente al depósito superior ingresa el agua caliente proveniente del motor, de ahí circulará por los tubos y se enfriará hasta llegar al depósito inferior donde nuevamente recirculara por el motor (Ramos, 2014).

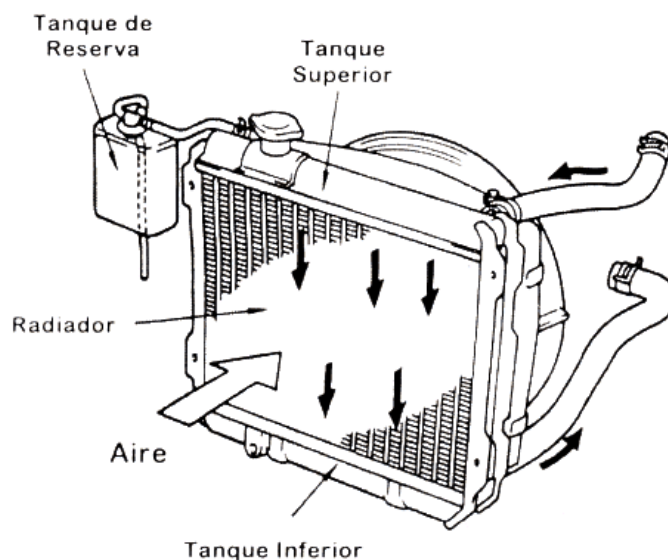


Ilustración 8. Configuración del Radiador
Fuente: (Ramos, 2014)

En cuanto al material del que están hechos, inicialmente cuando las temperaturas de combustión eran de 800-900°C se utilizaba radiadores de acero desde los inicios del siglo pasado, sin embargo, estos presentaban una alta tendencia a la



corrosión. Desde mediados del siglo XX los radiadores se fabrican a partir de metales no ferrosos como cobre y latón para tener una mayor resistencia a la corrosividad, estos presentan inconvenientes como aumento de peso, y mayor costo de producción debido al alto precio de materiales (HELLA, 2013).

Hoy en día se producen principalmente de aluminio y plástico, prestando beneficios como la reducción de peso de un 5 a 10% y mayor transferencia de calor debido a la reducción del grosor de las paredes de las aletas, disminución de 20 mm en la profundidad de montaje, mayor resistencia de funcionamiento, el material del que está hecho lo hace totalmente reciclable (HELLA, 2013).

2.2.4. Tapa a Presión del Radiador.

La función principal de este elemento es de presurizar el sistema y mantener el volumen de refrigeración constante, es decir permite la acumulación de presión hasta un cierto límite, (que dependerá de la marca y tipo de vehículo) para posteriormente si excede el mismo liberar tal presión evitando la evaporación del líquido refrigerante cuando el motor realice esfuerzos intensos (Díaz, 2014).

El tapón también juega un papel muy importante porque la presurización del sistema ayuda a aumentar el punto de ebullición del líquido refrigerante, aproximadamente 1.7 °C por cada PSI que aumenta de presión. Es decir si a nivel del mar el agua hierve a 100°C, con una tapa que aumente 15 PSI en el interior del sistema, este líquido alcanza un punto de 125°C (Díaz, 2014).

2.2.5. Bomba del Refrigerante.

Su misión es hacer circular el líquido refrigerante a través del circuito. Esto lo hace mediante una circulación forzada, succionando el agua previamente enfriada en el radiador, y lo impulsa hacia las camisas y cámaras del bloque del motor por los orificios que las rodean. Desde ahí el fluido ganará calor y saldrá hacia el radiador por la zona superior de la culata. La bomba es accionada por el propio motor mediante un mecanismo de bandas que conectan el rotor de la bomba con cigüeñal de la máquina; aunque la nueva generación de bombas es accionada

electrónicamente y su velocidad varía según las necesidades de refrigeración. La eficiencia puede disminuir por múltiples factores como la presencia de cavitación y corrosión, de ahí que es importante el material de construcción del aparato y la calidad del refrigerante (Ramos, 2014).



*Ilustración 9. Bomba del Sistema de Refrigeración
Fuente: (HELLA, 2013)*

2.2.6. Ventilador del Motor.

Tiene como objetivo hacer circular el aire a través del radiador y hacia las paredes externas del motor. Al igual que la bomba, es accionado por el motor mediante correas o bandas, pero también existen ventiladores a base de electricidad que se ponen en marcha mediante una unidad de control. Para los accionados por banda la cantidad de aire está en función de la velocidad de motor. Este componente no está en contacto directo con el líquido refrigerante, pero es importante para disipar el calor del mismo (HELLA, 2013).

2.2.7. Termostato.

El termostato es de vital importancia debido a que este controla la temperatura del fluido refrigerante y por ende la del motor, manteniéndolo a un rango de temperatura de labor óptimo. Es una pieza mecánica que consta de un sensor expandible de un material de cera, que abre y cierra una válvula de acuerdo a la temperatura del líquido permitiendo el paso hacia el radiador o al bloque. Cuando

el líquido sobrepase los 80 °C se derrite la cera y crece su volumen, permitiendo el paso del fluido hacia el radiador para su posterior enfriamiento y cerrando el paso hacia el motor. Cuando el refrigerante ya esté por debajo de los 80 °C el relleno se torna duro cerrando la circulación hacia el radiador, permitiendo el flujo nuevamente hacia el motor hasta que otra vez se sobrepase los 80 °C (HELLA, 2013)

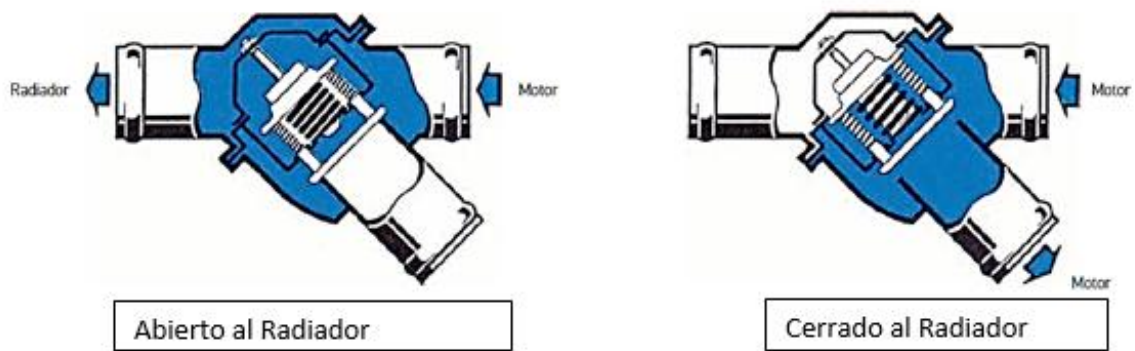


Ilustración 10. Funcionamiento del Termostato
Fuente: (HELLA, 2013)

2.2.8. Líquido refrigerante.

Ahora nos centraremos en el líquido refrigerante, este se emplea para absorber el calor generado por la combustión distribuido a lo largo de la superficie del bloque del motor, es decir hay un contacto entre el líquido refrigerante y las paredes del bloque produciéndose un intercambio de calor por conducción entre ambos.

2.3. Líquido Refrigerante.

2.3.1. Composición Química.

2.3.1.1. Agua.

El agua es el líquido refrigerante más empleado debido a su estabilidad y economía. Sin embargo, presenta algunos inconvenientes. Cuando se llega a su punto de ebullición de 100 °C se produce evaporación del agua, esto puede ocasionar cavitación de la bomba, y además a estas temperaturas el agua tiene un efecto oxidante atacando a las partes metálicas del motor y del sistema de



refrigeración. La dureza del agua produce la precipitación de sales pudiendo estas obstruir las tuberías y el radiador. Aunque en nuestro país no se dan estas condiciones climáticas es necesario mencionar, que cuando se llega a temperaturas bajo 0°C el agua se solidifica por lo que afecta la circulación del líquido, y más importante aún puede estallar cañerías y deformar el radiador, que generalmente es metálico, como consecuencia del aumento de volumen que provoca la congelación (Ramón, 2017).

Para resolver los principales problemas planteados anteriormente se utilizan ciertos compuestos químicos en distintas concentraciones, agua desmineralizada, base refrigerante, inhibidores de corrosión, antiespumante y colorante. La concentración varía de acuerdo a las propiedades que se le quiere dar al líquido refrigerante/anticongelante y condiciones climáticas del medio. (Fieldson, 2011).

2.3.1.2. Base Refrigerante/Anticongelante.

Es uno de los principales componentes del líquido refrigerante, tiene como principal función evitar el congelamiento aumentando el punto de congelación, y también impedir la evaporación del agua aumentando el punto de ebullición. Son generalmente glicoles como el etilenglicol, propilenglicol y también el etanol. Siendo el etanol el menos utilizado por su poca efectividad y mayor toxicidad, el más ocupado es el etilenglicol por su mayor rendimiento y bajo costo, aunque la glicerina está ganando popularidad ya que puede mezclarse con cualquiera de las bases mencionadas.

Existen dos presentaciones de líquidos refrigerantes, concentrados y pre diluidos. Los concentrados tienen una composición mayor de base refrigerante y el usuario tiene que mezclar con agua para poder utilizarlos, el agua tiene que ser desmineralizada para evitar problemas de corrosión, sin embargo, la mayoría de clientes utiliza el líquido de la red pública. Para asegurar la calidad del agua se empezaron a formular los refrigerantes pre diluidos, que se utilizan directamente en el motor del vehículo. La proporción recomendada es entre un 40 a 60% de base refrigerante, siendo el resto agua desmineralizada o destilada, asegurando el



aumento del punto de congelación del líquido anticongelante/refrigerante (Clavijo, 2017).

Se usa principalmente en lugares con condiciones climáticas extremas, funcionando como un aditivo para bajar el punto de congelamiento o también aumentar el punto de ebullición (Sidik, Yazid, & Mamat, 2015). Sin embargo, en zonas tropicales y cálidas como la nuestra no se necesita protección contra la extrema congelación.

2.3.1.3. Inhibidores de corrosión.

El anticongelante al fluir por el sistema de refrigeración entra en contacto con diferentes metales y aleaciones tales como aluminio, acero, bronce, cobre, estaño entre otros. Este flujo permite la aparición de corrosión en las paredes de los componentes del sistema de enfriamiento como camisas, bombas y radiador. La presencia de corrosión tiene como consecuencia las averías y reducción de vida útil de los elementos del medio refrigerante, lo que desencadena una mala transferencia de calor y fundición del motor. Los inhibidores de corrosión son aditivos que evitan o disminuyen la tendencia a la corrosividad prolongando el tiempo de funcionamiento del motor y de los componentes por donde circula el fluido refrigerante (OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS Patent N.º ES 2 358 575 T3, 2011).

Para entender mejor el funcionamiento de estos componentes, es necesario entender el concepto de corrosión y las reacciones que se producen en las paredes metálicas.

2.3.1.3.1. Corrosión.

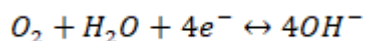
La corrosión puede estropear al sistema de maneras diferentes. Primeramente, por el desgaste corrosivo se debilitan los metales ocasionando perforaciones y fugas del líquido refrigerante. Otra manera es la formación de depósitos por la acumulación de partículas y pedazos de metal que se ha corroído, ocasionando bloqueo para la circulación del fluido de refrigeración (Fieldson, 2011).



Como los componentes metálicos están en contacto con el líquido refrigerante, se dice que la corrosión se da en un medio acuoso y la misma es de origen electroquímico. Por lo tanto, existe la presencia de una zona anódica, en donde se da el desgaste, otra zona catódica y un electrolito. A través del electrolito los iones metálicos del ánodo (una parte activa del metal) migran por el fluido hacia el cátodo que es otra parte de menor actividad del metal. Esta migración causa el desgaste metálico y bloqueo del refrigerante de motor (Benítez, Castellar, Percy, & Bravo, 2014).

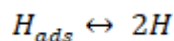
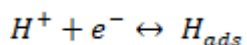
Las reacciones químicas que se dan en un proceso de corrosión son anódicas, y dependiendo del medio, catódicas para pHs neutros o alcalinas donde se da la reducción del oxígeno, o catódicas para pHs ácidos (Saavedra, 2017).

Ecuación 3. Reacción catódica para medio neutro o alcalino



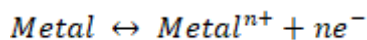
(Saavedra, 2017)

Ecuación 4. Reacción catódica para medio ácido



(Saavedra, 2017)

Ecuación 5. Reacción anódica



(Saavedra, 2017)

Los inhibidores previenen y desaceleran las reacciones que se dan en los componentes metálicos del sistema. mediante tres mecanismos de acción:

- Mediante adsorción química del inhibidor, en las paredes del metal corroído o no, formando un film protector que inhibe las reacciones que se hayan estado dándose (Dariva & Galio, 2014).
- Mediante la formación de un producto el inhibidor forma una película protectora. Esto generalmente se lo hace provocando un potencial eléctrico en el metal (Saavedra, 2017).
- El inhibidor reacciona con el agente corrosivo potencial presente en el medio acuoso, dando como resultado la formación de un complejo que protege la superficie del metal a la vez que elimina el compuesto agresivo. En otras palabras, se varían las características del contorno de los componentes metálicos del sistema de refrigeración para proteger de la corrosividad (Dariva & Galio, 2014; Saavedra, 2017).

2.3.1.3.2. Clasificación de los inhibidores de corrosión.

Según su naturaleza se clasifican en inorgánicos u orgánicos, a la vez según el mecanismo de inhibición pueden ser anódicos, catódicos o ambos (mixtos), y por adsorción. Los inorgánicos tienen acción anódica o catódica, los orgánicos tienen ambas acciones y además trabajan con adsorción.

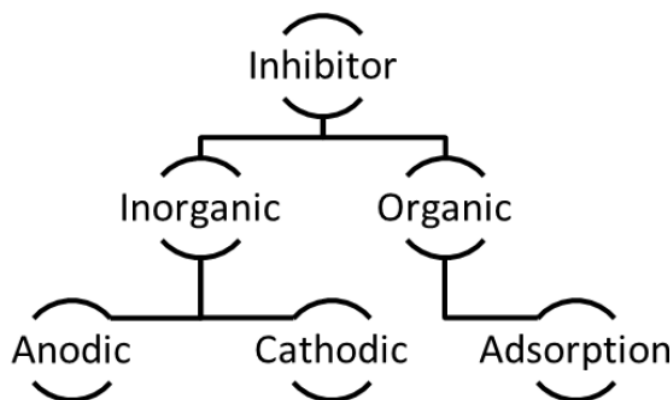


Ilustración 11. Clasificación de Inhibidores

Fuente: (Dariva & Galio, 2014)

- Los inhibidores inorgánicos comprenden las sales, molibdatos y fosfatos. Los aniones de estos son los encargados de disminuir la rapidez de la corrosión.
- Inhibidores anódicos. – También son conocidos como pasivantes, ya que sus capacidades oxidantes hacen que desplacen el potencial corrosivo hasta un rango de pasividad del metal. Es decir, bloquean la reacción anódica polarizando la misma. Además, se forma una película debido al depósito de comúnmente óxidos insolubles formados por la reacción del producto corroído inicial generado en el ánodo (iones metálicos Me^+) con el inhibidor como se muestra en la figura 12. Este mecanismo se produce generalmente en inhibidores inorgánicos anódicos como molibdatos, nitratos, hidróxidos, cromatos de sodio, fosfatos, y silicatos. Presentan un mejor rendimiento en pHs de 6.5 a 10.5 y actúan reparando defectos en la superficie del metal (Benítez et al., 2014; Dariva & Galio, 2014).

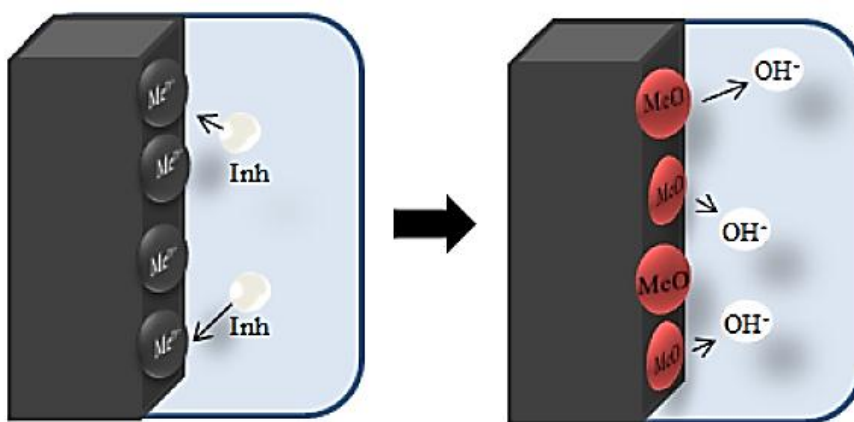


Ilustración 12 Mecanismo de acción de un inhibidor anódico inorgánico
Fuente: (Dariva & Galio, 2014)

- Inhibidores catódicos. – Estos evitan o disminuyen la rapidez de la reacción catódica en el metal. Estos anticorrosivos tienen iones metálicos que pueden reaccionar catódicamente gracias a la alcalinidad del medio. Teniendo como resultado una precipitación que se deposita selectivamente en los sitios

catódicos del metal, formando una película protectora e impidiendo así el contacto entre el metal y el medio, evitando la corrosión. Estos inhibidores son por ejemplo iones de magnesio, Zinc y níquel (Dariva & Galio, 2014).

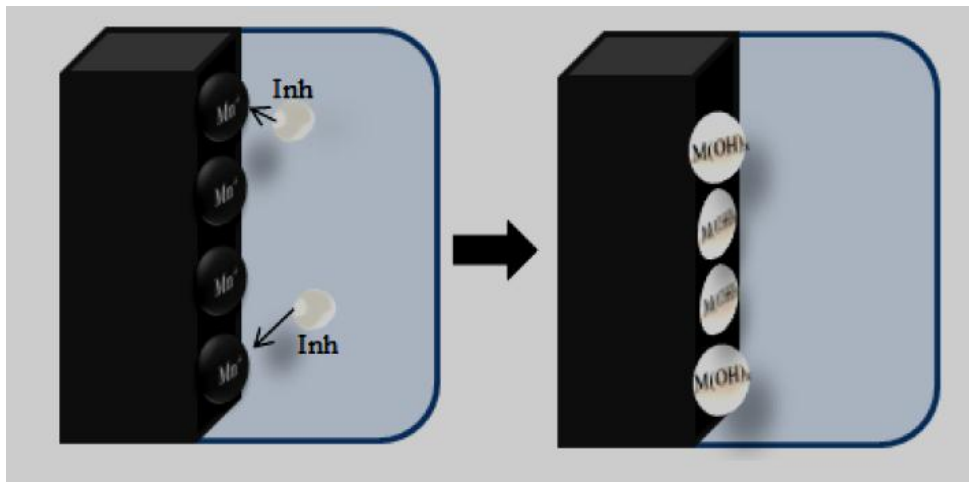


Ilustración 13 Mecanismo de acción de un inhibidor inorgánico catódico.

