

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Titulación Previo a la Obtención del
Título de Ingeniero Mecánico

Proyecto Técnico:

**ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES
TECNOLÓGICAS EN LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO
DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE REFRIGERADORES
DOMÉSTICOS, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE LA
DINÁMICA DE SISTEMAS**

Autores:

Servio Vinicio Astudillo León.

Arnaldo Sebastián Peralta Verdugo.

Tutor:

Ing. Nelson Jara Cobos MSc.

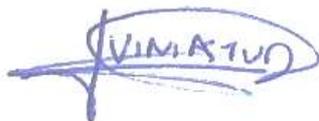
Cuenca 2017.

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros: Servio Vinicio Astudillo León con CI: 1104251572 y Arnaldo Sebastián Peralta Verdugo con CI: 0301849337, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES TECNOLÓGICAS EN LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE REFRIGERADORES DOMÉSTICOS, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado por la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, julio del 2017



Servio Vinicio Astudillo León

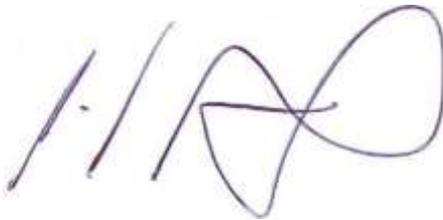


Arnaldo Sebastián Peralta Verdugo

CERTIFICACIÓN

Yo Nelson Gustavo Jara Cobos, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación **“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES TECNOLÓGICAS EN LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE REFRIGERADORES DOMÉSTICOS, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS”**, realizado por los estudiantes Servio Vinicio Astudillo León y Arnaldo Sebastián Peralta Verdugo, obteniendo el proyecto técnico que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, julio del 2017

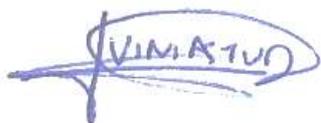
A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and strokes, positioned above the title of the certifier.

TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros: Servio Vinicio Astudillo León con CI: 1104251572 y Arnaldo Sebastián Peralta Verdugo con CI: 0301849337, autores del trabajo de titulación “ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES TECNOLÓGICAS EN LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE REFRIGERADORES DOMÉSTICOS, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS”, certificamos que el total contenido del proyecto técnico es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, julio del 2017



Servio Vinicio Astudillo León



Arnaldo Sebastián Peralta Verdugo

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haber protegido y guiado siempre mi camino.

A mis Padres Servio y Luz, por ser el apoyo fundamental de mi familia en todo momento y ser un ejemplo a seguir

A mis hermanos Juan, David y madrina Regí por ayudarme y aconsejarme en cada etapa de mi vida.

A mi familia Belén, Junior y Valentina

A nuestro tutor, Ingeniero Nelson Jara, por su apoyo, tutorías y consejos para poder concluir con éxito nuestro proyecto de grado

A Viviana por el apoyo que siempre ha sabido brindarme.

A mis amigos, Hernán Morocho, Marcos Arias, Jonathan Ortiz y Freddy Shicay por ser parte fundamental de alegrías y compañerismo en este periodo universitario.

A mi amigo, Sebastián Peralta, por su apoyo incondicional en cualquier aspecto de la vida.

Vinicio.

DEDICATORIA

El presente trabajo dedico a toda mi familia y amigos, principalmente a mis padres que han sido un pilar fundamental en mi formación como profesional, por brindarme la confianza, consejos, oportunidad y recursos para lograrlo.

Vinicio.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haber protegido y guiado siempre mi camino.

A mi mamá, Carmen, por ser el apoyo fundamental de mi familia en todo momento y ser un ejemplo a seguir

A mis hermanos, Marielisa y Xavier, por ayudarme y aconsejarme en cada etapa de mi vida.

A mis abuelitos, que me enseñaron a ser siempre honrado y justo en cualquier aspecto de mi vida.

A mi familia, por su ayuda incondicional en cualquier problema y sobre todo por su amor, paciencia y cuidado a lo largo de mi vida.

A nuestro tutor, Ingeniero Nelson Jara, por su apoyo, tutorías y consejos para poder concluir con éxito nuestro proyecto de grado

A mis amigos, Marcos Arias, Jonathan Ortiz, Hernán Morocho por parte fundamental de alegría, compañerismo en este periodo universitario.

A mi amigo, Vinicio Astudillo, por su apoyo incondicional en cualquier aspecto de la vida.

Sebastián

DEDICATORIA

El presente trabajo dedico a:

A mi mamá, Carmen, quien es el apoyo fundamental en mi vida, por enseñarme lo bueno y lo malo, ser justo, honrado y sobre todo a no darme por vencido en cualquier situación por lo cual estaré agradecido todo el tiempo.

A mi abuelito José, aunque no esté presente me enseñó el valor del trabajo, sencillez lo cual me ayudo en mi formación personal.

A mis tías, Silvia, Nancy, Sandra y Beatriz que siempre estuvieron presentes para aconsejarme y apoyarme cuando más lo necesitaba.

Mis hermanos, Marielisa y Xavier, por contar con su amor y cariño en tiempos difíciles.

Mis sobrinos, Melissa, David y Zoe, ya gracias a ellos trato de ser un ejemplo y guía en sus vidas.