Fuente: (Dariva & Galio, 2014)

- Los anticorrosivos orgánicos son compuestos con estructuras de química orgánica, pueden ser anódicos, catódicos y generalmente de acción mixta. Los inhibidores se adsorben en las paredes del metal brindando una protección a la disolución en la zona del ánodo y además una defensa contra la reducción del oxígeno en las zonas del cátodo. Pueden ser grupos como mercaptobenzotiazol, fosfonatos, ácidos carboxílicos alcoholes, aminas, etc. Los inhibidores orgánicos generan un menor impacto ambiental que los inorgánicos, por eso estos se usan cada vez más (García, 2014).

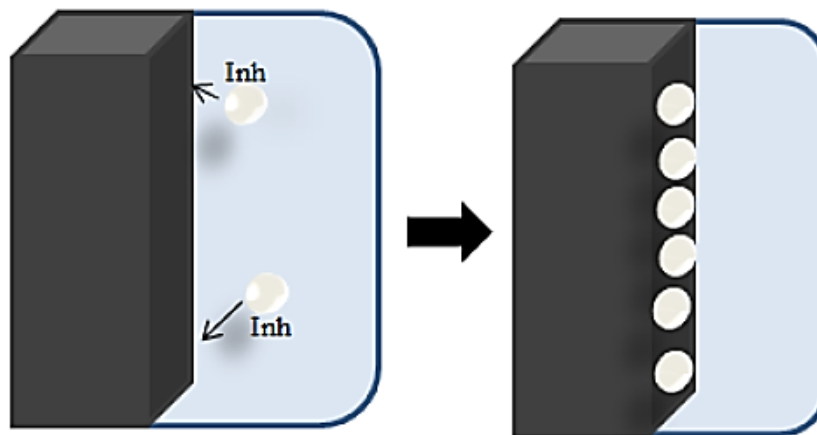


Ilustración 14, Mecanismo de acción de un inhibidor orgánico
Fuente: (Dariva & Galio, 2014)

El sistema de refrigeración del vehículo se encuentra en un medio neutro ya que la composición mayoritaria del refrigerante es agua destilada o ionizada, esta clasificación también abarca sistemas que trabajan con agua potable, de mar y salmuera (Räuchle & Tang, 1990). Existen inhibidores que atacan la corrosión en medio ácido, en neutro y básico, para el caso de estudio de este trabajo de titulación se tomarán en cuenta anticorrosivos para medio neutro y básico.

Los inhibidores inorgánicos son aditivos minerales empleados en líquidos refrigerantes tradicionales. Sus formulaciones son de dos tipos, para servicio liviano, y para servicio pesado.

- Para servicio liviano las empresas fabricantes aplican compuestos combinados generalmente sales de Borato, silicato, nitrato; Borato / fosfato, silicato, nitrato y; Fosfato, silicato, nitrato cabe recalcar que no es necesario adicionar nitritos. El borato es usado para reforzar un paquete inhibidor, no protegen al aluminio. Los nitratos previenen el efecto de picado en las paredes de aluminio a concentraciones de 2g/l aproximadamente. Los fosfatos son buenos inhibidores en metales ferrosos evitando cavitación a 3g/l, pero no son óptimos para la protección del aluminio. Los silicatos son



muy utilizados por que son excelentes inhibidores especialmente para proteger el aluminio (Expertos en refrigerantes, 2019; Fieldson, 2011).

- En productos para servicio pesado las mezclas anteriores se complementan añadiendo sales de nitrito, o nitrito/molibdato, o solo molibdato. Estos son excelentes protectores de la cavitación en motores diésel para metales de aluminio cuando se dan grandes esfuerzos (Expertos en refrigerantes, 2019).

Las reacciones químicas que se dan en el medio acuoso provocan un agotamiento rápido de estas sales minerales inhibidores especialmente en los vehículos de trabajo pesado. Por lo tanto, el tiempo de servicio del refrigerante se ve limitado, y es necesario cambiar el líquido o en los motores diésel agregar un aditivo refrigerante complementario (SCA) para no desechar gran cantidad de líquido (Expertos en refrigerantes, 2019).

Los inhibidores orgánicos más usados según varias patentes estadounidenses y europeas son combinaciones de compuestos orgánicos como mercaptobenzotiazol, fosfonatos, ácidos carboxílicos, sales de ácidos carboxílicos, alcoholes, aminas. Los ácidos carboxílicos pueden ser alifáticos ramificados con 6 a 11 átomos de Carbono; ácido orgánico alifático monobásico; sal(es) de amonio de ácido(s) carboxílico(s) de 5-18 átomos de C y generalmente están en concentraciones de varios puntos porcentuales siendo de 0 a 5 % el rango más común (OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS Patent N.º ES 2 358 575 T3, 2011).

Para servicio pesado la patente 2 358 575 recomienda un ácido orgánico alifático monobásico, con pequeñas concentraciones de molibdatos o una combinación de sales de nitritos y/o nitratos, polivinilpirrolidona, una sal de hidróxido, silicatos y/o silicatos estabilizados con siloxano con compuestos de metales de transición, suministra un efecto protector contra la corrosión por cavitación de aluminio en líquidos acuosos (OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS Patent N.º ES 2 358 575 T3, 2011).



Los refrigerantes con inhibidores orgánicos presentan un mayor tiempo de vida útil que sus antagónicos, los inorgánicos, debido a su mecanismo de acción, Por lo que los hace la mejor opción para servicio pesado.

A continuación, se enumera una lista de los inhibidores más importantes y sus propiedades, estos compuestos se pueden fusionar para lograr una mejor protección.

Tabla 1
Inhibidores de corrosión.

<i>Inhibidor</i>	<i>Características</i>
<i>Benzoato</i>	Excelente inhibidor en general, pero baja eficiencia para hierro fundido, sin embargo este material ferroso no es utilizado en la actualidad.
<i>Silicatos</i>	Buenos, en especial para el aluminio, es inorgánico.
<i>Polifosfatos</i>	Son buenos, pero pueden reaccionar por hidrólisis, es de naturaleza inorgánica.
<i>Nitrito</i>	Es bueno para hierro fundido por lo que tiene combinarse con otros, es de carácter inorgánico.
<i>BTA/TTA</i>	Protege el cobre y aleaciones del mismo metal
<i>Nitratos</i>	Solo protege el aluminio, por lo que hay que combinarlo, es un inhibidor inorgánico.
<i>Molibdatos</i>	Protege a otros metales que pueden haber en el sistema.
<i>Bórax:</i>	Aumenta la reserva alcalina
<i>Sebacinato</i>	Muy poderoso combinado con BTA.
<i>Acido</i>	Es un inhibidor Aromático de tecnología acido carboxílico.
<i>Benzoico</i>	
<i>Acido 2-etilhexanoico</i>	Excelente protector de corrosión en la mayoría de metales

Fuente: (Räuchle & Tang, 1990; OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS Patent N.º ES 2 358 575 T3, 2011).

2.3.1.4. Antiespumantes.

Los antiespumantes son sustancias químicas que se incorporan a los líquidos anticongelante/refrigerantes, con el fin de reducir la tendencia a la formación de espuma debido a los compuestos adicionales que se agregan al agua des ionizada. Una excesiva formación de espuma puede facilitar la oxidación, variación de presión en el sistema y sobre todo las burbujas ocasionan la cavitación en



bombas y camisas. Por tal razón es necesario cambiar la tensión superficial y de interface del líquido para debilitar las paredes de las burbujas, facilitando su ruptura, además la aparición de espuma inestables. La composición química de estos puede ser compuestos siliconados como polisiloxanos, óxidos de polialquileño, productos orgánicos de silicio (dietil silicatos) u otras sustancias para este fin. Aunque los más recomendables tienen nombre de Pluronic, Palcote. Se pueden agregar en rango de concentraciones mayores a 0% hasta de 10 % (OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS Patent N.º 2 547 492, 2015; Clavijo, 2017).

2.3.1.5. Colorantes.

Son tintes de preferencia fluorescentes y termoplásticos, que se adicionan al líquido principalmente para facilitar la identificación de fugas. Estos no deben ser tóxicos, sin solvente, y no presentar efectos negativos al sistema de enfriamiento (Clavijo, 2017).

2.3.2. Tipos de Refrigerantes.

Según los componentes que conforman los líquidos anticongelante/refrigerante, podemos identificar tres tipos. Refrigerantes inorgánicos, tecnología ácido orgánico, y tecnología híbrida.

2.3.2.1. Tecnología Inorgánica o tradicional.

Son los refrigerantes los cuales están formulados con inhibidores de corrosión de origen inorgánico. Estos protegen de la corrosión y cavitación en la mayoría de metales. Su uso es recomendado para vehículos antiguos por que presentan una mejor inhibición en el material del que están contruidos. Una de las ventajas de esta tecnología es su bajo costo, pero a lo largo del tiempo se han ido descubriendo ciertas desventajas, por lo que se han desarrollado nuevas tecnologías. Como desventajas se puede citar su toxicidad alta en relación a los



otros tipos, menor eficacia debido a su mecanismo de acción, elevado precio de mantenimiento, generación de residuos, y periodo de duración bajo debido a que el inhibidor se consume en las reacciones químicas que se dan (Expertos en refrigerantes, 2019; SASAM, 2013).

2.3.2.2. Tecnología Ácido Orgánico.

Conocida por sus siglas en inglés, OAT, los refrigerantes y anticongelantes que usan esta tecnología están formulados con ácidos orgánicos y sus sales, que son utilizados para inhibir la corrosión. Los más usados son los ácidos carboxílicos y sus sales, los carboxilatos. En la actualidad es ampliamente usado por que cumplen con los requisitos de los fabricantes de vehículos que recomiendan el uso de esta tecnología. Esta innovación tiene un costo mayor a los inorgánicos, sin embargo, vale la pena optar por esta por los beneficios que presta.

- Primeramente, el líquido refrigerante disipa mejor el calor, debido a que en comparación con los inorgánicos cuyos inhibidores se depositan a lo largo del metal, los orgánicos se sitúan solo en las zonas afectadas por la corrosión, sean estas ánodo o cátodo.
- Son denominados como refrigerantes de larga vida de duración (LLC), por la misma razón anterior ya que al situarse solo en zonas afectadas el inhibidor no se consume rápidamente.
- Posee una mayor eficacia de protección para casi todos los metales.
- Su costo de mantenimiento es menor, para motores de servicio pesado cada cierto tiempo o kilometraje se puede adicionar un extensor de refrigerante.
- La ventaja más importante es que los refrigerantes que usan esta técnica en su formulación son biodegradables y amigables con el medio ambiente.

(Expertos en refrigerantes, 2019; SASAM, 2013)

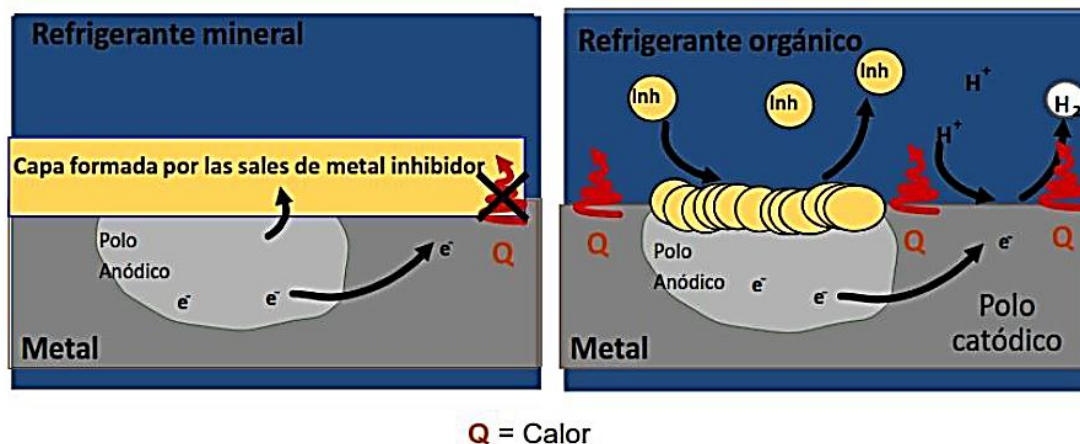


Ilustración 15. Comparación entre refrigerantes orgánicos e inorgánicos

Fuente: (SASAM, 2013)

2.3.2.3. Tecnología Híbrida.

Trata de refrigerantes cuyos inhibidores están compuestos por sales inorgánicas y por ácidos orgánicos, conocida por sus siglas en inglés como HOAT. Combina características de ambas tecnologías y se utiliza principalmente en vehículos a diésel de servicio ligero y pesado. Su principal ventaja es que el líquido refrigerante/anticongelante es compatible con otros refrigerantes, SCA y extensores de refrigerantes (Expertos en refrigerantes, 2019).

2.3.3. Propiedades Fisicoquímicas de Líquidos

Refrigerantes/anticongelantes para motores.

Las propiedades físicas y químicas que se analizan en la elaboración y el uso del refrigerante son establecidas por organismo internacionales, en colaboración con los fabricantes de vehículos. El comité D15 de ASTM internacional es uno de institutos que se encarga de investigar y de elaborar normas correspondientes a líquidos refrigerantes/anticongelantes para motores, marcando el procedimiento y la técnica que se debe seguir para determinar las características del refrigerante (ASTM International - Standards Worldwide, 2011).

Para determinar la calidad de un líquido refrigerante/anticongelante el comité D15 de la ASTM facilita normas en donde establecen los rangos de cada parámetro.



Estas normas son dos: una para vehículos de servicio liviano y otra para vehiculas de servicio pesado que son D3306-2019 y D6210-2017 respectivamente.

2.3.3.1. Punto de Ebullición.

Se refiere a la temperatura a la que hierve el refrigerante a una presión atmosférica a nivel del mar. El procedimiento para determinar la misma está dado por normas internacionales ASTM 1120-17. El punto de ebullición al igual que el de congelamiento está relacionado directamente con la concentración de base refrigerante.

2.3.3.2. Punto crioscópico.

Es la temperatura a la cual se congela el líquido refrigerante/anticongelante, su procedimiento está dado por la norma D1177. El congelamiento es la principal razón por la cual se usa la base refrigerante ya que puede ocasionar la ruptura del sistema de refrigeración.

En la siguiente tabla se muestra la relación entre el porcentaje de base refrigerante (etilenglicol), punto de ebullición y punto crioscópico.

Tabla 2.

Punto de Ebullición y Congelación de un refrigerante vs concentración de base refrigerante

Percentage of EG in water	Freezing point (°C)	Boiling point (°C)
0	0	100
10	−4	102
20	−7	102
30	−15	104
40	−23	104
50	−34	107
60	−48	110
70	−51	116
80	−45	124
90	−29	140
100	−12	197

Fuente: (Sidik et al., 2015)



2.3.3.3. Reserva Alcalina

La reserva alcalina (RA) es un concepto usado para representar la totalidad de inhibidores alcalinos que se encuentran en el líquido refrigerante/anticongelante, es decir la cantidad restante de estos en el fluido. Es usado para el control de calidad del producto y su procedimiento esta descrito en la norma ASTM D1121-11.

La importancia de los inhibidores alcalinos radica en que estos tienen una labor amortiguadora o tampón. Estos actúan neutralizando los ácidos cuando ocurre una contaminación ácida en el fluido refrigerante ocasionado principalmente por la fuga de gases de escape al interior del sistema de refrigeración, por un limpiador residual ácido u oxidación de la base refrigerante de glicol. Algunos inhibidores que no contribuyen a la alcalinidad de reserva pueden tener excelentes propiedades anticorrosivas para los metales, pero baja capacidad para enfrentar la contaminación ácida. El número de RA de un refrigerante no es un criterio apropiado para determinar su potencial rendimiento inhibidor (ASTM INTERNATIONAL, 2011b).

2.3.3.4. pH.

Indica la cantidad de iones hidronio presente en la solución, y ayuda a determinar si el refrigerante y sus preparaciones son básicas, ácidas o neutras, su procedimiento consta en la norma ASTM D1287-11. El pH se mide en una escala del 0 al 14, siendo de 0 a 7 una zona ácida, y de 7 a 14 una zona básica, cuando la medida es 7 es considerada neutral. Se utiliza a veces para controlar la calidad, y es recomendable que el líquido refrigerante sea alcalino, sin embargo, su medida no proporciona una indicación confiable de su eficacia y tiempo de vida útil del fluido (ASTM INTERNATIONAL, 2011a)

El pH se relaciona con la velocidad de corrosión, aumentando cuando este es menor a 4 y está dada por la evolución del H_2 . Cuando $4 \leq pH \leq 10$ la rapidez de corrosión es independiente de esta medida (Clavijo, 2017).



2.3.3.5. Densidad Relativa.

Es la relación entre la densidad del fluido y la densidad del agua, ambas medidas tomadas a la misma temperatura. Es usada como parámetro de control, permite el cálculo el punto de congelación, de ebullición, y el porcentaje aproximado de base refrigerante de glicol, siempre y cuando se sepa el tipo de glicol (ASTM INTERNATIONAL, 2016).

2.3.3.6. Formación de Espuma.

Esta es una medida que sirve para distinguir los refrigerantes con excesiva tendencia a formar espuma, además es un parámetro que ayuda a determinar el rendimiento del fluido. Cuando el espumado es alto ocasionará complicaciones de cavitación en la bomba. El espumado puede aumentar por envejecimiento del líquido o alguna contaminación. También por el mal funcionamiento de la tapa de presión del radiador, que se encarga de eliminar la formación de espuma (ASTM INTERNATIONAL, 2017b).

2.3.3.7. Corrosividad.

Se analiza esta propiedad para saber si un líquido refrigerante/anticongelante de motor es o no perjudicial para los elementos metálicos del sistema de refrigeración y motor, en cuanto a ataques corrosivos. Este parámetro puede ser determinado mediante ensayos de laboratorio y sus resultados son adecuados para una valoración adicional, porque su valor real solo puede determinarse mediante pruebas de banco, dinamómetro y de campo, las cuales son más completas y extensas (ASTM INTERNATIONAL, 2005).

2.4. Diseño Experimental.

2.4.1. Concepto.

El diseño experimental es una serie de pasos lógicos y ordenados, que ayudan a la obtención de información mediante ensayos o experimentos, aplicando un



modelo matemático el cual nos permite comprobar y dar validez una hipótesis. Esto se logra manipulando una variable independiente o de entrada para luego observar y cuantificar los efectos causados en otra, conocida con el nombre variable dependiente o de salida (Montgomery, 2004; Montoya-Marquez, Sánchez-Estudillo, & Torres-Hernández, 2011).

2.4.2. Principios Básicos.

Para que haya una correcta aplicación del método estadístico, se debe tomar en cuenta el diseño experimental. Para esto se debe tener claro los tres principios del diseño experimental que brindan la mayor eficiencia posible en la obtención de datos, lo que llevará al experimentador a conclusiones efectivas y objetivas. Estos principios necesarios son: la aleatoriedad, la formación de bloques, y la realización de réplicas.

- Aleatoriedad. - Montgomery lo define como “la piedra angular” en la cual se basa el análisis estadístico dentro del diseño de experimentos. Consiste en seleccionar al azar los objetos de estudio y corridas experimentales. Esta asignación ayuda a disminuir la aparición de sesgos en los resultados de la experimentación, logrando la validación del mismo (Condo Plaza & Pazmiño Guadalupe, 2015).
- Formación de bloques. – Es separar las unidades experimentales en conjuntos que tengan ambientes experimentales homogéneos o condiciones lo más cercanas posibles, si es que es posible hacerlo. Esto con el fin de aumentar la precisión y de suprimir o disminuir la variabilidad generada por los factores perturbadores que se pueden presentar en el experimento (Condo Plaza & Pazmiño Guadalupe, 2015).
- Realización de réplicas. - Es la repetición de una corrida experimental. Ayuda a obtener un valor estimado del error del experimento y a valorar efectos de la variación de un factor en la experimentación (Montgomery, 2004).

2.4.3. Pasos para el Desarrollo del Diseño Experimental.

En la siguiente ilustración se enumeran los pasos recomendados para llevar a cabo el diseño de experimentos, que ayudará de una manera ordenada y sistemática a comprobar o no la hipótesis planteada.

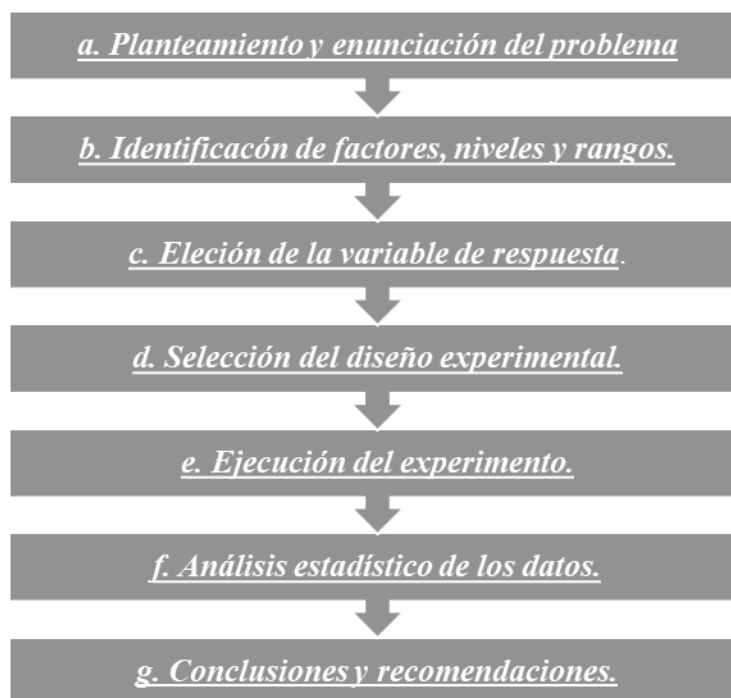


Ilustración 16. Pasos para el diseño experimental

Fuente: (Montgomery, 2004)

A continuación, se da una breve descripción de cada uno de estos pasos o etapas.

- a) Planteamiento y enunciación del problema. – Consiste en poder identificar el problema y enunciarlo de una manera clara de modo que todos estén de acuerdo. Para esto es necesario contar con todos los conocimientos técnicos de las distintas áreas que involucra el caso de estudio en el cual se trabaja. Para poder redactar mejor el problema, también hay que plantear los objetivos generales y específico que se buscan lograr en la experimentación (Montgomery, 2004).



b) Identificación de factores, niveles y rangos. - Los factores son los que pueden influir en los resultados de la experimentación al ser estos variados. Existen dos tipos: los potenciales de diseño y los perturbadores.

- Los factores potenciales de diseño a su vez se subdividen en tres: Factores de diseño, los que se les permiten variar, y los que se mantienen constantes. Los Factores de diseño son los que realmente se estudiarán, es decir a los que se les hará variar. En cambio, los que permanecen constantes son aquellas variables que pueden tener alguna acción sobre las variables de salida, pero no son de interés en el estudio y por eso se mantienen invariables. Por último, los factores a los que se les permiten variar son las unidades experimentales o materiales sobre las cuales se aplican los factores de diseño, los cuales no son homogéneos. Por tal razón se aplica el principio de aleatoriedad, para eliminar la variabilidad de una unidad experimental (Montgomery, 2004).
- Los factores perturbadores, dentro del experimento no hay interés en estos, pero pueden generar grandes efectos en la experimentación por lo que es necesario tomarlos en cuenta. Estos pueden ser controlables, no controlables y de ruido. Los elementos perturbadores controlables son aquellos que pueden ser ajustados dentro de diseño del experimento sin presentar mayores dificultades, para disminuir su efecto se aplica el principio de formación de bloques. Los no controlables son muy difíciles de manejar por parte del experimentador, pero si estas son medibles se puede aplicar un análisis de covarianza para disminuir su efecto. Los factores de ruido, son aquellas variables que fluctúan de forma natural y no son controlables dentro del proceso, pero si para un experimento, para disminuir sus consecuencias se aplican estudios de robustez (Montgomery, 2004).

Ya seleccionados los factores de diseño (conceptualizados anteriormente) se procede a determinar los intervalos de variación para los mismos y también los niveles con los que se ejecutarán las corridas. No hay que olvidar pensar cómo



se controlarán los intervalos y niveles fijados cuando se proceda a la experimentación, así como la manera en la que se van a medir.

- c) Elección de la variable de respuesta. – La o las variables escogidas deben aportar información útil del proceso para permitir realizar un análisis estadístico y sacar las respectivas conclusiones.
- d) Selección del diseño experimental. - Hay que tomar varios parámetros en cuenta para seleccionar el método más adecuado que nos permita cumplir con los objetivos planteados. Considerar el tamaño de la muestra, la cantidad de réplicas, niveles, un adecuado orden de corridas experimentales, aleatorización y si es posible la formación de bloques.
- e) Ejecución del experimento. - Esta etapa es de vital importancia y hay que cerciorar que todo vaya según lo planificado. Ya que errores en esta fase podrían afectar a la validez del método. Con el fin de no echar a perder las unidades experimentales, es recomendable realizar corridas de prueba para comprobar los materiales de prueba, equipos de medición, ganar experiencia en la aplicación de la técnica seguida en el experimento, y apreciar el error experimental que se puede generar(Ruiz de Maya & López, 2013).
- f) Análisis estadístico de los datos. – Una vez realizada la experimentación los datos obtenidos deben ser estudiados aplicando técnicas estadísticas, para obtener resultados y conclusiones objetivos. Los métodos gráficos y los empíricos mediante ecuaciones, aportan significativamente a la interpretación de resultado, mostrando la relación que existe entre los factores de diseño y las variables de salida. Si bien los modelos estadísticos no demuestran nada experimentalmente, son de gran importancia porque sirven para medir el error generado y permiten dar un grado de confianza a nuestras conclusiones. Ayuda a tomar decisiones con objetividad. En la actualidad existen varios softwares estadísticos que facilitan los cálculos, ahorrando dinero y tiempo(Montgomery, 2004; Ruiz de Maya & López, 2013).



- g) Conclusiones y recomendaciones. - Tras el análisis estadístico, la persona responsable del estudio debe entregar las conclusiones comprobando o no la hipótesis planteada, o si se ha podido solucionar el problema antepuesto. Además, se debe dar las directrices de las acciones que se seguirán a futuro con los resultados obtenidos. Es recomendable después de esto realizar un seguimiento aplicando algunas corridas para comprobar la validez de las conclusiones (Ruiz de Maya & López, 2013).

2.4.4. Principales tipos de diseño experimental.

2.4.4.1. Experimentos con un solo Factor.

Son aquellos experimentos que involucran un solo factor de diseño, del cual pueden variar el número de niveles y el de réplicas. Trata de aplicar todos los principios básicos, según el caso de estudio, Es necesario fijar una secuencia de corridas, la cual tiene que ser aleatoria para evitar las consecuencias que se pueden dar por las variables perturbadoras que se desconocen.

Este método es utilizado especialmente para hacer comparaciones entre tratamiento o productos a los cuales se les haya variado un mismo factor. Comparando sus medias poblacionales y varianzas. Puede trabajar con análisis de varianza (ANOVA) o prueba T (Álvarez, 2018).

2.4.4.2. Diseño Factorial de Dos Factores.

Incluyen dos factores (A y B), con a niveles y b niveles respectivamente, y con n réplicas. En este caso cada réplica debe contener todas las combinaciones posibles entre los a y b niveles o tratamientos. Este es un diseño completamente aleatorizado, porque el orden de las corridas experimentales es determinado al azar (Montgomery, 2004).

2.4.4.3. Diseño Factorial con más de dos factores.

Es como el diseño factorial de dos factores, pero de una forma más ampliada, ya que puede constar de factores A , B , C , ..., etc., así como a , b , c , etc. Niveles. El



número de observaciones o corridas totales estará dado por la combinación de los *abc...* niveles. Es necesario que el número de réplicas n , sea mayor o igual a dos, para poder obtener una suma de cuadrados debido al error existente (Álvarez, 2018).

2.4.4.4. Diseño factorial 2^k .

Constituye un caso especial del anterior método y es muy utilizado dentro del campo de la investigación científica e industrial especialmente para tamizado y elección de factores. Puede constar de varios factores representados por la letra k , pero solo cuenta con dos niveles que pueden ser cualitativos o cuantitativos. El número de observaciones o corridas para cada replica está dado por la fórmula $2k^2$, y puede constar con n réplicas. Este método supone factores fijos y corridas aleatorizadas (Montgomery, 2004).

2.4.4.5. Ajuste de Regresión Lineal.

Este método estudia la relación que se da entre una o más variables independientes y una sola variable dependiente o de respuesta mediante modelos de regresión. No es considerado un diseño experimental, sino más bien un modelo empírico que presta al entendimiento e interpretación de los resultados (Montgomery, 2004).

3. METODOLOGÍA.

Para llevar a cabo el desarrollo de la metodología se tomará en cuenta las etapas o fases de un diseño experimental, revisadas en el marco teórico. Con el fin de que el proceso sea ordenado y sistemático.

3.1. Planteamiento y Enunciación del Problema.

La empresa ETC SERVICE desea montar una línea de producción de refrigerantes para vehículos de gasolina y diésel. Así que se desea obtener una formulación de un refrigerante que sea amigable con el medio ambiente y que se adapte a las condiciones climáticas de la región (que no posee climas extremos).



Para cumplir estos requerimientos se plantea, la disminución de la concentración de base refrigerante en relación a los productos comerciales normales ya que estas están formuladas para condiciones extremas de calor y frío. Además, trabajar con una tecnología de inhibición de corrosión diferente a los refrigerantes tradicionales, aplicando OTA (tecnología ácido orgánico) que presenta ventajas como mejores rendimientos, mayor tiempo de vida útil y es amigable con el medio ambiente.

Es por ello que al tener los líquidos refrigerantes/anticongelantes un exceso de base refrigerante se plantea el reajuste de la fórmula a diseñar en función de nuestras condiciones. Esta acción aparte de reducir la cantidad de materia prima, lo que genera reducción de costos, además está contribuyendo a la disminución del impacto ambiental cuando el producto cumpla su tiempo de trabajo, ya que la mayoría de sus componentes presentan peligros a la naturaleza, en especial la base refrigerante.

3.2. Identificación de Factores, Niveles y Rangos.

A continuación, se mencionan los factores que pueden influir en el desempeño de un líquido refrigerante.

❖ **Factores Potenciales de Diseño.** - Todas las variables de entrada en el proceso de elaboración de líquido refrigerante que pueden modificarse.

- *Factores de Diseño.* - Son los factores a los cuales se variarán en un rango establecido a continuación.

Tabla 3.
Factores de Diseño

Factor de diseño	Nivel	Rango (W/W)	Letra Clave
% de Agua des ionizada	5	99-60 %	A
% de Base refrigerante.	5	1-40 %	B

Fuente: Autor



En este caso la suma de porcentaje de agua des ionizada y porcentaje de base refrigerante es igual al 100% de la mezcla Agua-Base Refrigerante. Por lo tanto, se realizará el cálculo correspondiente para obtener un valor real.

- *Factores que se mantienen Constante.* - No son de interés en el estudio, por eso se mantienen constantes.

Tabla 4.

Factores que se mantienen constantes

Factor Constante	% (W/W)	Letra clave
Inhibidor de la Corrosión	C	C
Antiespumante	D	D
Colorante	E	E

Fuente: Autor

Los porcentajes de cada componente del refrigerante citados en la tabla anterior son determinados en base a recomendaciones de fabricantes y patentes de estos productos. Están representados con un código alfabético en minúsculas.

Se realizará el cálculo correspondiente en relación a la cantidad de refrigerante total que se preparará para el análisis.

- *Factores a los que se les permite variar.* - Variables que no se mantienen homogéneas a lo largo de la experimentación, se aplica la aleatorización para remediar su efecto.

Tabla 5

Factores a los que se les permite variar.

Factores a los que se permiten variar.	Medida
Temperatura de preparación de refrigerante	T ambiente
Tipo de agitación de la mezcla	Manual o mecánica
Tiempo de reposo después de la agitación	10 min
Temperatura de toma de muestras	$\geq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Fuente: Autor



La medición de estos factores se realizará con instrumentos como cronómetro, y termómetro y la agitación será realizada manualmente.

❖ **Factores Perturbadores.** - No hay interés en ellos, pero deben considerarse por sus efectos.

- *Factores perturbadores Controlables.* - Sus valores pueden ajustarse al experimento.

Tabla 6.

Factores Perturbadores Controlables

Factores controlables	perturbadores Medida
Pureza de Base refrigerante	ASTM E1177-14
Propiedades del agua des ionizada	ASTM D3306-19

Fuente: Autor

- *Factores Perturbadores no Controlables.* – Pueden ser medidos, pero no controlados.

Tabla 7.

Factores Perturbadores No Controlables.

Factor perturbador no controlable	Medida
Pesaje de la materia prima	gramos

Fuente: Autor

- *Factores de Ruido.* - Son los que varían de forma natural y no son controlables

Tabla 8.

Factores Perturbador de sesgo

Factor perturbador de sesgo	Medida
Factor Humano	N/D
Confiabilidad de Equipos de prueba	N/D
Calidad de los materiales de laboratorio	N/D

Fuente: Autor



3.3. Elección de la Variable (s) de Respuesta

Los factores de diseño escogidos son el porcentaje de base refrigerante y porcentaje de agua. Esto influye directamente en el punto de ebullición, de congelamiento y la tendencia a la formación de espuma. Como en el país no hay temperaturas extremas bajo cero, no se toma en cuenta el parámetro de punto de congelación.

Tabla 9.
Variables de Respuesta

Variable de Respuesta	Medida según Norma de referencia
Temperatura de ebullición	ASTM D3306-19 y ASTM D6210-17
Tendencia a la formación de Espuma	ASTM D3306-19 y ASTM D6210-17

Fuente: Autor

3.4. Selección del diseño Experimental.

Después de una revisión de los tipos de diseño experimental se ha escogido el que más se adapta al problema y la solución planteada. A continuación, se explicará en que consiste el diseño para este caso de estudio.

En la selección de los factores de diseño se planteó dos variables: el porcentaje de base refrigerante y el de agua, cuya suma de relaciones equivale al 100 %. Sin embargo, al variar cualquiera de los dos factores el otro cambiará automáticamente como sigue.

Ecuación 6. Relación entre el % de base refrigerante y % de agua.

$$\% \text{ Agua} = 100 - \% \text{ base refrigerante}$$

Así que se puede tomar al porcentaje de base refrigerante como un solo factor, ya que ambas variables son complementarias.

Dicho lo anterior, se llevará a cabo un diseño experimental con un solo factor, debido a que se variará la concentración de base refrigerante en un rango de 1 a 40 %, esto implica la variación del porcentaje de agua, considerando inicialmente: $\% \text{ de base refrigerante} + \% \text{ de Agua} = 100\%$; los aditivos se calcularán tomando



en cuenta esta mezcla. Se trabajará con 5 niveles del factor de diseño de 1%, 5%, 15%, 25%, 40% de base refrigerante. Además, con dos réplicas de cada nivel, esto implica que se desarrollarán 10 corridas para cada variable de respuesta que se llevará a cabo de una manera aleatoria con una secuencia determinada mediante un programa de computación.

Lo mencionado aplica a la formulación de refrigerante para vehículos de servicio ligero como para el de servicio pesado, es decir un solo diseño experimental para ambos productos.

En resumen, se realizará en total 20 ensayos aleatorios para determinar la mejor formulación de refrigerantes de motores para servicio liviano y servicio pesado.

A continuación, en la tabla 10 se representa como está determinado el número de corridas correspondiente a cada porcentaje de base refrigerante incluyendo las réplicas. Esto para los ensayos de punto de ebullición y tendencia a la formación de espuma respectivamente.

Tabla 10.

Determinación del número de corridas para el punto de ebullición y para la tendencia al espumado.

% Base Refrigerante (w/w)	Número de Corridas Experimentales	
1	1	2
5	3	4
15	5	6
25	7	8
40	9	10

Fuente: Autor

El número de corridas para cada ensayo es de 10, las cuales deben seguir una secuencia que tiene que ser determinada aleatoriamente con el fin de reducir los efectos que causan los factores perturbadores. Así que mediante un programa formulado en Excel se establece una sucesión de números al azar del 1 al 10, como se muestra en la imagen. Dicho orden se seguirá en la preparación de cada



líquido refrigerante y en cada ensayo correspondiente a los factores de respuesta como se representa en la tabla 11.

	A	B	C
1	Límite inferior:	1	
2	Límite superior:	10	
3	Cantidad:	10	
4	Resultado:	10 6 7 1 4 2 3 9 5 8	
5			
6	Generar aleatorios		
7			
8			

Ilustración 17. Generación de números aleatorios.