Sebastián

ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES TECNOLÓGICAS EN LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE REFRIGERADORES DOMÉSTICOS, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS

INDICE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	II
CERTIFICACIÓN.....	III
DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD.....	IV
AGRADECIMIENTOS	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTOS	VII
DEDICATORIA	VIII
ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES TECNOLÓGICAS EN LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE REFRIGERADORES DOMÉSTICOS, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS.....	IX
1. Introducción.....	1
2. Descripción del problema.	2
2.1 Antecedentes.	3
2.2 Importancia y alcances.	3
2.3 Delimitación del problema.	3
3. Objetivos	4
3.1 Objetivo general.	4
3.2 Objetivo Específico.	4
4. Marco teórico.....	4
4.1 Antecedentes del proyecto.	4
4.2 Análisis del estado del arte sobre las tecnologías utilizadas en equipos de refrigeración doméstica en países de Latinoamérica.	5
4.2.1 Análisis de la situación actual de la República de Argentina.....	5
4.2.1.1 Programas de Eficiencia Energética en Argentina.	5
4.2.1.2 Normativa y certificación energética.	5
4.2.1.3 Fabricantes de refrigeradores domésticos y tecnología utilizada.	8
4.2.1.3.1 Empresa Argentina GAFA.	8
4.2.1.3.1.1 Refrigerador tipo Top mount fabricado por GAFA.	8
4.2.1.3.1.2 Componentes del refrigerador.	9
4.2.2 Análisis de la situación actual de la República De Brasil.	9
4.2.2.1 Programas de eficiencia energética en la República De Brasil.	9
4.2.2.2 Normativa y certificación.....	11

4.2.2.3	Fabricante de refrigeradores domésticos y tecnología utilizada.....	13
4.2.2.3.1	Empresa Brasileña ESMALTEC.....	13
4.2.2.3.2	Refrigerador tipo top mount fabricado por ESMALTEC.....	13
4.2.2.3.3	Componentes del refrigerador ESMALTEC.....	14
4.2.3	Análisis de la situación actual de la República De Chile.....	14
4.2.3.1	Programas de eficiencia energética en la República de Chile.....	14
4.2.3.2	Normativa y certificación.....	15
4.2.3.3	Fabricantes de refrigeradores domésticos y tecnologías utilizadas.....	17
4.2.3.3.1	Empresa chilena MADEMSA.....	17
4.2.3.3.2	Refrigerador tipo top mount fabricado por MADEMSA.....	18
4.2.3.3.3	Componentes del refrigerador MADEMSA.....	18
4.2.4	Análisis de la situación actual de la República de Ecuador.....	19
4.2.4.1	Programas de eficiencia energética en Ecuador.....	19
4.2.4.2	Normativa y certificación energética.....	20
4.2.4.3	Fabricantes de refrigeradores domésticos y tecnología utilizada.....	21
4.2.4.3.1.1	Empresa ecuatoriana INDUBLOG.....	21
4.2.4.3.2	Refrigerador tipo top mount fabricado por INDURAMA.....	21
4.2.4.3.3	Componentes del refrigerador.....	22
4.2.5	Análisis de la situación actual de la República De Colombia.....	22
4.2.5.1	Programas de eficiencia energética en la República de Colombia.....	22
4.2.5.2	Normativa y certificación energética.....	23
4.2.5.3	Fabricantes de refrigeradores domésticos y tecnología utilizada.....	24
4.2.5.3.1	Empresa HACEB.....	24
4.2.5.3.2	Refrigerador tipo top mount fabricado por HACEB.....	25
4.2.5.3.3	Componentes del refrigerador.....	26
4.2.6	Análisis de la situación actual de la República Bolivariana de Venezuela.....	27
4.2.6.1	Programas de eficiencia energética en Venezuela.....	27
4.2.6.2	Normativa y certificación energética.....	27
4.2.6.3	Fabricantes de refrigeradores domésticos y tecnología utilizada.....	27
4.2.6.3.1	Empresa CYBERLUX.....	28
4.2.6.3.2	Refrigerador tipo top mount fabricado por CYBERLUX.....	28
4.2.7	Análisis de la situación actual de los Estados Unidos Mexicanos.....	29
4.2.7.1	Programas de eficiencia energética en México.....	29
4.2.7.2	Normativa y certificación energética.....	31
4.2.7.3	Fabricantes de refrigeradores domésticos y tecnología utilizada.....	31
4.2.7.3.1	Empresa MABE.....	31

4.2.7.3.2	Refrigerador tipo top mount fabricado por MABE	31
4.2.7.3.3	Componentes del refrigerador.	32
4.2.8	Análisis de la situación actual de la República del Perú.	33
4.2.8.1	Programas de eficiencia energética en Perú.	33
4.2.8.2	Normativa y certificación energética.	33
4.2.8.3	Fabricantes de refrigeradores domésticos y tecnología utilizada.	35
4.2.8.3.1	Empresa COLDEX.....	35
4.2.8.3.2	Refrigerador tipo top mount fabricado por COLDEX	35
4.2.8.3.3	Componentes del refrigerador	36
4.3	Análisis comparativo de las tecnologías utilizadas en refrigeración doméstica en Latinoamérica, en base al consumo energético.	36
4.3.1	Tabla comparativa de refrigeradores top mount.....	37
4.3.2	Análisis de las variables tecnológicas que influyen en el consumo energético con respecto a tecnologías más eficientes.....	39
4.3.2.1	Análisis tecnológico del compresor	41
4.3.2.2	Análisis tecnológico del refrigerante.....	48
4.3.2.3	Análisis tecnológico del aislante térmico.....	52
4.3.3	Análisis de ciclo termodinámico de enfriamiento.....	54
4.4	Determinación de las variables endógenas y exógenas para la construcción de diagramas causales en refrigeración doméstica en Latinoamérica.....	59
4.4.1	Introducción a la Dinámica de Sistemas.	59
4.4.1.1	Diagrama causal de Lazo.	60
4.4.1.2	Diagramas de Niveles y Flujo.	60
4.4.1.3	Propiedades de la Dinámica de Sistemas.	61
4.4.1.3.1	Bucles de Realimentación.	61
4.4.1.3.2	Retardos.....	62
4.4.1.3.3	No linealidades y bucles dominantes.	62
4.4.1.3.4	Complejidad Dinámica.....	62
4.4.1.3.5	Los Arquetipos.	63
4.4.1.4	Modelización de Variables Soft.	63
4.4.1.5	Experimentación.....	64
4.4.1.5.1	Evaluación del Modelo.....	64
4.4.1.5.2	Validación del Modelo.	64
4.4.1.5.3	Análisis del Modelo.	65
4.4.1.5.4	Estructura del Modelo.	65
4.4.1.5.5	Determinación de escenarios en relación a los casos.	73

4.5	Construcción del modelo mediante el uso del software VenSim PLE PLUS para determinar la influencia de los parámetros tecnológicos en la mejora de la eficiencia energética y valorarlo a través de escenarios.	75
5.	Metodología.	81
5.1	Tipo de investigación.	81
5.2	Diseño de la investigación.....	81
5.2.1	Fases metodológicas.....	82
5.2.2	Los instrumentos de recolección de información.	82
6.	Resultados y discusión	82
6.1	Resultados de simulación para el escenario actual.	83
6.2	Análisis de resultados bajo escenarios.....	84
7.	Conclusiones.	91
8.	Recomendaciones.	93
9.	Bibliografía y referencias.....	94

Índice de figuras.

Figura 1: Etiqueta energética Argentina.	6
Figura 2: Resultados del etiquetado energético.	7
Figura 3: Consumo energético en refrigeradores congeladores.	7
Figura 4: Refrigerador modelo HGF357AW	8
Figura 5: Políticas de Eficiencia Energética 1984-2011	10
Figura 6: Etiqueta de un refrigerador doméstico.	12
Figura 7: Sello PROCEL	12
Figura 8: Evolución de cantidades de productos a la venta con sello PROCEL.....	13
Figura 9: Reducción del consumo eléctrico con el sello PROCEL.	13
Figura 10: Refrigerador modelo RDC 38	14
Figura 11: Programas de eficiencia energética.	15
Figura 12: Etiqueta energética	16
Figura 13: Consumo energético en el sector residencial chileno.	16
Figura 14: comercialización de equipos etiquetados en el mercado	17
Figura 15: Refrigerador modelo ALTUS 970	18
Figura 16: Etiqueta energética MADEMSA.....	19
Figura 17: Refrigeradores sustituidos 2014	20
Figura 18: Etiqueta energética en Ecuador	21
Figura 19: Refrigerador modelo ri-580cr	22
Figura 20: Intensidad energética y consumo per cápita por país	23
Figura 21: Nevera HIMALAYA 375 SE DA TI	25
Figura 22: Etiqueta energética nevera HIMALAYA 375 SE DA TI	26
Figura 23: Etiqueta energética usada en Venezuela.....	28
Figura 24: Nevera nfr-585s.	28
Figura 25: Consumo de electricidad por aparato	29
Figura 26: Partes de la etiqueta energética.....	30
Figura 27: Refrigerador automático 368.77 l Silver Mabe - RME1436YMXSO	32
Figura 28: Objetivo de la Ley N° 27345	33
Figura 29: Etiqueta de Eficiencia Energética.....	35
Figura 30: Refrigeradora Colorex 395N Steel	35
Figura 31: Ciclo termodinámico	40
Figura 32: principales componentes para el funcionamiento de un ciclo de refrigeración.....	41
Figura 33: Maquina frigorífica.....	42
Figura 34: ciclo de refrigeración ; diagrama de fluido y diagrama T-s	42
Figura 35: Etapas de compresión	43
Figura 36: Evolución de los compresores Embraco.....	44
Figura 37: comparaciones del rendimiento de compresores embraco	45
Figura 38: Controles de temperatura Wisemotion	45
Figura 39: Componentes de compresor lineal.....	47
Figura 40: diagrama de la bomba de aceite	47
Figura 41: Consumo de Energía eléctrica.	48
Figura 42: Niveles de ruido de compresor lineal.	48
Figura 43: Grafica comparativa entre refrigerante R134a, R600a y R12.	50
Figura 44: Especificaciones técnicas de refrigerador Samsung.	51
Figura 45: HFCH-141b como agente soplante.	53
Figura 46: Ciclo pentano como agente soplante en refrigerador Samsung.	53
Figura 47: Ciclo de refrigeración.	54

Figura 48: Línea de código en software EES.....	56
Figura 49: Relación de influencia positiva	60
Figura 50: Relación de influencia negativa.....	60
Figura 51: Organización de las variables de Nivel y Flujo en un diagrama	61
Figura 52: Respuestas explosivas (a) y depresiva (b) de los bucles de realimentación positiva	61
Figura 53: Respuesta estabilizadora de los bucles de realimentación negativa.	62
Figura 54: Ubicación correcta del refrigerador doméstico en la cocina.....	70
Figura 55: Tendencia del consumo energético del compresor con la tecnología 1.....	71
Figura 56: Tendencia del consumo energético del compresor con la tecnología 2.....	72
Figura 57: Tendencia del consumo energético del compresor con la tecnología 3.....	72
Figura 58: Tendencia del consumo energético del compresor con la tecnología 4	73
Figura 59: Círculo de conexiones de variables	76
Figura 60: Rango de análisis para los modelos planteados	76
Figura 61: Diagrama causal	77
Figura 62: Cantidad de habitantes en el Ecuador periodo 2010 - 2050	77
Figura 63: Número de hogares en el Ecuador periodo 2010 - 2050	77
Figura 64: Cantidad de personas por hogar en el Ecuador periodo 2010 - 2050	78
Figura 65: Círculo de conexiones para determinar la demanda de refrigeradores domésticos ...	78
Figura 66: Diagrama causal	79
Figura 67: Número de refrigeradores construidos en el Ecuador periodo 2010 - 2050	79
Figura 68: Consumo energético de los compresores en el Ecuador periodo 2010 - 2050	80
Figura 69: Diagrama causal	80
Figura 70: Número de refrigeradores domésticos construidos en el Ecuador periodo 2010 - 2050.....	83
Figura 71: Índice de penetración de refrigeradores domésticos en el Ecuador periodo 2010 - 2050.....	83
Figura 72: Consumo energético en TWh/año para la tecnología del caso 1.....	85
Figura 73: Consumo energético en TWh/año para la tecnología del caso 2.....	85
Figura 74: Grafica comparativa del Consumo energético entre el caso 1 y caso 2.....	86
Figura 75: Consumo energético en TWh/año para la tecnología del caso 3.....	87
Figura 76: Grafica comparativa del Consumo energético entre el caso 1 y caso 3.....	88
Figura 77: Consumo energético en TWh/año para la tecnología del caso 4.....	89
Figura 78: Grafica comparativa del Consumo energético entre el caso 1 y caso 4.....	89
Figura 79: Consumo energético en TWh/año para la tecnología del caso 5	90
Figura 80: Grafica comparativa del Consumo energético entre el caso 1 y caso 5.	91