Fuente: Autor

Tabla 11.

Aleatorización de las corridas para la elaboración y las 2 variables de respuesta.

Secuencia de prueba	# de Corrida	% Base Refrigerante (w/w)
1	10	40
2	6	15
3	7	25
4	1	1
5	4	5
6	2	1
7	3	5
8	9	40
9	5	15
10	8	25

Fuente: Autor

3.5. Ejecución del Experimento.

Se llevará a cabo la preparación del refrigerante para vehículo con las concentraciones establecidas por el diseño experimental planteado. Posteriormente se realizarán las corridas de las pruebas de las variables de



salidas, para las cuales se procedió a la adquisición de normas internacionales ASTM. Las normas que se ocuparán en este estudio se muestran en la tabla 12.

Tabla 12.
Normas ASTM

Código	Nombre
<i>ASTM D1120-17</i>	Método de prueba estándar para el punto de ebullición de los refrigerantes del motor.
<i>ASTM D1881-17</i>	Método de prueba estándar para las tendencias de espumado de los refrigerantes del motor en la cristalería
<i>ASTM D3306-19</i>	Especificación estándar para refrigerante de motor con base de glicol para automóviles y servicio liviano
<i>ASTM D6210-17</i>	Especificación estándar para refrigerante de motor con base de glicol totalmente formulado para motores de servicio pesado
<i>ASTM D1176-14</i>	Práctica estándar para el muestreo y la preparación de soluciones acuosas de refrigerantes o antioxidantes del motor para fines de prueba.
<i>ASTM E1177-14</i>	Especificación estándar para glicol de grado de refrigerante del motor

3.5.1. Proceso de Elaboración de Líquido Refrigerante.

- ❖ Aprobación y Recepción de la materia prima. – Consiste en verificar que la materia prima esté en buenas condiciones es decir que no haya presencia de objetos extraños u otras sustancias entre los reactivos.

La materia prima se consiguió en casas comercializadoras de productos químicos dentro y fuera de la ciudad. Así que se realizó un pedido de los reactivos a una distribuidora llamada Lider-Quim.



Ilustración 18. Materia Prima

Fuente: Autor

- ❖ Dosificación de la materia prima. – Con la balanza se pesan los materiales, en recipiente diferentes, de acuerdo a la formulación establecida. Se debe pesar con las proporciones correctas de base refrigerante, agua desmineralizada, y aditivos como anticorrosivos, antiespumante y colorante. Para la experimentación el agua se pese en un vaso de precipitación de 1000 ml, porque se mezclarán los otros elementos en este recipiente. En la tabla 13 se muestran los valores de cada componente que se deben pesar para obtener una cantidad de 600ml de mezcla base refrigerante/agua, a partir de los 600ml se calcularan el resto de aditivos.

Tabla 13.

Peso de la materia prima para cada corrida.

Reactivos a utilizar			A (g)	B (g)	C (g)	D (g)	E (g)
Secuencia	# de Corrida	% BR (w/w)	B. R	Agua	Inhibidor	Antiespumante	Colorante
1	10	40	251.136	376.704	33.044	16.098	0.207
2	6	15	91.566	518.874	32.128	15.652	0.202
3	7	25	154.350	463.050	32.495	15.831	0.204

4	1	1	6.007	594.689	31.616	15.402	0.198
5	4	5	30.174	573.306	31.762	15.474	0.199
6	2	1	6.007	594.689	31.616	15.402	0.198
7	3	5	30.174	573.306	31.762	15.474	0.199
8	9	40	251.136	376.704	33.044	16.098	0.207
9	5	15	91.566	518.874	32.128	15.652	0.202
10	8	25	154.350	463.050	32.495	15.831	0.204
Total			1066.46	5053.24	322.090	156.916	2.020
			6	6			

Fuente: Autor

Para pesar la materia prima se utilizó una balanza analítica, vasos de precipitación de 1000 ml, 250, 100 ml, 50 ml y una luna de reloj, como se muestra en la siguiente imagen.



Ilustración 19. Dosificación de materia prima.

Fuente: Autor

- ❖ Mezclado y homogenizado. – Primero se mezcla el inhibidor con 900ml del agua pesada y luego se agrega la base refrigerante, debido a que estos compuestos son los más solubles en agua. Luego en otro recipiente mezclar bien 50 ml aproximadamente de agua sobrante con el antiespumante, esto se hace para evitar la formación de grumos. Finalmente combinar la mezcla Agua/base/inhibidor, con la mezcla agua/antiespumante y colorante en un solo recipiente. Utilizar el agua separada restante para lavar los recipientes utilizados y colorar la misma en el recipiente de mezcla.



Ilustración 20. Mezclado
Fuente: Autor

Después de mezclar todos los reactivos, agitar durante 10 minutos o hasta obtener una mezcla homogénea.

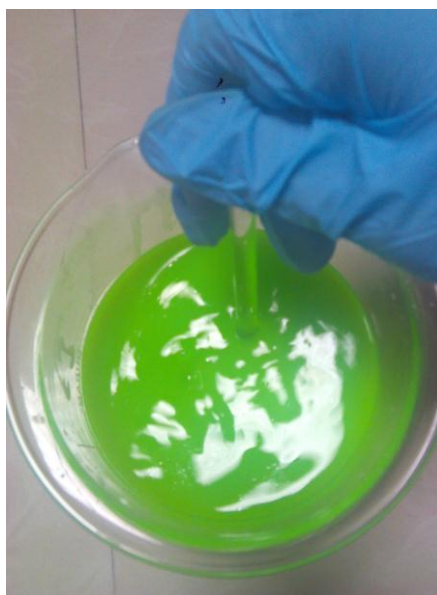


Ilustración 21. Homogenizado.
Fuente: Autor

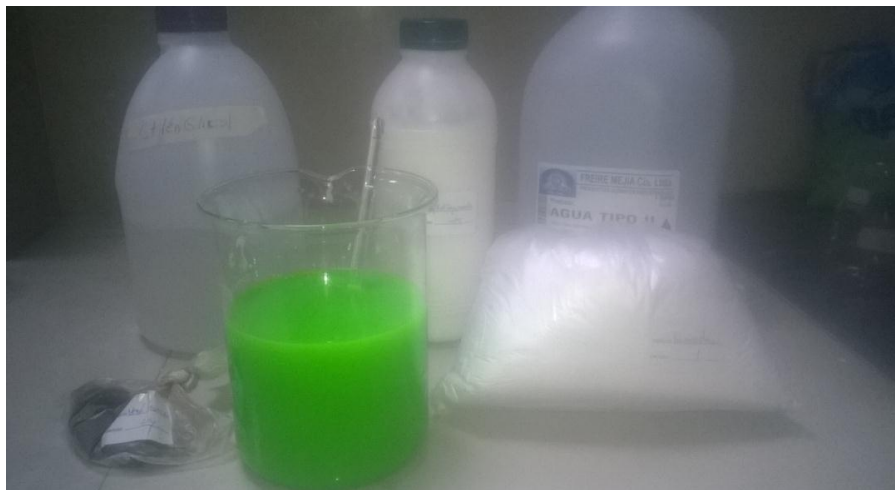


Ilustración 22. Producto Final

Fuente: Autor

- ❖ Envasado y etiquetado. - Una vez homogenizado el líquido refrigerante, colocar el fluido de cada unidad experimental en botellas de polietileno de alta densidad. Se debe rotular indicando el número de corrida o unidad experimental con el porcentaje de base refrigerante, para que no existan confusiones al momento de realizar los ensayos de cada parámetro establecido.



Ilustración 23. Envasado y Etiquetado.

Fuente: Autor



3.5.2. Procedimiento estándar para el muestreo de líquido refrigerante.

La manera para la toma de muestras representativas de líquido refrigerante en vehículos de servicio y en laboratorio, se describe en la norma ASTM D 1176-14. Según la norma el líquido debe estar contenido en recipientes sellados y etiquetados. La muestra se debe tomar a temperatura ambiente superior a 20 °C, si esto no se cumple se puede usar una estufa para calentar el líquido. Asegurándonos de lo anterior se procede a agitar el frasco contenedor, si el recipiente es superior a los 55 galones se puede utilizar un agitador automático por 5 minutos mínimo, con el fin de que la muestra sea homogénea. Por último, se retira la cantidad de muestra deseada con ayuda de una pipeta o sifón, para los próximos ensayos (ASTM INTERNATIONAL, 2014).

3.5.3. Procedimiento estándar para determinar el punto de ebullición de refrigerantes para motor.

Los pasos que hay que seguir para determinar el punto de ebullición se detalla en la norma ASTM D1120-17. Consta básicamente de dos etapas, la primera es el montaje del equipo y la segunda corresponde a la corrida con la muestra para determinar la temperatura a la que hierve el líquido.

Primera Etapa. - El montaje del equipo consiste en un matraz esférico resistente al calor de dos bocas, un instrumento de medición de temperatura, un condensador y una fuente de calor. En donde en una boca del matraz ingresa un termómetro o termocupla, por la otra está conectado a un condensador de tubo de vidrio de reflujo. La fuente de calor está debajo del matraz y servirá para calentar el líquido refrigerante hasta hacerlo hervir (ASTM INTERNATIONAL, 2017).



Ilustración 24. Montaje del equipo de medición de la temperatura de ebullición.

Fuente: Autor

Segunda Etapa. - Una vez que el equipo esté listo, realiza los siguientes pasos:

1. Tomar la muestra cómo se indicó anteriormente aproximadamente 60 ml.
2. Colocar en el matraz algunas piedras de ebullición.
3. Agregar la muestra de líquido refrigerante al matraz.
4. Activar la fuente de calor, con una intensidad suficiente para que la muestra empiece a hervir en un tiempo no mayor a 15 minutos.
5. Cuando esté burbujeando el fluido, controlar la tasa del condensado de una a dos gotas por segundo ajustando la fuente de calor a conveniencia.
6. Tomar la temperatura una vez que se haya mantenido constante el goteo de condensado por lo menos dos minutos.

7. Anotar la temperatura en una tabla de respuestas indicando la secuencia, el número de corrida y el porcentaje de líquido refrigerante.
8. Aplicar un factor de corrección a los valores obtenidos debido a que el punto de ebullición varía según la altura y la presión atmosférica, la propia norma indica cómo realizar la corrección.

(ASTM INTERNATIONAL, 2017).



Ilustración 25. Inicio del ensayo.

Fuente: Autor

3.5.4. Procedimiento estándar para Tendencias de espumado de refrigerantes de motores en cristalería.

Este método corresponde a una técnica de laboratorio para determinar la tendencia de espumado, está dado por la norma internacional ASTM D1881-17. Consta también de una etapa de montaje de equipo y otra correspondiente a la corrida con la muestra.

Primera Etapa. - El equipo consiste en una probeta resistente al calor de 500ml, un recipiente de vidrio resistente al calor para baño maría, termómetro, un tubo aireador, una piedra aireadora, una llave de mariposa o tres vías, una fuente de aire y una fuente de calor. El recipiente de baño maría va sobre la fuente de calor. Al interior del recipiente se coloca la probeta de 500ml, se llena con agua el depósito para baño maría hasta una graduación de la probeta de 230ml mínimo. El termómetro va en interior de la probeta. Se hace una conexión como sigue fuente de aire-tubo-llave-tubo-piedra aireadora, de tal manera que la piedra quede en la parte baja del interior de la probeta (ASTM INTERNATIONAL, 2017).



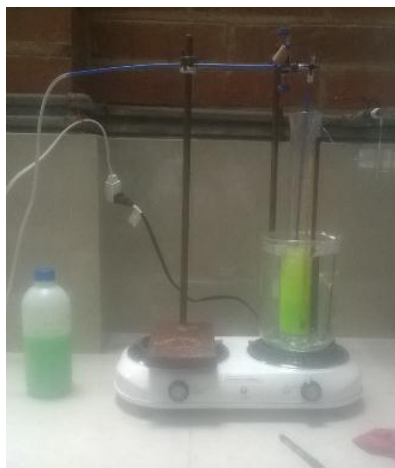
Ilustración 26. Montaje del Equipo.
Fuente: Autor

Segunda Etapa. - Una vez que el equipo esté listo, realiza los siguientes pasos:

1. Tomar la muestra del líquido refrigerante a analizar.
2. Preparar una solución del 33% por volumen de refrigerante para analizar con agua tipo II.

3. Colocar 145 ml de la solución preparada en la probeta de 500ml.
4. Encender la fuente de calor y esperar hasta que la solución alcance los $88\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.
5. Colocar la piedra aireadora conectada a la fuente de aire, y leer el nivel inicial del líquido a los 5 ml más cercanos.
6. Abrir el suministro de aire durante 5 minutos, después de este tiempo, hay que leer el nivel final al que haya llegado la espuma a los 5 ml más cercanos y anotar el valor.
7. Girar la válvula a manera de cortar el flujo hacia la piedra aireadora y simultáneamente medir el tiempo que se demora en desaparecer el espumado hasta la aparición del primer ojo en la superficie del líquido.
8. Obtener el volumen de espuma formado, sacando una diferencia de volumen entre el nivel final y el nivel inicial.
9. Anotar el volumen formado a los 5 minutos y el tiempo de aparición del primer ojo en el fluido, estos parámetros determinaran la tendencia al espumado.

(ASTM INTERNATIONAL, 2017).



*Ilustración 27. Corrida del ensayo de tendencia al espumado.
Fuente: Autor*



Ilustración 28. Burbujeo del líquido refrigerante.

Fuente: Autor

3.5.5. Procedimiento para determinar el pH del líquido refrigerante para motor.

Adicionalmente se determinó el pH de los refrigerantes preparados. En esta ocasión no se utilizó un procedimiento normalizado por la ASTM, debido a la falta de disponibilidad de los equipos necesarios para el método. Sin embargo, se aplicó una técnica de medición con un pH metro disponible en el laboratorio.

El procedimiento a cumplir es el siguiente:

1. Encender el equipo de medición 30 minutos antes de realizar los ensayos.
2. Verificar el potenciómetro con la ayuda de la solución buffer pH=4, pH=7 y pH=10.
3. Tomar una muestra del refrigerante siguiendo el procedimiento estándar.
4. Colocar las diferentes muestras en recipiente debidamente rotulados.
5. Sumergir la punta del electrodo del pH metro en el fluido, luego esperar hasta que se estabilice la medición y anotar el valor.

6. Lavar y secar cuidadosamente la punta del electrodo con agua destilada, y prepararlo para otra medición.



Ilustración 29. Medición de pH.

Fuente: Autor

3.6. Metodología para el Análisis estadístico de los datos.

Para el análisis estadístico se utilizará como herramienta principal el programa computacional IBM SPSS Statistic 25 y como un software complementario la aplicación Excel de microsoft office 2016.

SPSS statistic es un software estadístico que utiliza herramientas como análisis ad-hoc, análisis predictivo y pruebas de hipótesis, para solucionar problemas comerciales, y de investigación. Puede trabajar con grandes bases de datos permitiendo operaciones estadísticas básicas como media, mediana, moda, análisis de tendencias y complejas como coeficientes de regresión, análisis de varianza (ANOVA) y generación de estadísticos descriptivos (IBM® IBM Knowledge Center, 2014).

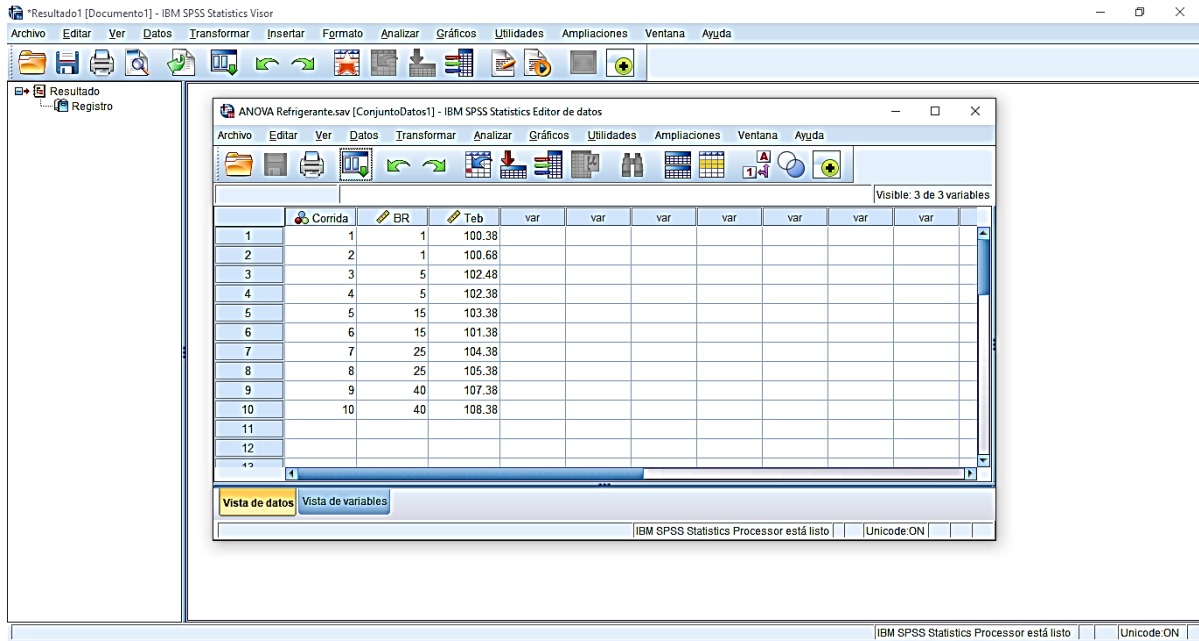


Ilustración 30. Bandeja de entrada del Software IBM SPSS statistic.

Fuente: Autor.

Cuando se trabaja con diseños experimentales con un solo factor, se utiliza un análisis de varianza (ANOVA) que busca comprobar hipótesis planteadas para este tipo de experimentos. Sin embargo para mejorar el análisis y obtener conclusiones significativas, se puede complementar con un análisis gráfico como diagramas de cajas y dispersión (WALPOLE, MYERS, MYERS, & KEYING YE, 2012).

3.6.1. Análisis de varianza (ANOVA) para experimentos con un solo factor.

El análisis de varianza es un procedimiento que se usa para comparar medias de población partiendo de la variación total de una variable dependiente cuyas componentes son estudiadas a detalle. En este caso se tienen **“a” tratamientos o niveles de un solo factor** y **“n” replicas**, los cuales se desea comparar. La manera de cómo se distribuyen los datos para experimentos de un solo factor se muestran en la tabla 14, donde y_{ij} representa las j -ésimas observaciones tomadas del i -ésimo tratamiento o nivel (Montgomery, 2004; WALPOLE et al., 2012).