Índice de tablas.

Tabla 1: Estándares de Eficiencia Energética Mínima.....	6
Tabla 2: Datos Técnicos de Refrigeradores GAFA.	9
Tabla 3: Disposiciones reglamentarias de la ley de eficiencia energética.	11
Tabla 4: Datos técnicos refrigeradores ESMALTEC.....	14
Tabla 5: Rango de eficiencia energética	24
Tabla 6: Datos técnicos refrigeradores Top Mount	26
Tabla 7: Especificaciones técnicas de refrigeradores Top Mount.	38
Tabla 8: Tabla comparativa entre precios y consumo energético.	39
Tabla 9: Consumo de compresores embraco para refrigeradores domésticos	44
Tabla 10: Propiedades del refrigerante R134a.....	49
Tabla 11: Propiedades del refrigerante R600a.....	50
Tabla 12: Propiedades de los refrigerantes R134a, R600a y R12.	51
Tabla 13: propiedades de agentes soplantes para espuma rígida de poliuretano.	52
Tabla 14: Datos obtenidos en el software EES para el caso 1	57
Tabla 15: Datos obtenidos en el software EES para el caso 2	57
Tabla 16: Datos obtenidos en el software EES para el caso 3	58
Tabla 17: Datos obtenidos en el software EES para el caso 4	58
Tabla 18: Problemas de la modelización de Variables Soft.....	64
Tabla 19: Variables Endógenas y Exógenas del modelo	66
Tabla 20: Población Ecuatoriana periodo 2010 - 2050.....	67
Tabla 21: Cantidad de hogares en el Ecuador periodo 2010 -2050.....	67
Tabla 22: Promedio de personas por hogar en Ecuador periodo 2017 - 2050	68
Tabla 23: Cantidad de Refrigeradores domesticos en el Ecuador periodo 2017 - 2050	68
Tabla 24: Índice de penetración en el Ecuador periodo 2010 - 2050.....	69
Tabla 26: Variables Exógenas Caso 1.....	73
Tabla 27: Variables Exógenas Caso 2.....	74
Tabla 28: Variables Exógenas Caso 3.....	74
Tabla 29: Variables Exógenas Caso 4.....	74
Tabla 30: Análisis comparativo del consumo energético entre el caso 1 y 2.	86
Tabla 31: Análisis comparativo del consumo energético entre el caso 1 y 3.....	88
Tabla 32: Análisis comparativo del consumo energético entre el caso 1 y 4.....	90
Tabla 33: Análisis comparativo del consumo energético entre el caso 1 y 5.....	91

1. Introducción

El desarrollo económico de los países Latinoamericanos y su densidad poblacional, en varios casos es directamente proporcional al crecimiento de la demanda energética, razón que ha llevado a la preocupación de varios gobiernos para reformar sus matrices energéticas, tal es el caso de Ecuador.

En este sentido y en vista de que en la mayoría de países Latinoamericanos los niveles de consumo energético se han incrementado, les está resultando muy complicado ampliar la capacidad energética para dar respuesta a esta demanda, es por ello que para enfrentar esta creciente demanda de energía eléctrica se ha buscado en la mayoría de casos obtener una mejora en la eficiencia energética.

Utilizando el concepto de disminuir el consumo energético, a través de planes educacionales dirigidos a la población con el fin de utilizar adecuadamente los electrodomésticos con la selección de equipos eficientes de bajo consumo a través de programas de etiquetado, la incorporación de reglamentos y normas que lleven a los fabricantes a construir equipos más eficientes cumpliendo estándares mínimos de desempeño energético mediante la implementación de nuevas tecnologías que garanticen mejorar la eficiencia energética, entre otras. En base a la experiencia que han tenido varios países Latinoamericanos, estas acciones sin lugar a dudas llevarán a generar una disminución en el consumo de energía.

Haciendo un análisis específicamente en el sector residencial, se puede identificar al refrigerador como un artefacto eléctrico que está siendo muy utilizado a nivel mundial y de manera continua, el cual, de acuerdo a varios estudios, puede llegar a consumir valores de hasta 1800 kWh/año, dependiendo de su volumen, la tecnología que utiliza y el año de fabricación, lo que implicaría valores de más del 60% del consumo mensual de electricidad en el hogar [1]. Un refrigerador doméstico nuevo de 10 a 12 pies cúbicos, está consumiendo aproximadamente 30 kWh/mes, significando un total de 360 kWh/año [2]. La Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) señala que, la implementación de mejoras en la eficiencia energética abordaría entre el 3 y 5 % en el ahorro al consumo energético [3].