Tabla 14.

Datos de un experimento de un solo factor.

Tratamiento (nivel)	Observaciones				Totales	Promedios
1	y_{11}	y_{12}	...	y_{1n}	$y_{1.}$	$\bar{y}_{1.}$
2	y_{21}	y_{22}	...	y_{2n}	$y_{2.}$	$\bar{y}_{2.}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	...	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
a	y_{a1}	y_{a2}	...	y_{an}	$y_{a.}$	$\bar{y}_{a.}$
					$y_{..}$	$\bar{y}_{..}$

Fuente: (Montgomery, 2004)

Las observaciones pueden describirse mediante una ecuación conocida como el modelo de las medias, aquí μ_{ij} representa la media del nivel del i -ésimo tratamiento, en cambio e_{ij} simboliza el error aleatorio que engloba todas las fuentes de variabilidad (Montgomery, 2004).

Ecuación 7. Modelo de las medias.

$$y_{ij} = \mu_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad \begin{cases} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, n \end{cases}$$

Fuente: (Montgomery, 2004)

El objetivo del análisis de varianza consiste en la aceptación o rechazo de una hipótesis nula " H_0 ", cuando se rechaza implica la creación de una hipótesis alternativa " H_1 ". H_0 plantea una comparación de las medias de cada tratamiento en donde todas son iguales. En cambio, la hipótesis H_1 , se hace efectiva cuando por lo menos dos de las medias de cada nivel son diferentes (Montgomery, 2004).

Ecuación 8. Hipótesis nula y Alternativa

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_a$$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu_j \quad \text{para al menos un par } (i, j)$$

Fuente: (Montgomery, 2004)

Las hipótesis establecidas en este tipo de diseño experimental tienen que ver con la presencia de variabilidad total de los datos obtenidos en las observaciones de

cada corrida experimental. Dicha variabilidad está representada por la suma total de cuadrados corregida que consta de dos partes con distintos grados de libertad. La suma de los cuadrados del tratamiento, que tiene que ver con la variación que se genera entre los promedios de los tratamiento o niveles. La otra parte es la suma de los cuadrados del error los cuales están relacionados con la variación de las observaciones dentro de cada tratamiento o nivel. En la tabla 15 se muestra la forma de obtener cada una de estas sumatorias (WALPOLE et al., 2012).

Tabla 15.
Medidas de variabilidad

Tres medidas importantes de variabilidad	$STC = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{..})^2 = \text{suma total de cuadrados,}$ $SCT = n \sum_{i=1}^k (\bar{y}_i - \bar{y}_{..})^2 = \text{suma de los cuadrados del tratamiento,}$ $SCE = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_i)^2 = \text{suma de los cuadrados del error.}$
--	--

Fuente: (WALPOLE et al., 2012)

Para comprobar la hipótesis se trabaja en una relación denominada *razón f*. que se da entre los cuadrados medios del tratamiento y del error (dentro de los tratamientos). La razón *f* rechaza o no la hipótesis nula. Los cuadrados medios son dos estimaciones de la varianza, determinados en la variabilidad dentro de los tratamientos y entre los tratamientos respectivamente. Estos están en función de las sumatoria de los cuadrados del tratamiento con sus grados de libertad y de la suma de cuadrados del error con sus grados de libertad. Si H_0 es verdadera las estimaciones de ambos cuadrados medios serán muy similares, por lo tanto, la *razón f* será pequeña, indicando que no hay diferencia entre las medias de los niveles o tratamientos. En cambio, si H_1 es positiva habrá una diferencia considerable entre los cuadrados medios, siendo el valor esperado del numerador de la *razón f* más elevado que el del denominador, en otras palabras, el cuadrado medio entre tratamientos es mayor a la varianza y el cuadrado medio del error (Montgomery, 2004).

Otra manera de comprobar si la hipótesis nula es verdadera o falsa es utilizar la razón f calculada y compararla con un nuevo coeficiente f tomado de la región crítica de la distribución de probabilidad, cuyo valor se encuentra en tablas, revisar anexo 1. Este nuevo coeficiente se trabaja con un nivel de significancia α , que algunos programas analíticos calculan pero se da un valor generalmente de 0.05 y los grados de libertad tanto los de entre los tratamientos y los de dentro de los tratamientos. (Montgomery, 2004; WALPOLE et al., 2012).

Se rechaza la hipótesis nula H_0 , a un nivel de significancia α cuando se cumple:

Ecuación 9. Condición de rechazo de la hipótesis nula

$$f > f_{\alpha}[k - 1, k(n - 1)].$$

Fuente: Autor

En la tabla 16 se muestra en resumen el análisis de varianza para experimento de un solo factor.

Tabla 16.
ANOVA para un solo factor.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	f calculada
Tratamientos	SCT	$k - 1$	$s_1^2 = \frac{SCT}{k - 1}$	$\frac{s_1^2}{s^2}$
Error	SCE	$k(n - 1)$	$s^2 = \frac{SCE}{k(n - 1)}$	
Total	STC	$kn - 1$		

Fuente: (WALPOLE et al., 2012)

Estos cálculos son realizados automáticamente en el software SPSS Statistic, una vez que se hayan ingresado los datos tanto de porcentaje de base refrigerante y temperatura de ebullición o tendencia de espumado, según corresponda. Además, se complementarán con gráficas de regresión para un mejor análisis y escoger los refrigerantes formulados más adecuados.

4. RESULTADOS.

Con el objetivo de facilitar el análisis de los resultados, se desarrollaron las corridas de determinación del punto de ebullición y tendencia del espumado y pH. Se trabajó los ensayos para los líquidos refrigerantes formulados, agua destilada y un refrigerante comercial. El pH se determinó solo para los fluidos diseñados.



Ilustración 31. Líquido formulado, refrigerante comercial, y agua destilada.

Fuente: Autor

4.1. Resultados de la determinación del punto de Ebullición.

Se aplicó correctamente el procedimiento descrito en la sección anterior para determinar este parámetro. Además, se realizaron pruebas piloto con agua y un líquido refrigerante comercial. Los resultados de las pruebas piloto nos servirán para comparar el refrigerante formulado. En la tabla 17 se aprecia el punto de ebullición para el agua y un refrigerante comercial, y en la tabla 18 se muestra los valores de temperatura para cada refrigerante formulado.

Tabla 17.

Punto de ebullición de un Refrigerante Comercial y de Agua

Corrida	T. medida (°C)	P. Barométrica (mmHg)	T. de corrección (°C)	T. corregida (°C)	Nombre del Producto
1	94	513.870	7.380	101.380	Walker automotive products
2	93	513.870	7.380	100.380	
3	93	513.870	7.380	100.380	Agua destilada
4	93	513.870	7.380	100.380	

Fuente: Autor



Tabla 18.

Punto de ebullición de los refrigerantes formulados.

Secuencia	# de Corrida	% BR (w/w)	Tm (°C)	P b (mmHg)	Corrección (°C)	Tc (°C)
1	10	40	101.000	513.870	7.380	108.380
2	6	15	96.300	513.870	7.380	103.680
3	7	25	97.000	513.870	7.380	104.380
4	1	1	93.000	513.870	7.380	100.380
5	4	5	95.000	513.870	7.380	102.380
6	2	1	93.300	513.870	7.380	100.680
7	3	5	95.100	513.870	7.380	102.480
8	9	40	100.000	513.870	7.380	107.380
9	5	15	96.000	513.870	7.380	103.380
10	8	25	98.000	513.870	7.380	105.380

Fuente: Autor

4.2. Resultados de la determinación de la tendencia al espumado.

En este caso también se realizó pruebas para un líquido refrigerante comercial, y el agua. El procedimiento se siguió tal como se indica en la normativa. En las siguientes tablas 19 y 20 se muestran los resultados obtenidos de las pruebas con agua y de líquido comercial, y también de los refrigerantes formulados.

Tabla 19.

Tendencia al espumado para un refrigerante comercial y agua

Corrida	To (°C)	Vo(ml)	Vf (ml)	Tf (°C)	D V(ml)	t (s)	Producto
1	87	160	310	85	150	6	Walkerautoma tive products
2	88	160	160	88	0	0	Agua destilada

Fuente: Autor



Tabla 20.

Tendencia al espumado en los refrigerantes formulado.

Secuencia	# de Corrida	% BR (w/w)	To (°C)	Vo (ml)	Vf (ml)	Tf (°C)	D V(ml)	t (s)
1	10	40	87	160	285	85	125	6.4
2	6	15	87	160	465	86	305	10
3	7	25	87	160	210	84.2	50	5
4	1	1	87	160	>500	84	>340	5
5	4	5	87	155	310	85	155	4
6	2	1	87	155	475	85	320	10
7	3	5	87	160	400	85	240	5
8	9	40	87	160	230	86	70	7
9	5	15	87	160	310	85.5	150	4
10	8	25	87	160	280	85	120	7

Fuente: Autor

4.3. Resultado de la determinación del pH de los líquidos refrigerantes formulados.

Para determinar este parámetro, se utilizó un pH metro y el método especificado previamente en la metodología. En la tabla 21 se puede apreciar las mediciones realizadas en la misma secuencia establecida para determinar la tendencia al espumado y el punto de ebullición.

Tabla 21.

Resultados de la determinación del pH.

Secuencia	# de Corrida	% BR (w/w)	pH
1	10	40	7.6
2	6	15	7.494
3	7	25	7.565
4	1	1	7.474
5	4	5	7.357
6	2	1	7.289
7	3	5	7.499
8	9	40	7.66
9	5	15	7.503
10	8	25	7.576

Fuente: Autor

5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Se realizó el análisis estadístico utilizando el programa SPSS estadistic.

5.1. Análisis estadístico del punto de Ebullición

5.1.1. Análisis estadístico del punto de ebullición de los refrigerantes formulados.

Primero identificaremos los parámetros indicados en la tabla 22, en donde el porcentaje de base refrigerante corresponde al tratamiento o nivel y la temperatura de ebullición son las observaciones a cada medición de hecha para cada porcentaje. Así que representamos los resultados como sigue.

Tabla 22.
Temperatura de ebullición en refrigerantes formulados.

% BR	T de Ebullición (°C)		Total (°C)	Promedio (°C)
	1	2		
1	100.38	100.68	201.06	100.53
5	102.48	102.38	204.86	102.43
15	103.38	103.68	207.06	103.53
25	104.38	105.38	209.76	104.88
40	107.38	108.38	215.76	107.88
			y=1038.2	$\bar{y} = 103.82$

Fuente: Autor

Para el procedimiento ANOVA, “y” y “ $\bar{y}$ ”, sirven para calcular las sumatorias del cuadrado que representan los tipos de variabilidad. A continuación, en la tabla 23, se muestra el análisis de varianza obtenido en el programa SPSS estadistic para la temperatura de ebullición.

Tabla 23.
Análisis de varianza de los datos de la temperatura de ebullición de los refrigerantes formulados.

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	60.886	4	15.221	69.505	.0001
Dentro de grupos	1.095	5	.219		
Total	61.981	9			

Fuente: Autor



En la tabla 23 se observa que el cuadrado medio de entre los tratamientos es de 15.221, este valor es muchas veces mayor al cuadrado medio del error (o al de dentro del tratamiento) que apenas registra 0.219, infiriendo que no es probable que las medias de cada tratamiento sean iguales. También comprobamos calculando $F_{(4,5)}$ suponiendo un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, cuyo valor se encuentra en tablas (revisar anexos), y comparando con F . Tenemos $F_{(0.05,4,5)}=5.19$ y $F= 69.505$. Según la condición de rechazo de la ecuación 9 se procede, $F= 69.505 > F_{(0.05,4,5)}=5.19$, se rechaza la hipótesis nula H_0 , y se concluye aceptar la hipótesis alternativa H_1 en donde al menos una media de un tratamiento es diferente. Entonces las medias de los tratamientos no son iguales, en otras palabras, el porcentaje de base refrigerante influye de manera directa en el punto de ebullición, aumentando esta variable a medida que se eleva el porcentaje de base refrigerante.

Para completar el análisis de varianza, la tabla 24 muestra información de algunos estadísticos más importantes.

Tabla 24.

Otras mediciones estadísticas para el punto de ebullición.

Porcentaje de Base Refrigerante	Media	N	Desv. Desviación	Error estándar de la media	Varianza	% de suma total
1	100.530	2	.212	.150	.045	19.4%
5	102.430	2	.071	.050	.005	19.7%
15	103.530	2	.212	.150	.045	19.9%
25	104.880	2	.707	.500	.500	20.2%
40	107.880	2	.707	.500	.500	20.8%
Total	103.850	10	2.624	.829	6.887	100.0%

Fuente: Autor

En cuanto a la variabilidad se concluye que hay más variación entre los diferentes porcentajes de base refrigerante utilizados, esto se debe a la influencia que tiene esta variable en el punto de ebullición. Además, el error entre cada corrida experimental dentro de cada nivel es muy bajo, esto sugiere que los ensayos de medición son confiables.

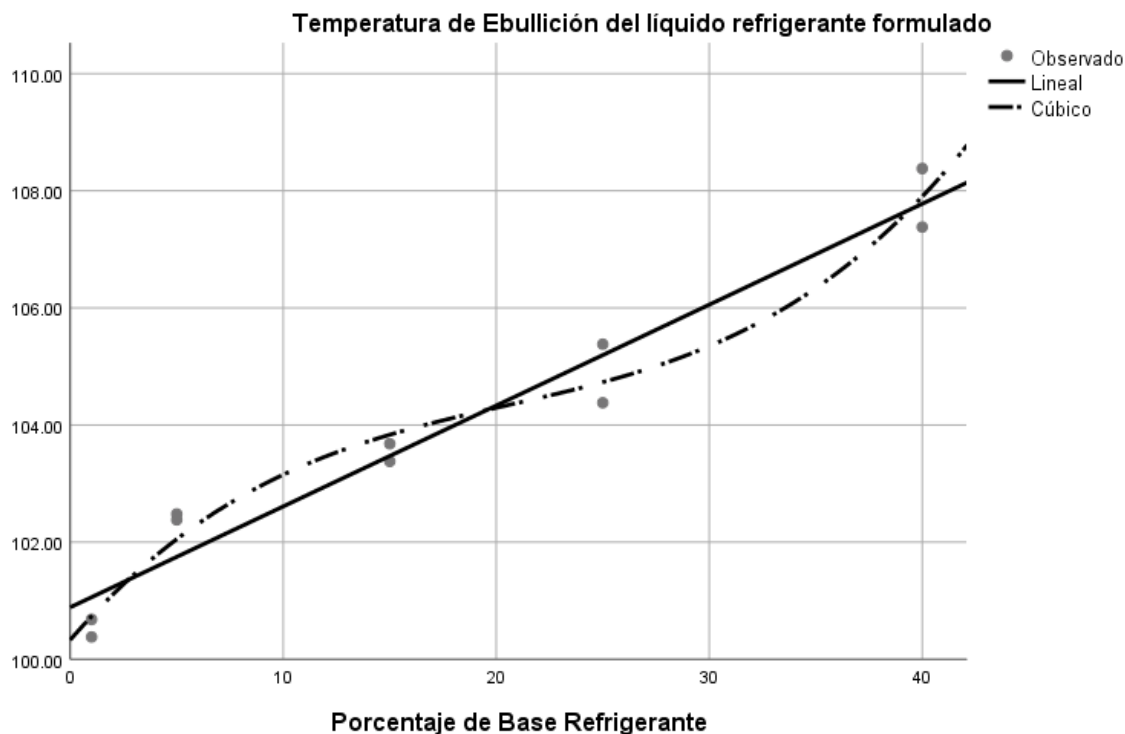


Ilustración 32. Base refrigerante Vs. Temperatura de ebullición

Fuente: Autor

Tabla 25.

Análisis de regresión de la temperatura de ebullición.

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de parámetro			
	R cuadrado	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2	b3
Lineal	.955	168.505	1	8	.000	100.887	.172		
Cúbico	.973	71.150	3	6	.000	100.330	.419	-.016	.000

La variable independiente es Porcentaje de Base Refrigerante.

Fuente: Autor

El comportamiento de la temperatura de ebullición conforme aumenta el porcentaje de base refrigerante se aprecia mejor en la ilustración 32. En esta gráfica se observa que la temperatura aumenta cuando la proporción de base se eleva. Además, se realiza modelación de los datos en la tabla 25, en donde el modelo que más se ajusta es el cúbico con R^2 de 0.973, y le sigue el modelo lineal con R^2 igual a 0.955. Esto nos permite estimar los resultados con porcentaje de base más altos.

5.1.2. Análisis estadístico de temperatura de ebullición de los líquidos de referencia.

Al igual que el análisis anterior partimos de la tabla 26.

Tabla 26.

Temperatura de ebullición de líquidos de referencia.

Producto	T de Ebullición (°C)		Total	Promedio
	1	2		
Agua destilada	100.380	100.380	200.760	100.380
Refrigerante Comercial	101.380	100.380	201.760	100.880
	y=		402.520	$\bar{y}=100.630$

Fuente: Autor

Tabla 27.

Análisis de varianza de la temperatura de ebullición de líquidos de referencia.

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	.250	1	.250	1.000	.423
Dentro de grupos	.500	2	.250		
Total	.750	3			

Fuente: Autor

En la tabla 27 se muestran los detalles del ANOVA para la temperatura de ebullición de los líquidos de referencia. Se ven pequeñas diferencias en la suma de cuadrados, sin embargo, en las medias de los cuadrados presentan valores iguales de 0.250 para ambas fuentes de variación. Esta igualdad denota una razón f de 1, infiriendo que las medias de cada líquido de referencia tienen la probabilidad de ser iguales. Podemos calcular también $F_{(1, 2)}$ suponiendo que trabajamos con un nivel de significancia de 0.05, para comparar con la F calculada en el análisis de variables. Tenemos $F_{(0.05, 1, 2)} = 18.51$, y $F = 1$. Puesto que no se cumple la condición de rechazo ya que $F = 1 < F_{(0.05, 1, 2)} = 18.51$, se aprueba el cumplimiento de la hipótesis nula H_0 . Para completar el análisis, en la tabla 28 se muestran algunos estadísticos importantes.



Tabla 28.

Otras medidas estadísticas de la Temperatura de ebullición de los líquidos de referencia.

Líquido de referencia	Media	N	Desv. Desviación	Varianza	Error estándar de la media
Agua Destilada	100.380	2	.000	.000	.000
Refrigerante Comercial	100.880	2	.707	.500	.500
Total	100.630	4	.500	.250	.250

Fuente: Autor

La temperatura del agua destilada y del refrigerante comercial tienen una media muy similar, por lo que puede haber una baja concentración de base refrigerante de entre el 1 al 5 %, según la experimentación, en el refrigerante que se compró.

5.2. Análisis estadístico para la tendencia al espumado.

Igualmente, para cumplir con el análisis estadístico utilizaremos un software, para estudiar la confiabilidad de los resultados obtenidos. El programa a utilizar se llama SPS estatistic.

5.2.1. Análisis estadístico de la tendencia al espumado en los refrigerantes formulados.

Primero identificaremos los parámetros indicados en la tabla 29, en donde el tratamiento o nivel corresponde al porcentaje de base refrigerante, y las observaciones a cada medición de volumen de espuma generado a los 5 minutos de burbujeo hecha para cada porcentaje. Así que representamos los resultados como sigue.

Tabla 29.

Tendencia al espumado en los refrigerantes formulados.

% BR	OBSERVACIONES (ml)		TOTAL	PROMEDIO
	1	2		
1	340	320	660	330
5	240	155	395	197.5
15	150	305	455	227.5
25	50	120	170	85
40	70	125	195	97.5
		y=	1875	$\bar{y} = 187.5$



Fuente: Autor

Para el procedimiento ANOVA, “ y ” y “ $\hat{y}$ ”, sirven para calcular las sumatorias del cuadrado que representan los tipos de variabilidad. A continuación, se muestra el análisis de varianza obtenido en el programa SPSS estadistic para la tendencia al espumado.

Tabla 30.

ANOVA de datos de la tendencia de espumado en los refrigerantes formulados.

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	81225.000	4	20306.250	5.131	.051
Dentro de grupos	19787.500	5	3957.500		
Total	101012.500	9			

Fuente: Autor.

En la tabla 30 se observar que el cuadrado medio de entre los tratamientos es de 20 306.250, este valor es algunas veces mayor al cuadrado medio del error que registra 3 957.5, entonces para tener una conclusión definitiva tenemos que calcular el valor F en función de los grados de libertad y significancia. Debemos calcular $F_{(4,5)}$ suponiendo un nivel de significancia $\alpha = 0.05$ que es el más cercano al calculado, cuyo valor se encuentra en tablas, y comparar con F . Tenemos $F_{(0.05,4,5)}=5.19$ y $F=5.13$. Comparando se observa que $F= 5.131 < F_{(0.05,4,5)}=5.19$, puesto que no se cumple la condición de rechazo , se aprueba el cumplimiento de la hipótesis nula H_0 . Entonces las medias de los tratamientos tienen altas probabilidades que sean iguales, en otras palabras, el porcentaje de base refrigerante no tiene una influencia significativa en la tendencia de espumado.

Para completar el análisis de varianza, la tabla 31 muestra información de algunos estadísticos más importantes.

Tabla 31.

Otros datos estadísticos importantes en la tendencia al espumado

Base refrigerante	Media	N	Desv. Desviación	Error estándar de la media	Varianza
1	330.000	2	14.142	10.000	200.000
5	197.500	2	60.104	42.500	3612.500

15	227.500	2	109.602	77.500	12012.500
25	85.000	2	49.497	35.000	2450.000
40	97.500	2	38.891	27.500	1512.500
Total	187.500	10	105.942	33.502	11223.611

Fuente: Autor

En cuanto a la variabilidad se concluye que existen variaciones entre los diferentes porcentajes de base refrigerante utilizados y las mediciones realizadas dentro de cada proporción de base. Comparando ambos tipos de variación estos presentan valores no muy distantes tanto en varianza como en desviación estándar. Por la dispersión de los datos se presentan un alto grado de error de las medias. Esto sugiere que la tendencia para formar espuma de un líquido refrigerante no depende de manera significativa del porcentaje de base refrigerante. Entonces la tendencia del espumado mayoritariamente puede ser consecuencia del antioxidante o inhibidores de corrosión añadidos.

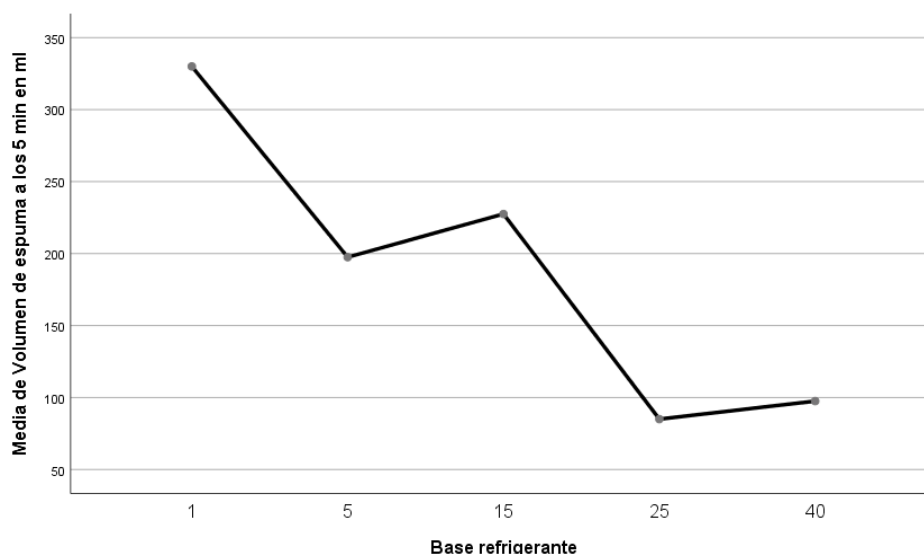


Ilustración 33. Gráfico de medias de la tendencia al espumado a los 5 minutos.

Fuente: Autor

En cuanto al gráfico de las medias que se observa en la figura 33, se puede observar que cuando existe una mayor cantidad de base refrigerante, el volumen de formación de espuma disminuye. Sin embargo, en el ajuste de la curva el coeficiente de regresión es bajo en relación al del punto de ebullición, por lo que



esta regresión no es tan confiable. En la tabla 32 se presenta el análisis de ajuste, en donde los datos se ajustan mejor al modelo cúbico.

Tabla 32.

Ajuste de la curva para tendencia al espumado.

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de parámetro			
	R cuadrado	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2	b3
Lineal	.573	10.726	1	8	.011	280.161	- 5.387		
Cúbico	.636	3.488	3	6	.090	304.151	- 8.261	-.073	.004

La variable independiente es Base refrigerante.

Fuente: Autor

5.3. Análisis estadístico del pH.

5.3.1. Análisis estadístico del pH en los refrigerantes formulados.

Al igual que en los análisis de datos anteriores, primero identificaremos los valores señalados en la tabla 33, en donde el tratamiento o nivel corresponde al porcentaje de base refrigerante y los resultados de cada medición de pH hecha para cada porcentaje.

Tabla 33.

pH en refrigerantes formulados.

% BR	Observaciones		Total	Promedio
	1	2		
1	7.474	7.289	14.763	7.3815
5	7.499	7.357	14.856	7.428
15	7.503	7.494	14.997	7.4985
25	7.565	7.576	15.141	7.5705
40	7.660	7.600	15.260	7.630
		y=	75.017	$\bar{y} = 7.5017$

Fuente: Autor

Para el análisis de varianza, “y” y “ $\bar{y}$ ”, sirven para calcular las sumatorias del cuadrado que representan los tipos de variabilidad. La tabla 34 muestra el análisis de varianza obtenido en el programa SPSS estadistic para el pH de los líquidos formulados.



Tabla 34.

Análisis de variancia del pH de los líquidos refrigerantes formulados

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	.082	4	.021	3.530	.100
Dentro de grupos	.029	5	.006		
Total	.111	9			

Fuente: Autor

El cuadrado medio de entre los tratamientos es de 0.021, este valor es mayor al cuadrado medio del error que registra 0.006, por lo tanto, no es probable que las medias de cada tratamiento sean iguales. También podemos calcular $F_{(4,5)}$ suponiendo un nivel de significancia que tenemos en tablas, $\alpha = 0.05$, y comparar con F . Así que $F_{(0.05, 4, 5)} = 5.19$ y $F = 3.53$. Puesto que $F = 3.53 < F_{(0.05, 4, 5)} = 5.19$, y se concluye aceptar la hipótesis nula H_0 en donde las medias de los tratamientos son iguales. En otras palabras, el porcentaje de base refrigerante no influye de manera directa en la medida de pH.

Para completar el análisis de variancia, la tabla 35 muestra información de algunos estadísticos más importantes.

Tabla 35.

Otras medidas estadísticas importantes de pH del líquido refrigerante formulado.

Porcentaje de Base Refrigerante	Rango	Media	N	Varianza	Desv. Desviación	Error estándar de la media
1	.185	7.382	2	.017	.130	.092
5	.142	7.428	2	.010	.100	.071
15	.009	7.498	2	.000	.006	.004
25	.011	7.570	2	.000	.007	.005
40	.060	7.630	2	.002	.042	.030
Total	.371	7.501	10	.012	.111	.035

Fuente: Autor

Respecto a la variabilidad se concluye que existe mayor variación entre los diferentes porcentajes de base refrigerante utilizados, sin embargo, estas variaciones son muy pequeñas, Además, el error entre cada corrida experimental

dentro de cada nivel es bajo, esto sugiere que los ensayos de medición son confiables.

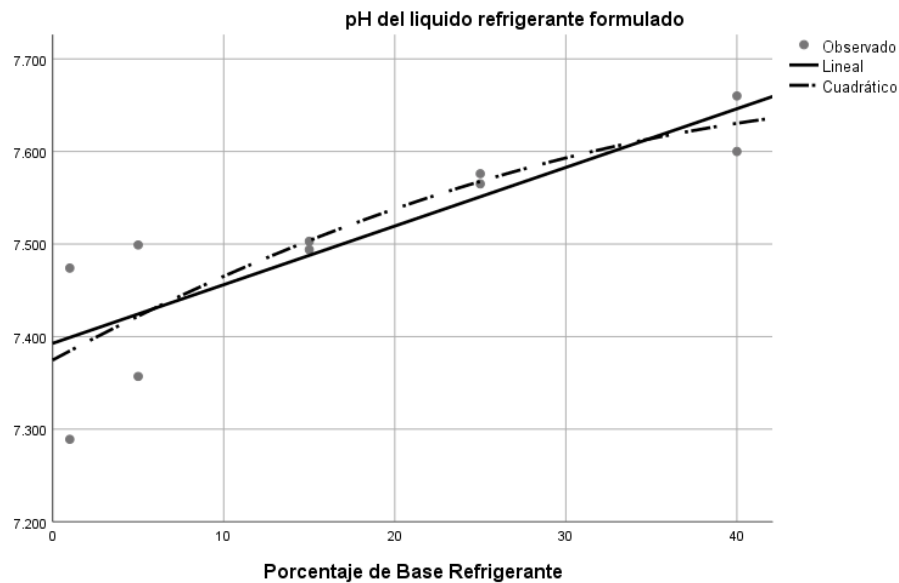


Ilustración 34. Base refrigerante vs pH
Fuente: Autor

Tabla 36.

Análisis de regresión del pH de los líquidos refrigerantes formulados.

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de parámetro		
	R cuadrado	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1	b2
Lineal	.719	20.491	1	8	.002	7.393	.006	
Cuadrático	.737	9.812	2	7	.009	7.375	.010	-8.843E-5

La variable independiente es Porcentaje de Base Refrigerante.

Fuente: Autor

La medida del pH crece conforme aumenta el porcentaje de base refrigerante se aprecia mejor en la ilustración 34. Se realiza modelación de los datos en la tabla 36, en donde el modelo que más se ajusta es el cuadrático con R^2 de 0.737, y le sigue el modelo lineal con R^2 igual a 0.719. Esto nos permite estimar los resultados con porcentaje de base más altos.



6. DISCUSIÓN

Del análisis estadístico realizado con las mediciones de las variables dependientes del líquido refrigerante formulado, tenemos que se da un aumento de la temperatura de ebullición conforme se eleva el porcentaje de base refrigerante. Con valores medios de 100.53°C cuando hay 1% de base y por otro lado de 107.88°C para un porcentaje del 40% de base. Estas mediciones son similares a las realizadas por Sidik bajo condiciones normales de presión y temperatura (ver tabla2), sin embargo, los líquidos formulados presentan un aumento de temperatura de ebullición de 0.5 a 3°C .

Aunque no se efectuaron pruebas del punto de congelación, en la tabla 2 se muestran estas mediciones realizadas en otros estudios con porcentaje de base refrigerantes similares. Esto quiere decir que los refrigerantes formulados mediante diseño experimental también presentan protección contra las temperaturas bajo 0°C hasta los -23°C aproximadamente. Por lo que se podría elegir cualquier porcentaje de base refrigerante sin preocuparse por la temperatura de congelación, ya que en Ecuador no se alcanzan temperaturas tan bajas a las presentadas en la tabla anterior. Según el último boletín climatológico mensual de octubre de 2019 del INAMHI, en la región interandina se registró una temperatura máxima de 33.5°C y una mínima de 0.5°C , lo que no representa ninguna dificultad para los líquidos diseñados.

Los líquidos de referencia probados fueron agua y un refrigerante comercial escogido al azar dando resultados de 100.38 y 100.88°C respectivamente. Con estos resultados podemos suponer que este líquido comercial tiene un bajo porcentaje de base refrigerante superior al 1% e inferior al 5 % en relación a los resultados de los refrigerantes formulados.

El análisis estadístico en la tendencia al espumado muestra valores altos de formación de espuma en relación a lo que especifican las normas (revisar Anexos) cumpliendo la misma las concentraciones de 25 y 40% de BR. Los datos muestran que hay una mayor formación de espuma cuando hay mayor presencia de agua



destilada en la fórmula, es decir menor porcentaje de base refrigerante. Esto sugeriría que a mayor presencia de agua mayor espumado. Sin embargo, cuando se llevó a cabo el ensayo con agua destilada no se generó espuma y con el refrigerante comercial que aparentemente su mayor parte es agua hubo 150 ml de espumado cumpliendo así con la norma. Con esta información podemos deducir que la tendencia al espumado no se relaciona directamente con el contenido de agua, ni tiene gran influencia el porcentaje de base refrigerante, más bien está relacionado con el contenido de los aditivos restantes como antioxidantes, inhibidores de corrosión, colorantes y por supuesto la proporción de antiespumante añadido. El análisis ANOVA comprueba esta deducción al no rechazar la hipótesis nula que quiere decir que la cantidad de refrigerante añadido genera una variabilidad similar entre cada nivel del diseño experimental y dentro de las mediciones de cada nivel.

En cuanto al pH, este presenta variaciones muy pequeñas al modificar la cantidad de base refrigerante, el pH se vuelve más básico cuando se aumenta el contenido de base, sin embargo, esto no es significativo. Según Clavijo, 2017, el potencial hidrógeno está relacionado con la rapidez de corrosión cuando presenta valores menores a 4, y se vuelve independiente en el rango de 4 a 10. Las mediciones de pH de los refrigerantes formulados son favorables porque todas las concentraciones presentan valores superiores a 7.3, teniendo valores de hasta 7.6. Las especificaciones indican que un valor óptimo es de 7.5 a 11, nuestras medidas son cercanas a estas cantidades y la mayoría de concentraciones está en este rango.

Cabe recalcar que las normas que especifican los parámetros de calidad de líquidos refrigerantes para automóviles de servicio liviano y para pesado son las ASTM D3306-19 y ASTM D6210-17 respectivamente. Estas normas se refieren a los parámetros físicos y químicos mencionados en el marco teórico, cuyos valores son los mismos para ambos casos. Además, las pruebas son realizados para rangos de base refrigerante recomendados del 40 al 70 %, que son los



porcentajes que se requieren para trabajar en condiciones extremas de invierno y verano.

Con estos antecedentes, para motores de servicio liviano se recomienda trabajar con el líquido refrigerante formulado que tiene una concentración del 5% de base refrigerante. Este posee una temperatura de ebullición de 102.43 °C, la cual puede aumentar dependiendo de la presión que genera la tapa del radiador tal como indica en el marco teórico. Así por ejemplo si se tiene una tapa de 15 psi, aumentaremos la temperatura de ebullición a 127.93 °C temperatura suficiente para que el motor trabaje satisfactoriamente. Además, se asegura que este producto soporte temperaturas de congelación cercanas a los -4°C según la tabla 2. La tendencia a la formación de espuma supera la recomendada por la norma ASTM, sin embargo, la diferencia no es alta apenas de 50 ml. También el pH tiene tendencia alcalina de 7.43 valor cercano al recomendado por el estándar que es de 7.5.

El refrigerante diseñado que presenta mejores características para motores de servicio pesado, debido a que estos demandan mayor esfuerzo y por lo tanto alcanza mayores temperaturas, es el que posee una base refrigerante del 40%. Este posee una temperatura de ebullición de 107.88 °C valor cercano a la norma, además se garantiza que el refrigerante no se congele cuando haya bajas temperaturas cercanas a -23 °C según la tabla 2. En cuanto a la tendencia al espumado tiene un valor promedio de 97.5 ml que está conforme a las recomendaciones técnicas. De igual manera tiene un pH de 7.63, sobrepasando la recomendación.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

7.1. Conclusiones

El análisis ANOVA realizado en cada variable de salida, fue de gran ayuda para determinar la influencia que tiene el porcentaje de base refrigerante como componente principal de un líquido refrigerante/anti congelante.



Los diseños escogidos tienen propiedades refrigerantes y anticongelantes, debido a que tienen concentraciones mayores al uno por ciento de base refrigerante.

Los refrigerantes seleccionados tienen mejores propiedades que los líquidos de referencia estudiados, agua destilada y un líquido refrigerante comercial. Esto los hace competitivos en el mercado frente a las otras marcas.

Tras la realización del diseño experimental y el análisis de los resultados se establece optar por los refrigerantes con concentración del 5% de base refrigerante para motores de servicio liviano y el refrigerante de concentración del 40% para motores de servicio pesado. Asegurando su correcto desempeño en funcionamiento del vehículo.

Los líquidos refrigerantes diseñados y escogidos tienen un menor impacto ambiental. Esto se debe a la reducción del contenido de base refrigerante que es el que genera mayor contaminación. Además, por la sustitución de los inhibidores de corrosión tradicionales, por uno de tecnología ácido orgánico el cual se degrada fácilmente y le aporta mejores características funcionales al producto. La reducción de contenido de base refrigerante también representa una disminución en el costo de producción, debido al ahorro de materia prima.

Los productos seleccionados se adaptan perfectamente a las condiciones ambientales del país y lo puede hacer en otros con clima similar como Colombia o Perú, por lo que pueden ser exportados a estos países vecinos.

7.2. Recomendaciones.

Identificar correctamente las variables independientes y dependientes, además si se tienen los recursos técnicos necesarios para realizar los ensayos que permitirán la recolección de datos de estas variables.