De igual manera, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) se trataron temas en el 2014 sobre la implementación de estándares de eficiencia energética y mejoras en las tecnologías utilizadas en equipos de refrigeración en el sector residencial daría como resultado ahorros energéticos muy satisfactorios, evitando la generación de dióxido de carbono en aproximadamente 3 giga toneladas anuales entre los años de 2015 y 2030 [4].

De acuerdo a lo manifestado en los párrafos anteriores y tomando en cuenta que en el caso de Ecuador no se ha tenido avances tecnológicos en 6 años, haciendo referencia a la producción nacional, esto representa una necesidad imperiosa, el hecho de establecer propuestas que lleven a una mejora en la eficiencia energética, mejoras que pueden venir desde distintas acciones, sin embargo casi todas llevan al impulso de una mejora en la tecnología de la fabricación de estos equipos, es por ello que al no contar con indicadores tecnológicos claves que establezcan influencias directas en el consumo de energía eléctrica de un refrigerador doméstico, es muy complicado para los industriales

incorporar nuevas tecnologías que sean económicamente rentables y sobre todo que no eleven el costo de los productos terminados.

2. Descripción del problema.

Si se mira la historia de los pueblos se puede verificar que su crecimiento económico ha estado directamente relacionado al uso de los recursos energéticos, a mayor crecimiento mayor uso de recursos, sin embargo, esta relación ha sufrido variaciones en los últimos años, debido fundamentalmente a la preocupación de los gobiernos por mejorar su sistema energético mediante la implementación de programas de eficiencia energética.

La OLADE, en un estudio para América Latina y el Caribe, estima que el ahorro acumulado de energía resultante de la introducción de medidas de eficiencia energética relativamente blandas estaría entre el 3 y 5% [3], esto no significa que la calidad de vida de los pueblos haya disminuido.

Uno de los equipos más utilizados a nivel mundial y sobre todo a nivel residencial, es el refrigerador de uso doméstico, este es un artefacto que funciona de manera continua durante todo el año, razón por la que representa en las cuentas eléctricas de los hogares un alto consumo de energía; consumo que está supeditado al estado del equipo, los años de funcionamiento, ubicación, uso, etc.

Un refrigerador promedio (225 litros) consume entre 500 y 700 kWh/año [5], representando aproximadamente un 33.33% de consumo de energía eléctrica en hogares que facturan aproximadamente 150 kWh/mes. Sin embargo, este valor varía drásticamente por varias razones. Una de ellas se debe fundamentalmente a los componentes del sistema como el compresor, el condensador, el evaporador, el tubo capilar y el refrigerante; ya que la mayor parte de energía desperdiciada por estos elementos, se debe a las pérdidas irreversibles que se generan [6]. Otra hace referencia al número de años de operación que tiene dicho equipo, pudiendo llegar a consumir más de 1500 kWh/año, esto dependerá también de la capacidad del equipo.

En la búsqueda de establecer estrategias para mejorar la eficiencia energética, varios países del mundo han propuesto políticas para la promoción de productos de alta eficiencia energética, principalmente las de impulsar a la industria a mejorar sus diseños con criterios ecológicos de eficiencia energética y la emisión de normativas de etiquetado energético.

Para el caso específico de países como México, Colombia y Ecuador, es de vital importancia contar con políticas que conlleven a tener ahorros energéticos significativos mediante la implementación de estrategias de estándares mínimos de rendimiento energético para equipos de mayor consumo energético en los distintos sectores de la población, sean estos el residencial, comercial e industrial, todas estas acciones aportan sustancialmente a la sostenibilidad energética de los países en el futuro.

2.1 Antecedentes.

Inicialmente se encontró un estudio intitulado; *“Modelo Dinámico para el Estudio de la Implementación de Índices de Eficiencia Energética en Refrigeración Doméstica, Caso Ecuador”*[7], en el cual se abordaron temas de políticas de eficiencia energética y situaciones actuales de cada país Latinoamericano, además, los investigadores establecieron escenarios con la implementación de índices de eficiencia energética, lo que nos da una perspectiva de los resultados que obtendremos en nuestra investigación.

Para el análisis tecnológico de cada país se recolecta la información mediante la colaboración de empresas locales y los sitios web de cada fabricante nacional e internacional, esta información estará directamente relacionada con los programas de eficiencia energética, normativas y certificaciones que se rigen en el país.

Este estudio es pertinente para establecer escenarios en condiciones específicas en los cuales sus principales variables serán los componentes tecnológicos de un refrigerador top mount (refrigerador y congelador) que son los más vendidos en nuestro país, para el estudio de estas variables se analizará los proyectos intitutados; *“Estudio De Los Parámetros De Operación De Un Refrigerador Doméstico Que Opera Con Refrigerante R600a”*[8] y *“Evaluación De Los Impactos En El Consumo De Energía Eléctrica Asociados Al Uso De Refrigeradores Eficientes En El Ecuador: Programa Renova Refrigerador.”*[9], con la información de las variables tecnológicas y de los comportamientos del sistema de refrigeración se realizara un análisis del ciclo termodinámico de enfriamiento con el objetivo de identificar los indicadores tecnológicos que influyan directamente en el consumo de energía eléctrica, los cuales estarán directamente relacionados a los escenarios de simulación con los indicadores de tecnologías aplicadas.

2.2 Importancia y alcances.

El propósito de esta investigación es *“ Analizar la influencia de las variables tecnológicas que lleven a obtener una disminución en el consumo de energía eléctrica de refrigeradores domésticos, utilizando la metodología de la Dinámica de Sistemas.”*, su importancia nos permitirá establecer distintos escenarios para la selección de la tecnología energética más eficiente y proponer soluciones a corto, mediano y largo plazo en base a los resultados obtenidos de la investigación, siendo esta información muy importante para la toma de decisiones en los fabricantes nacionales. Para lograr este objetivo se realizará un estudio a las políticas de eficiencia energética, las normativas, certificaciones de los países Latinoamericanos y principalmente a los fabricantes de equipos de refrigeración doméstica.