Realizar más ensayos con otros refrigerantes comerciales americanos y europeos, para obtener más información y contrastar con los refrigerantes escogidos.



Identificar otras propiedades físicas y químicas, como la corrosividad, peso específico, reserva alcalina y punto de congelación.

Los ensayos realizados en esta investigación corresponden a análisis de laboratorio, sin embargo, es recomendable efectuar pruebas en automotores. Efectuar estos ensayos conlleva más tiempo, más recursos, instalaciones y un equipo de trabajo multidisciplinario conformado por Ingenieros químicos y mecánicos automotrices.



8. BIBLIOGRAFÍA

Álvarez, H. (2018). Diseño de Experimentos y Regresión | Páginas Personales de Docentes e Investigadores. Recuperado 11 de septiembre de 2019, de <http://www.academia.utp.ac.pa/humberto-alvarez/disenio-de-experimentos-y-regresion>

ASTM INTERNATIONAL. (2005). *Standard Test Method for Corrosion Test for Engine Coolants in Glassware.*

ASTM INTERNATIONAL. (2011a). *Standard Test Method for pH of Engine Coolants and Antirusts.*

ASTM INTERNATIONAL. (2011b). *Standard Test Method for Reserve Alkalinity of Engine Coolants and Antirusts.*

ASTM INTERNATIONAL. (2014). *Standard Practice for Sampling and Preparing Aqueous Solutions of Engine Coolants or Antirusts for Testing Purposes.*

ASTM INTERNATIONAL. (2016). *Standard Test Method for Density or Relative Density of Engine Coolant Concentrates and Engine Coolants By The Hydrometer.*

ASTM INTERNATIONAL. (2017a). *Standard Test Method for Boiling Point of Engine Coolants.*

ASTM INTERNATIONAL. (2017b). *Standard Test Method for Foaming Tendencies of Engine Coolants in Glassware.*

ASTM INTERNATIONAL. (2019). *Standard Specification for Glycol Base Engine Coolant for Automobile and Light-Duty Service.*



- ASTM International - Standards Worldwide. (2011, abril). Refrigerante para motores Normas adoptadas. Recuperado 8 de septiembre de 2019, de https://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPMA11/enright_spma11.html
- Benítez, L. P. T., Castellar, P. J. M., Percy, E. D. A., & Bravo, M. J. B. (2014). Uso de extractos de plantas como inhibidores de corrosión. *Informador técnico*, 78(2 (Julio-Diciembre 2014)), 155-164. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5129565>
- CHEVRON U.S.A. INC. (2015). *OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS* Patent N.º 2 547 492. Recuperado de http://www.oepm.es/pdf/ES/0000/000/02/54/74/ES-2547492_T3.pdf
- Clavijo, J. (2017). *PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL LÍQUIDO REFRIGERANTE AUTOMOTRIZ FABRICADO POR LA EMPRESA ECOQUIMICOS*. FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA, Bogotá.
- Condo Plaza, L. A., & Pazmiño Guadalupe, J. M. (Eds.). (2015). *Diseño experimental: En el desarrollo del conocimiento científico de las ciencias agropecuarias. tomo 3*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Instituto de Investigaciones.
- Conesa, J. (2011). *MOTOR DE COMBUSTION INTERNA*. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/16369305.pdf>
- Dariva, C. G., & Galio, A. F. (2014). Corrosion Inhibitors – Principles, Mechanisms and Applications. *Developments in Corrosion Protection*. <https://doi.org/10.5772/57255>



- Díaz, L. (2014). *Sistemas de Lubricación y Refrigeración en motores de combustión interna*. Facultad Nacional de Ingeniería Universidad Nacional de La Plata.
- ECUADORTV. (2019). El largo camino por recorrer del tránsito en Ecuador| Medios Públicos Digitales. Recuperado 8 de noviembre de 2019, de <https://www.ecuadortv.ec/medios/especiales/2019/Especial-Transportes/historia.html>
- Expertos en refrigerantes. (2019). Refrigerante tradicional. Recuperado 31 de mayo de 2019, de http://www.coolantexperts.com/coolant_overview/traditional_coolant
- Fieldson, G. (2011, marzo). Fluidos refrigerantes en motores de combustión interna. Recuperado de <http://www.lubtechnology.com/pdf/soluciones/Fluidos%20refrigerantes%20de%20Motores%20de%20Combustion%20Interna.pdf>
- García, R. (2014). *INHIBIDORES DE CORROSIÓN DE ACERO EN MEDIOS ÁCIDOS A PARTIR DE EXTRACTOS NATURALES*". UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA, Mexicali.
- HELLA. (2013, junio). REFRIGERACIÓN DEL VEHÍCULO CONOCIMIENTOS BÁSICOS PARA EL TALLER. Recuperado de TERRITORIO HELLA website: http://www.territoriohella.es/storage/gama_productos_documentos/7c49b68cf2bdb7d9c52257c45abb17d4.pdf



IBM® IBM Knowledge Center. (2014, octubre 24). Documentación de IBM SPSS

Statistics V25.0. Recuperado 22 de octubre de 2019, de

www.ibm.com/support/knowledgecenter/es/sslmb

INAMHI. (2019, octubre). *Boletín Climatológico Mensual Octubre-2019*.

Recuperado de

http://www.serviciometeorologico.gob.ec/meteorologia/boletines/bol_men.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2018, diciembre). Estadística de

Transporte 2017. Recuperado 7 de agosto de 2019, de Instituto Nacional de Estadística y Censos website:

<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/transporte/>

Montgomery, D. C. (2004). *DISEÑO Y ANÁLISIS DE EXPERIMENTOS* (segunda).

Mexico: EDITORIAL L1MUSA SA.

Montoya-Marquez, J., Sánchez-Estudillo, L., & Torres-Hernández, P. (2011).

Diseños experimentales ¿qué son y cómo se utilizan en las ciencias acuáticas? *Ciencia y Mar*, XV, 61-70.

Palomares, J. (2007). *MOTORES DE COMBUSTION INTERNA I*. Lima-Perú.

Payri, F., & Dasantes, J. M. (2011). *Motores de combustión interna alternativos*.

Recuperado de

https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/130ad267-fe67-4ec7-8363-51b16ffe11a6/TOC_0809_04_01.pdf?guest=true



Rafael, M. Y., & Hernández, A. (2014). *CARACTERIZACIÓN DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE.*

Recuperado de

<https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt417.pdf>

Ramón, J. (2017). *Diseño del sistema de refrigeración de un motor Rotax en un Formula Ashenkoff.* Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, Barcelona.

Ramos, A. (2014). *SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE UN AUTOMÓVIL MEDIANTE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN FORZADA.* Recuperado de

https://www.academia.edu/9492703/SISTEMA_DE_REFRIGERACI%C3%93N_DE_UN_AUTOM%C3%93VIL_MEDIANTE_TRANSFERENCIA_DE_CALOR_POR_CONVECCI%C3%93N_FORZADA

Räuchle, F., & Tang, I. D. (1990). Inhibición de la corrosión. Parte B: Aspectos prácticos. Fenomenología de la inhibición en medios ácido y neutro. *Revista de Química*, 4(1), 57-70. Recuperado de <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/5684>

Romero, C. (2019). *CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y LA GESTIÓN TÉRMICA DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVOS* (Tesis Doctoral, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA). Recuperado de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/4923/tesisUPV3034.pdf>

Ruiz de Maya, S., & López, I. (2013). *Metodología del Diseño Experimental.*



Saavedra, L. (2017). *Tecnología electroquímica y sus aplicaciones: Inhibidores de corrosión a partir de residuos agroindustriales*. INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE OCCIDENTE, Mexico.

SASAM. (2013, octubre). REFRIGERANTES REFRIGERANTES ORGÁNICOS LONG LIFE ORGÁNICOS LONG LIFE. Octubre PDF. Recuperado 5 de septiembre de 2019, de <https://docplayer.es/22503981-Refrigerantes-refrigerantes-organicos-long-life-organicos-long-life-octubre-2013.html>

Sidik, N. A. C., Yazid, M. N. A. W. M., & Mamat, R. (2015). A review on the application of nanofluids in vehicle engine cooling system. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 68, 85-90.
<https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2015.08.017>

Tapia, G. (2010). *DETERMINACIÓN DE CAUSAS DE LA DEGRADACIÓN DE UN MÓDULO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA*. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, Mexico.

Turcotte, D. (2011). *OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS Patent N.º ES 2 358 575 T3*.

WALPOLE, R. E., MYERS, R. H., MYERS, S. L., & KEYING YE. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias* (Novena). México: PEARSON EDUCACIÓN.

9. ANEXO 1

9.1. Valores f , en función de la significancia, y grados de libertad

Tabla 37.

Valores f , con 0.05 de significancia.

		$F_{0.05, \nu_1, \nu_2}$																		
ν_2	ν_1	Grados de libertad del numerador (ν_1)																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞	
Grados de libertad del denominador (ν_2)	1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3	254.3
	2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50
	3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
	4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
	5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36
	6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
	7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
	8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
	9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
	10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
	11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40
	12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
	13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
	14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
	15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
	16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
	17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
	18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
	19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
	20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
	21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
	22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
	23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
	24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
	25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
	26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69
	27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67
	28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65
	29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64
	30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
	40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
	60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
	120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	1.43	1.35	1.25
	∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00

Fuente: Montgomery, 2014

9.2. Recomendaciones Técnicas de las propiedades líquidos refrigerantes según normativa ASTM.

Tabla 38.

Requerimientos físicos y químicos de refrigerantes concentrados.

Propiedad	Tipo I	Tipo II	Tipo V	Método de prueba ASTM
Densidad relativa 15.6 / 15.6 ° C (60/60 ° F)	1.110 a 1.145	1.030 a 1.065	1.110 a 1.160 ^A	D1122, D5931
Punto de congelación, ^{BC} ° C (°F), 50% vol. En agua desionizada.	-36.4 (-33.5) max	-31.0 (-23.8) max	-36.4 (-33.5) max	D1177, D6660
Punto de ebullición, ^{BD} ° C (° F), 50% vol. En agua desionizada.	108 (226) min	104 (219) min	108 (226) min	
Sin diluir	163 (325) min	152 (305) min	163 (325) min)	D1120
Contenido de ceniza, masa%	5 max	5 max	5 max	D1119
pH, 50% vol. en agua desionizada.	7.5 a 11.0	7.5 a 11.0	7.5 a 11.0	D1287
Cloruro, pg / g	25 max	25 max	25 max	D3634, D5827 ^e
Agua, masa%	5 max	5 max	5 max	D1123
Alcalinidad de reserva, mL	informe ^F	informe ^F	informe ^F	D1121
Efecto sobre el acabado del automóvil. (usar una capa transparente termoestable acabado de uretano o terminado de uretano acrilico)	sin efecto	sin efecto	sin efecto	D1882 ^G

Fuente: (ASTM INTERNATIONAL, 2019)



Tabla 39.

Requisitos físicos y químicos de refrigerantes pre diluidos.

Propiedad	Tipo III	Tipo IV	Tipo VI	Método de prueba ASTM
Densidad relativa 15.6 / 15.6 ° C (60/60 ° F)	1.065 min	1.025 min	1.065 min ' 4	D1122, D5931
Punto de congelación, ^{BC} ° C (° F), sin diluir	-36.4 (-33.5) max	-31.0 (-23.8) max	-36.4 (-33.5) (max)	D1177, D6660
Punto de ebullición, ^{A,D} ° C (° F), sin diluir	108 (226) min	104 (219) min	108 (226) min	D1120
Contenido de ceniza, masa%	2.5 max	2.5 max	2.5 max	D1119
pH, sin diluir	7.5 a 11.0	7.5 a 11.0	7.5 a 11.0	D1287
Cloruro, pg / g	25 max	25 max	25 max	D3634, D5827 ^E
Agua, masa%	no aplica	no aplica	no aplica	D1123
Alcalinidad de reserva, ml_	informe ^F	informe ^F	informe ^F	D1121
Efecto sobre el acabado del automóvil. (usar una capa transparente termoestable Acabado de uretano o uretano acrílico)	sin efecto	sin efecto	sin efecto	D1882 ^G

Fuente: (ASTM INTERNATIONAL, 2019)



Tabla 40.

Requisitos de rendimiento de líquidos refrigerantes

Propiedad	Valúes específicos	Método de prueba ASTM	Prueba de concentración de la solución, vol% del producto
Corrosión en cristalería.		D1384 ^B	33
Pérdida de peso, mg / espécimen			
cobre	10 máx.		
soldadura	30 max		
latón	10 máx.		
acero	10 máx.		
emitir iron	10 máx.		
aluminio	30 max		
Prueba de servicio simulado		D2570 ^C	44
Pérdida de peso, mg / espécimen			
cobre	20 max		
soldadura	60 max		
latón	20 max		
acero	20 max		
emitir iron	20 max		
aluminio	60 max		
Corrosión de Aleaciones de Aluminio Fundido en Superficies que rechazan el calor, mg / cm ² / semana	1.0 max	D4340 ^D	25
Espumoso		D1881 ^E	33
Volumen, ml	150 max		
Descansos	5 max		
Cavitación-Erosión	8 min	D2809 ^F	17
Clasificación por picaduras, cavitación y erosión de la bomba de agua			

Fuente: (ASTM INTERNATIONAL, 2019)



Tabla 41.

Límites sugeridos para la calidad del Agua

Propiedad	Valúes específicos	Método de prueba ASTM
Solidos totales, µg / g (ppm)	340 max	Método federal 2540B
Dureza total, µg / g(ppm)	170 max	D6130, D1126
Cloruros, µg / g (ppm)	40 max	D5827, D512, D4327
Sulfato, µg /g (ppm)	100 max	D5827, D516, D4327
pH	5.5 a 9.0	D1287, D1293

Fuente: (ASTM INTERNATIONAL, 2019)

9.3.Recomendaciones Técnicas para refrigerantes base glicol según normativa ASTM.

Tabla 42.

Especificaciones para base refrigerante tipo glicol.

Requisito	Valor para el etileno Glicol, Tipo EG-1	Valor para Propileno Glicol, Tipo PG-1	Valor para el etileno Glicol, Tipo EG- 2	Valor para el Propileno Glicol, PG-2	Prueba ASTM Método
Claridad	Claro, no suspendido importar	Claro, no suspendido importar	Claro, no suspendido importar	Claro, no suspendido importar	Visual
Color, escala Pt / Co	25 max	25 max	100 max	100 max	D1209 D1122, D4052, D5931
Densidad relativa, 20/20 ° C.	1.113 a 1.116	1.0375 a 1.0390	1.113 a 1.116	1.0375 a 1.0390	D1287
pH, 50% por volumen en agua destilada	6.5 a 9.0	6.5 a 9.0	6.5 a 9.0	6.5 a 9.0	D1287
Acidez como ácido acético,% en masa.	0.01 max	0.01 max	0.01 max	0.01 max	D1613



Etilenglicol,% en masa	94.5 min		94.5 min		E202
Propilenglicol,% en masa		98.5 min		98.5 min	E202
Dipropilenglicol,% en masa		1.0 max		1.0 max	E202
Otros glicoles ",% en masa	5 max	0.2 max	5 max	0.2 max	E202
Glicoles totales,% en masa	98 min	99.5 min	98 min	99.5 min	E202
Agua, masa%	0.5 max	0.5 max	2.0 max	0.5 max	D1123
Ésteres de glicol	8	segundo	segundo	segundo	Debajo desarrollo
Nitrito, nitrato, fosfato (total, ppm)	10 máx.	10 máx.	100 max	50 max	D5827
Silicio, ppm	10 máx.	10 máx.	10 máx.	10 máx.	D6130
Cloruro jon, ppm	5 max	5 max	25 max	25 max	D3634, D5827 ^c
Sulfato, ppm	10 máx.	10 máx.	100 max	100 max	D5827
Boro, ppm	10 máx.	10 máx.	50 max	50 max	D5827
Aluminio, Calcio, Cobre, Hierro, Magnesio, Plomo, Zinc (total, ppm)	5	5	5	5	D6130
Hierro, ppm	1.0 max	1.0 max	1.0 max	1.0 max	E394, D6130

Fuente: (ASTM INTERNATIONAL, 2014)

9.4. Manual de Procedimientos .

MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ELABORACIÓN Y ENSAYOS DE LÍQUIDOS REFRIGERANTES

Realizado por: Ardían Patiño



Contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	109
2. OBJETIVO DEL MANUAL.....	109
3. PROCEDIMIENTOS.....	109
3.1. Procedimiento de Elaboración de Líquido Refrigerante.....	110
3.2. Método de prueba para el punto de ebullición de refrigerantes de motor....	113
3.3. Método de prueba para determinar la tendencia la espumado de un líquido refrigerante de motor.....	109
3.4. Método de prueba para determinar el pH.....	120
4. BIBLIOGRAFÍA.....	122



1. INTRODUCCIÓN.

El presente manual detalla los pasos a seguir para la elaboración de Líquidos refrigerantes para automóviles de servicio liviano y servicio pesado. Así como también los ensayos de muestreo y de laboratorio para determinar sus propiedades físicas y químicas de los productos elaborados.

2. OBJETIVO DEL MANUAL.

Establecer los procedimientos a seguir sobre la elaboración y realización de ensayos relacionados a los líquidos refrigerantes que ayudarán al personal a asegurar una eficiente y oportuna obtención de resultados.

3. PROCEDIMIENTOS.

A continuación, se detallan los procedimientos de elaboración de líquidos refrigerantes, así como los ensayos para determinar el punto de ebullición, la tendencia al espumado, y el pH de los fluidos producidos.

El formato de cada procedimiento es el siguiente:

Título.

Objetivo.

Alcance.

Documentos de Referencia.

Responsables.

Terminología.

Materiales y Reactivos

Procedimiento



3.1. Procedimiento de Elaboración de Líquido Refrigerante.

Título: Elaboración de líquido refrigerante para motores.

Objetivo: Obtención de un líquido refrigerante para motores.

Alcance: Este procedimiento cubre la elaboración de líquidos refrigerantes para motores de automóviles de servicio liviano y servicio pesado.

Documentos de referencia:

- Propuesta De Mejoramiento Del Líquido Refrigerante Automotriz Fabricado Por La Empresa Ecoquimicos;
- Concentrado Anticongelante Y Composiciones Refrigerantes Y Preparaciones De Ellas
- Estudio de la factibilidad para la fabricación local de refrigerante en los motores de combustión interna
- ASTM E1177-14 Especificación estándar para glicol de grado de refrigerante del motor

Responsables: Personal de recepción de materia prima y elaboración.