2.3 Delimitación del problema.

La presente investigación considera fundamentalmente una visión sobre las políticas, normativas, planes y certificaciones en eficiencia energética que tiene cada país de Latinoamérica, las cuales con el uso de la metodología de la Dinámica de Sistemas y la identificación de las variables involucradas en el sistema, se podrá construir un modelo para simular el comportamiento de la industria de la refrigeración doméstica ante una posible implementación de tecnologías que posibiliten mejoras en la eficiencia energética del equipo de refrigeración. De esta manera será trascendental la toma de

decisiones que lleven a contar con un panorama alentador en cuanto al consumo energético de país, y así lograr ahorros significativos en recursos energéticos.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general.

- Analizar la influencia de las variables tecnológicas que lleven a obtener una disminución en el consumo de energía eléctrica de refrigeradores, utilizando la metodología de la Dinámica de Sistemas.

3.2 Objetivo Específico.

- Analizar el estado del arte de la tecnología utilizada en equipos de refrigeración doméstica en países de Latinoamérica como Ecuador, México, Colombia, Brasil, Chile.
- Establecer un análisis comparativo, en base al consumo energético, entre las tecnologías utilizadas en refrigeración doméstica en Latinoamérica.
- Determinar las variables exógenas y endógenas, para construir diagramas causales en base a los datos, valores e información de cada variable.
- Construir el modelo mediante el uso del software VenSim PLE PLUS para determinar la influencia de los parámetros tecnológicos en la mejora de la eficiencia energética y valorarlo a través de escenarios.

4. Marco teórico.

4.1 Antecedentes del proyecto.

De acuerdo a los diferentes informes mundiales de consumo energético residencial se puede observar que el mayor gasto eléctrico en el hogar se debe al uso del refrigerador doméstico, ya que funciona constantemente, es por eso que en el transcurso de su desarrollo tecnológico se ha visto la necesidad de que su eficiencia energética sea muy elevada y es así que cada país ha implementado normas, políticas, planes y programas de etiquetado para controlar el uso energético inadecuado del mismo.

Es posible utilizar la metodología de la Dinámica de Sistemas para construir modelos de simulación y establecer escenarios de análisis a fin de identificar la mejor tecnología que lleve a un incremento de la eficiencia energética de los refrigeradores domésticos, esto representa una alternativa para que los países Latinoamericanos puedan tener una base de análisis para la toma de decisiones. Es fundamental precisar también que el incremento de la eficiencia energética, lleva a contar con ahorros de energía eléctrica

que pueden llegar a ser significativos y por ende aportar a la disminución de gases de efecto invernadero, favoreciendo el medio ambiente.

4.2 Análisis del estado del arte sobre las tecnologías utilizadas en equipos de refrigeración doméstica en países de Latinoamérica.

A continuación se presenta un estudio general de la situación actual de varios países Latinoamericanos que han implementado políticas de eficiencia energética, a través de entidades gubernamentales creadas precisamente para ello, las que generaron programas de eficiencia energética para el uso racional de energía eléctrica con el fin de obtener ahorros energéticos y poder contar con artefactos eficientes en base a las políticas internacionales sobre eficiencia energética y conservación del medio ambiente. Con el fin de analizar los resultados que obtuvieron los países de la región, ya sean con impactos positivos o negativos en la eficiencia energética y aplicarlos a la realidad ecuatoriana a través de escenarios de simulación.

Para el caso de esta investigación, el estudio hace referencia a los refrigeradores domésticos, ya que la tecnología de sus componentes como el compresor, refrigerante, aislante térmico, condensadores y evaporador pueden ser variables que influyen directamente en el consumo energético.

4.2.1 Análisis de la situación actual de la República de Argentina.

4.2.1.1 Programas de Eficiencia Energética en Argentina.

La república de Argentina al estar en cuarto lugar en consumo de energía en Latinoamérica se ve obligado a trabajar con políticas de eficiencia energética que incrementen la eficacia en el uso de la energía eléctrica para reducir los costos de los consumidores y sobre todo generar un sistema sustentable a largo plazo, la secretaria de energía se encuentra desarrollando un proyecto de eficiencia energética, que recibió una donación de 15.155 millones de dólares del Fondo Para El Medio Ambiente Mundial (FMAM), otorgados a través del banco mundial. La donación fue aprobada por el decreto N° 1253/09 del boletín oficial publicado en 17 de septiembre del 2009[10].

A finales del 2007 se lanzó el Programa Nacional De Uso Racional y Eficiente de la Energía (PRONUREE), mediante el decreto 140/2007, en el cual se declaró el interés nacional al uso racional y eficiente de la energía, siendo esta una estrategia para generar un ahorro considerable en los años posteriores[11].

4.2.1.2 Normativa y certificación energética.

Con la implementación del programa PROUREE el impacto en la industria y etiquetado de electrodomésticos pretendía generar un ahorro en el consumo de energía eléctrica haciéndose cumplir con normativas y certificaciones energéticas establecidas por la Secretaria Energética de la República de Argentina, con la resolución SE 396/2009 se establece a la clase C de eficiencia energética como mínima para la comercialización de refrigeradores domésticos y conforme pasan los años entre el 2013 y 2014 con la resolución SE 682/2013 se estableció que el estándar mínimo de eficiencia energética

deben ser de clase B para poder ser comercializados, tanto para refrigeradores como para congeladores como se puede ver en la tabla 1[12].

	Clase de eficiencia energética mínima	Fecha de implementación
Refrigeradores	B	06/11/2013
Congeladores	B	01/04/2014

Tabla 1: Estándares de Eficiencia Energética Mínima. **Tomado de:** [13]



Figura 1: Etiqueta energética Argentina. **Tomado de:** [14]

Tomando en cuenta la situación antes de la implementación de los estándares de eficiencia energética, la gran mayoría de hogares poseen algún tipo de refrigerador de uso doméstico y su consumo energético representa un valor significativo en la planilla ya que los refrigeradores existentes en su gran mayoría llevan alrededor de 10 años de funcionamiento con un consumo energético en refrigeradores con congelador estimado en 848 kWh/año, mientras que el de los refrigeradores sin congelador tienen un consumo de 635 kWh/año. Obteniendo un consumo medio de 740 kWh/año. De igual manera el consumo de los hogares se estimaba a 2300 kWh/año con lo que se pudo determinar que el 32% del consumo total de energía eléctrica corresponde al consumo del refrigerador[13].

Durante la implementación en el año 2007 del Programa Nacional De Uso Racional y Eficiente de la Energía, se certificaron 226 modelos de refrigeradores mediante el Instituto Argentino de normalización y certificación que ha certificado al 95% del mercado de refrigeradores y congeladores[15], los resultados de estas certificaciones con

los estándares de eficiencia energética en la clase B se puede ver en la figura 2 que se obtuvieron resultados positivos con aumentos de la eficiencia[14].

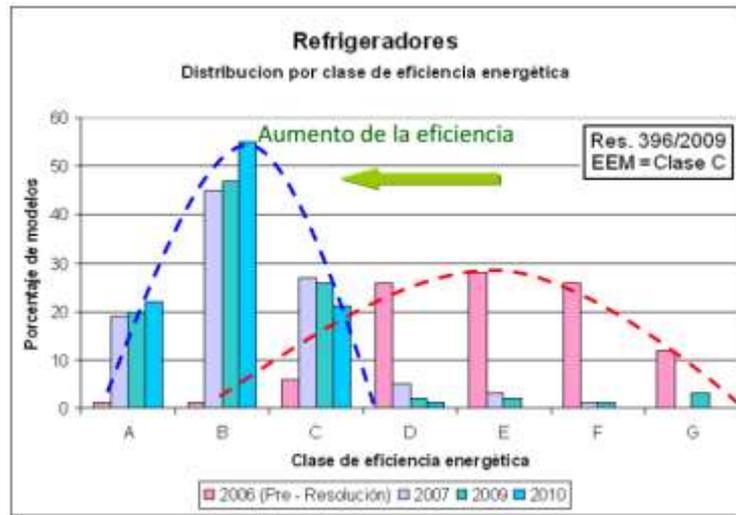


Figura 2: Resultados del etiquetado energético. Tomado de :[14]

En la figura 3 se puede observar la evolución del consumo energético en refrigeradores, refrigeradores con congelador y congeladores. La disminución en el consumo kWh/año bajo aproximadamente en 200 kWh/año en los primeros años de la implementación de los programas de etiquetado que maneja el gobierno de turno con tendencia a mantener un consumo de energía bajo por los próximos años[15], [14].

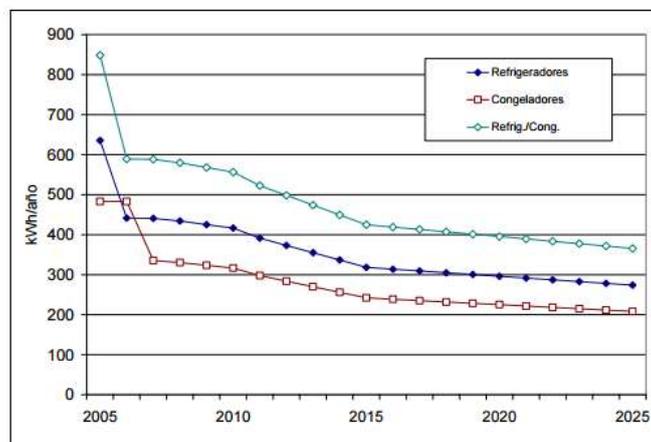


Figura 3: Consumo energético en refrigeradores congeladores. Tomado de :[14]

La Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente (ASADES), establece que la implementación de estándares de eficiencia energética que incluyen el etiquetado y la incorporación de nuevas tecnologías en los refrigeradores domésticos llevándonos a un ahorro de energía al 2020 de entre 2.5 a 3.9 TWh/año con una reducción en la demanda de la potencia de entre 274 y 528 MW y disminuyendo la emisión de gases de CO₂ de 9100 a 14200 Gg para dicho año [7], las reformas en el

etiquetado influyen en la industria y fabricantes de refrigeradores encaminándolos a una etapa de investigación e implementación de nuevas tecnologías obteniendo resultados positivos para las empresa y para los consumidores que ahorraran grandes cantidades de dinero.

4.2.1.3 Fabricantes de refrigeradores domésticos y tecnología utilizada.

En la República de Argentina se comercializan refrigeradores de marca nacional como GAFA y refrigeradores de marca internacional con ensamblado nacional como; MABE, HACEB, KELVINATOR, también tienen la comercialización de refrigeradores importados de las principales marcas mundiales como LG, SAMSUNG, GENERAL ELECTRIC, WHIRLPOOL.

4.2.1.3.1 Empresa Argentina GAFA.

FRIMENTAL S.A. Con su marca Gafa es una empresa argentina establecida desde 1982 que se orientó a la industrialización de máquinas y equipos frigoríficos, en corto tiempo se posicionó en el mercado nacional con productos de excelente calidad como uno de los principales referentes nacionales en equipos de baja temperatura.

Entre los equipos que fabrican se encuentra refrigeradores, heladeras, lavadoras, freezer y exhibidores verticales. Siendo productos que cumplen las normas políticas de calidad establecidas por las entidades nacionales como IRAM (Instituto Argentino de Normalización y Certificación) para las etiquetas energéticas y los requisitos de la norma ISO9001:2008 [16].