Terminología:

- *Base refrigerante.* – Es el compuesto que se encarga de dar las propiedades anticongelantes y refrigerantes.
- *Inhibidor de corrosión.* – Compuesto que previene la formación de corrosividad en las paredes metálicas del sistema de refrigeración y bloque de motor.
- *Antiespumante.* – Evita una excesiva formación de espuma cuando el líquido esta en movimiento dentro del sistema de refrigeración.

Materiales y Reactivos:

Ficha técnica de cada materia prima, Etiquetas, Balanza de precisión, Agitador mecánico y Recipientes.

Agua destilada, Base refrigerante, Inhibidor de corrosión, Antiespumante, Colorante.



Procedimiento:

1. Aprobación y Recepción de la materia prima. –

- Verificar que la materia prima esté en buenas condiciones es decir que no haya presencia de objetos extraños u otras sustancias entre los reactivos.
- Etiquetar la materia prima indicando fecha de ingreso, número de lote y fecha de caducidad si la hay.

2. Dosificación de la materia prima. –

- Pesar los materiales, en recipientes diferentes, de acuerdo a la formulación establecida.

3. Mezclado y homogenizado. –

- Primero se mezcla el inhibidor con 90% aproximadamente del agua pesada y luego se agrega la base refrigerante, porque estos compuestos son los más solubles en agua.
- Luego en otro recipiente mezclar bien la mitad aproximadamente de agua sobrante con el antiespumante, esto se hace para evitar la formación de grumos.
- Finalmente combinar la mezcla Agua/base/inhibidor, con la mezcla agua/antiespumante, y colorante en un solo recipiente.
- Utilizar el agua separada restante para lavar los recipientes utilizados y colorar la misma en el recipiente de mezcla.
- Después de mezclar todos los reactivos, agitar manual o mecánicamente durante 10 minutos o hasta obtener una mezcla homogénea.

4. Envasado y etiquetado. -

- Colocar el fluido mezclado en botellas de polietileno de alta densidad.
- Se debe rotular indicando el porcentaje de base refrigerante, para que no existan confusiones al momento de utilizar el producto.

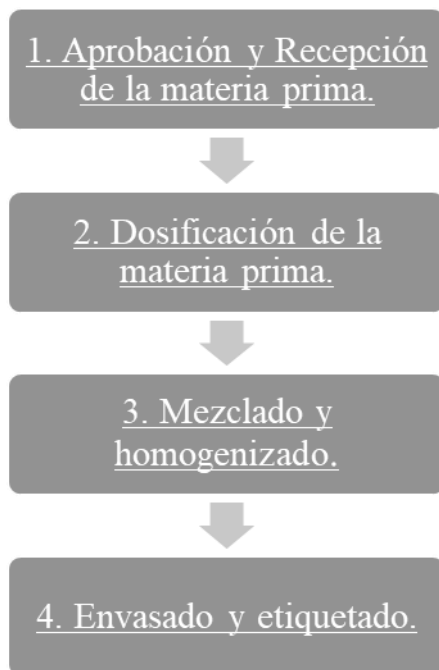


Ilustración 35. Diagrama de flujo de elaboración de líquido refrigerante.



3.2. Método de prueba para el punto de ebullición de refrigerantes de motor.

Título: Método de prueba para el punto de ebullición de refrigerantes de motor.

Objetivo: Determinar el punto de ebullición de refrigerante de motor elaborado.

Alcance: Este procedimiento busca la determinación de la temperatura a la cual el líquido producido empezará a hervir al ser este expuesto a una fuente de calor, en condiciones de equilibrio y a presión atmosférica.

Documentos de referencia:

- ASTM D1120-17 Método de prueba estándar para el punto de ebullición de los refrigerantes del motor.
- ASTM D3306-19 Especificación estándar para refrigerante de motor con base de glicol para automóviles y servicio liviano.
- ASTM D6210-17 Especificación estándar para refrigerante de motor con base de glicol totalmente formulado para motores de servicio pesado.
- ASTM D1176-14 Práctica estándar para el muestreo y la preparación de soluciones acuosas de refrigerantes o antioxidantes del motor para fines de prueba.

Responsables: Personal de elaboración y de laboratorio.

Terminología:

Punto de ebullición. – Temperatura a la cual el líquido refrigerante hierve a una tasa de condensación de 2 gotas por segundo.

Materiales y Reactivos:

Matraz o frasco de vidrio resistente al calor, de fondo redondo, de dos bocas con capacidad de 100 ml. Condensador de reflujo. Piedras de ebullición. Termómetro o termopar. Fuente de calor. Agua destilada.

Procedimiento:

Primera Etapa. - El montaje del equipo consiste en un matraz esférico resistente al calor de dos bocas, un instrumento de medición de temperatura, un condensador y una fuente de calor. En donde en una boca del matraz ingresa un termómetro o termocupla, por la otra está conectado a un condensador de tubo de vidrio de reflujo. La fuente de calor está debajo del matraz y servirá para calentar el líquido refrigerante hasta hacerlo hervir (ASTM INTERNATIONAL, 2017).

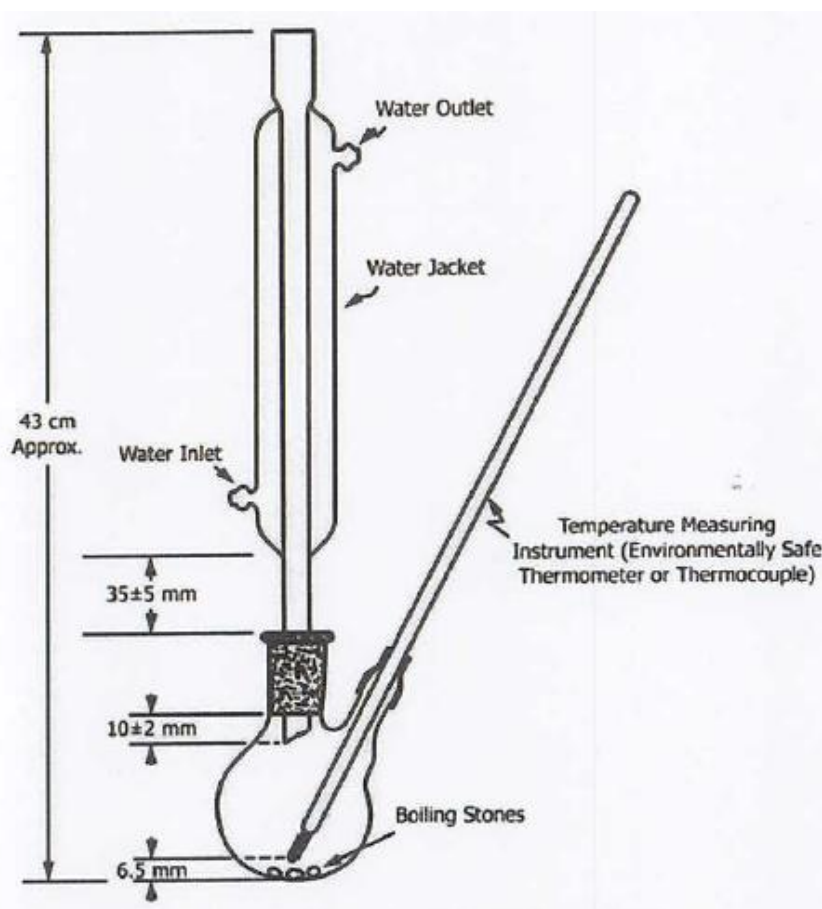


Ilustración 36. Equipo para punto de ebullición

Fuente: ASTM INTERNATIONAL, 2017



Segunda Etapa. - Una vez que el equipo esté listo, realiza los siguientes pasos:

9. Tomar la muestra cómo se indicó anteriormente aproximadamente 60 ml.
10. Colocar en el matraz algunas piedras de ebullición.
11. Agregar la muestra de líquido refrigerante al matraz.
12. Activar la fuente de calor, con una intensidad suficiente para que la muestra empiece a hervir en un tiempo no mayor a 15 minutos.
13. Cuando esté burbujeando el fluido, controlar la tasa del condensado de una a dos gotas por segundo ajustando la fuente de calor a conveniencia.
14. Tomar la temperatura una vez que se haya mantenido constante el goteo de condensado por lo menos dos minutos.
15. Anotar la temperatura en una tabla de respuestas indicando la secuencia, el número de corrida y el porcentaje de líquido refrigerante.
16. Utilizando la tabla 1, aplicar un factor de corrección a los valores obtenidos debido a que el punto de ebullición varía según la altura y la presión atmosférica, la propia norma indica cómo realizar la corrección.

(ASTM INTERNATIONAL, 2017).

TABLA 1
Correcciones por presión barométrica

Temperatura observada Corregido por Temperatura Instrumento de medición -Inexactitud	Corrección por 1 mm Hg Diferencia en Presión®	
	° C	° F
Menos de 100 ° C (212 ° F)	0.03	0.06
100 ° C (212 ° F) a 190 ° C (374 ° F)	0.04	0.07
Más de 190 ° C (374 ° F)	0.04	0.08



3.3. Método de prueba para determinar la tendencia la espumado de un líquido refrigerante de motor.

Título: Método de prueba para determinar la tendencia la espumado de refrigerantes de motor.

Objetivo: Determinar el punto de ebullición de refrigerante de motor elaborado.

Alcance: Este es un procedimiento busca evaluar la tendencia que tienen los refrigerantes a formar espuma en un entorno controlado de flujo de aire y temperatura.

Documentos de referencia:

- ASTM D1881-17 Método de prueba estándar para las tendencias de espumado de los refrigerantes del motor en la cristalería.
- ASTM D3306-19 Especificación estándar para refrigerante de motor con base de glicol para automóviles y servicio liviano.
- ASTM D6210-17 Especificación estándar para refrigerante de motor con base de glicol totalmente formulado para motores de servicio pesado.
- ASTM D1176-14 Práctica estándar para el muestreo y la preparación de soluciones acuosas de refrigerantes o antioxidantes del motor para fines de prueba.

Responsables: Personal de elaboración y de laboratorio.

Terminología:

- *Ojo.* – Aparición de una superficie libre de espuma en el líquido de prueba, rodeado de un círculo de espuma que se adhiere en las paredes de una probeta.
- *Tiempo de descanso.* - el tiempo que se demora en colapsar la espuma una vez que se haya cortado el suministro de aire hasta la aparición del primer ojo.



Materiales y Reactivos:

Probeta de vidrio resistente al calor de 500 ml. Recipiente de vidrio resistente al calor con un volumen recomendado de 4000ml. Tubo aireador. Piedra difusora de aire esférica de 1 in de diámetro. Llave de tres vías. Termómetro o termopar, temporizador. Fuente de aire. Fuente de calor. Agua destilada tipo II ASTM.

Procedimiento:

Primera Etapa. - El equipo consiste en una probeta resistente al calor de 500ml, un recipiente de vidrio resistente al calor para baño maría, termómetro, un tubo aireador, una piedra aireadora, una llave de mariposa o tres vías, una fuente de aire y una fuente de calor. El recipiente de baño maría va sobre la fuente de calor. Al interior del recipiente se coloca la probeta de 500ml, se llena con agua el depósito para baño maría hasta cierta graduación de la probeta. El termómetro va en interior de la probeta. Se hace una conexión como sigue fuente de aire-tubo-llave-tubo-piedra aireadora, de tal manera que la piedra quede en la parte baja del interior de la probeta (ASTM INTERNATIONAL, 2017).

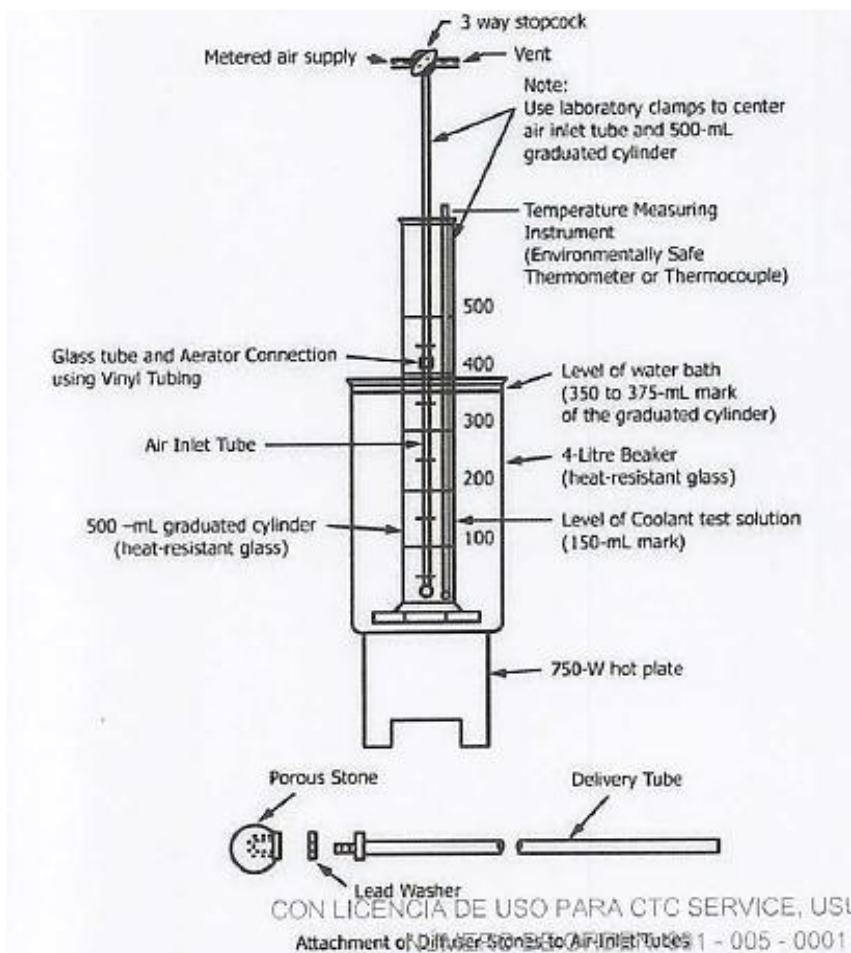


Ilustración 37. Equipo para la tendencia al espumado.

Fuente: (ASTM INTERNATIONAL, 2017b)

Segunda Etapa. - Una vez que el equipo esté listo, realiza los siguientes pasos:

1. Tomar la muestra del líquido refrigerante a analizar.
2. Preparar una solución del 33% por volumen de refrigerante para analizar con agua tipo II.
3. Colocar 145 ml de la solución preparada en la probeta de 500ml.
4. Encender la fuente de calor y esperar hasta que la solución alcance los $88\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.
5. Colocar la piedra aireadora conectada a la fuente de aire, y leer el nivel inicial del líquido a los 5 ml más cercanos.



6. Abrir el suministro de aire durante 5 minutos, después de este tiempo, hay que leer el nivel final al que haya llegado la espuma a los 5 ml más cercanos y anotar el valor.
7. Girar la válvula a manera de cortar el flujo hacia la piedra aireadora, y simultáneamente medir el tiempo que se demora en desaparecer el espumado hasta la aparición del primer ojo en la superficie del líquido.
8. Obtener el volumen de espuma formado, sacando una diferencia de volumen entre el nivel final y el nivel inicial.
9. Anotar el volumen formado a los 5 minutos y el tiempo de descanso, estos parámetros determinaran la tendencia al espumado.

(ASTM INTERNATIONAL, 2017)

Tabla 1

Tabla de resultados

Test Run	Volumen de espuma a los 5 min (ml)	“Tiempo de ruptura” Aparición de Ojo (s)
1		
2		
3		
Promedio		



3.4. Método de prueba para determinar el pH.

Título: Método de prueba para determinar el pH de refrigerantes de motor.

Objetivo: Determinar el pH de refrigerante de motor elaborado.

Alcance: Este procedimiento contempla la medición mediante un potenciómetro del pH de la muestra del líquido refrigerante elaborado.

Documentos de referencia:

- ASTM D3306-19 Especificación estándar para refrigerante de motor con base de glicol para automóviles y servicio liviano.
- ASTM D6210-17 Especificación estándar para refrigerante de motor con base de glicol totalmente formulado para motores de servicio pesado.
- ASTM D1176-14 Práctica estándar para el muestreo y la preparación de soluciones acuosas de refrigerantes o antioxidantes del motor para fines de prueba.

Responsables: Personal de elaboración y de laboratorio.

Terminología:

- *pH-metro.* - Instrumento de medición que sirve para determinar la concentración de iones hidronio presentes en una sustancia.

Materiales:

Envases para muestras, pH-metro, agua destilada.

Procedimiento:

El procedimiento a cumplir es el siguiente:

1. Encender el equipo de medición 30 minutos antes de realizar los ensayos.



2. Verificar el potenciómetro con la ayuda de la solución buffer pH=4, pH=7 y pH=10.
3. Tomar una muestra del refrigerante siguiendo el procedimiento estándar.
4. Colocar las diferentes muestras en recipiente debidamente rotulados.
5. Sumergir la punta del electrodo del pH metro en el fluido, luego esperar hasta que se estabilice la medición y anotar el valor.
6. Lavar y secar cuidadosamente la punta del electrodo con agua destilada, y prepararlo para otra medición.



4. BIBLIOGRAFÍA.

- ASTM INTERNATIONAL. (2011). *Standard Test Method for pH of Engine Coolants and Antirusts*.
- ASTM INTERNATIONAL. (2014a). *Standard Practice for Sampling and Preparing Aqueous Solutions of Engine Coolants or Antirusts for Testing Purposes*.
- ASTM INTERNATIONAL. (2014b). *Standard Specification for Engine Coolant Grade Glycol*.
- ASTM INTERNATIONAL. (2017a). *Standard Test Method for Boiling Point of Engine Coolants*.
- ASTM INTERNATIONAL. (2017b). *Standard Test Method for Foaming Tendencies of Engine Coolants in Glassware*.
- ASTM INTERNATIONAL. (2019a). *Especificación estándar para refrigerante del motor base glicol para automóviles y servicio liviano Servicio*.
- ASTM INTERNATIONAL. (2019b). *Standard Specification for Glycol Base Engine Coolant for Automobile and Light-Duty Service*.
- CHEVRON U.S.A. INC. (2015). *OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS Patent N.º 2 547 492. Recuperado de http://www.oepm.es/pdf/ES/0000/000/02/54/74/ES-2547492_T3.pdf*
- Clavijo, J. (2017). *PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL LÍQUIDO REFRIGERANTE AUTOMOTRIZ FABRICADO POR LA EMPRESA ECOQUIMICOS. FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA, Bogotá*.
- Scacco Morales, M. F., & Vargas Castro, K. D. (2016). *Estudio de la factibilidad para la fabricación local de refrigerante en los motores de combustión interna. Universidad Internacional del Ecuador Facultad de, Quito*.