4.2.1.3.1.1 Refrigerador tipo Top mount fabricado por GAFA.



Figura 4: Refrigerador modelo HGF357AW Tomado de :[17]

Los refrigeradores domésticos a nivel nacional más vendidos son los tipo "top mount" o de dos puertas (congelador arriba, y refrigerador abajo) con los siguientes datos técnicos.

MODELOS	HGF357AW	HGF367AW	HGF377AW	HGF387AW
Volumen bruto	276 lts	329 lts	310 lts	364 lts

Alto	1433 mm	1618 mm	1618 mm	1803mm
Ancho	609 mm	609 mm	609 mm	609 mm
Fondo	615 mm	615 mm	615 mm	615 mm
Peso neto	47,9 Kg	50,6 Kg	50,6 Kg	56,3 Kg
Temperatura Freezer	-18°C	-18°C	-18°C	-18°C

Tabla 2: Datos Técnicos de Refrigeradores GAFA. **Tomado de:**[17]

4.2.1.3.1.2 Componentes del refrigerador.

Este refrigerador posee los siguientes elementos:

- Compresor hermético de tipo reciprocante Embraco fullmotion ¼ HP (220V a 50 Hz)
- Condensador de serpentín y aletas de disipación, tipo de condensador por aire
- Evaporador de tubo y placas
- Tubo capilar marca BOWA
- Refrigerante R134a
- Controlador mediante termostato analógico
- Aislante de espuma de poliuretano rígida con agente soplante HCFC-141b

Los refrigeradores GAFA poseen etiqueta energética tipo B para los modelos HGNF260 y HGNF300, y etiqueta energética tipo A para los modelos HGF357AW, HGF367AW, HGF377AW, HGF387AW cumpliendo con todos los estándares para la comercialización nacional [16] [17].

4.2.2 Análisis de la situación actual de la República De Brasil.

4.2.2.1 Programas de eficiencia energética en la República De Brasil.

Para el caso de Brasil a incursado en la parte de la Eficiencia Energética desde el año 1984 con la política del Programa Brasileño de Etiquetado (PBE), como se puede observar en la figura 5 vamos a enumerar las diferentes políticas desde 1984 hasta la actualidad.

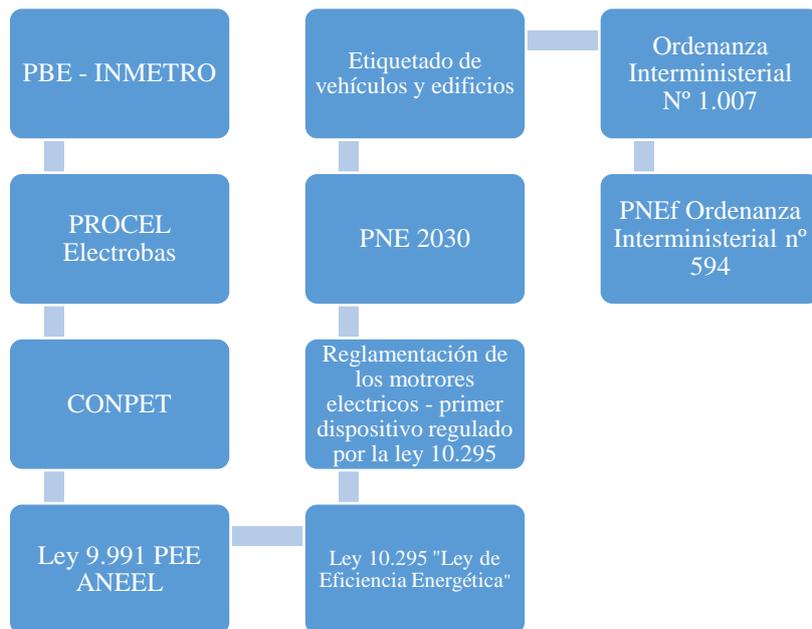


Figura 5: Políticas de Eficiencia Energética 1984-2011 Tomado de : [18]

Programa Brasileño de Etiquetado (PBE).

Este programa es coordinado por el Instituto Nacional de Metrología, Calidad y Tecnología (INMETRO), aportando con datos de consumo de eficiencia energética de los electrodomésticos que se venden en el mercado nacional, para ello este programa examina los datos técnicos de cada aparato para ver que producto es el más eficiente, otorgando como resultado una clasificación de Etiqueta Nacional de Conservación de Energía (ENCE) siendo “A” (más eficiente) hasta la “E” (menos eficiente) [18].

Programa Nacional de Conservación de Energía Eléctrica (PROCEL).

El objetivo del programa creado en diciembre de 1985 es promover la racionalización de la producción y del consumo de energía eléctrica, dando como resultado una reducción en los costos, en las inversiones sectoriales, uso eficiente y promulgando leyes que fomenten la eficiencia energética[19].

Sello PROCEL

Tiene como objetivo orientar a los consumidores en la compra de dispositivos indicando los productos con los mejores niveles de eficiencia energética y estos refrigeradores domésticos son premiados con el Procel, y se caracterizan por la banda “A”[18].

Ley 9.991/2000

Con esta ley se obliga a invertir en la investigación y desarrollo en eficiencia eléctrica, implementándose en empresas concesionarias, permisionarias y autorizadas de la rama de la eficiencia eléctrica, con esta ley se contabiliza más de 3000 millones de reales en inversiones realizadas o por realizar y se logró economizar 3930 GWh en 2012[18].

Programa de Eficiencia Energética de la ANEEL (PEE)

Esta ley es consecuencia de la Ley 9.991/2000, el programa de eficiencia eléctrica de las concesionarias del servicio público de electricidad representan actualmente la mayor

inversión del Brasil, fomentando el uso racional de la energía eléctrica y la sustitución de aparatos, capacitando y educando en los diferentes proyectos que se evalúan[19].

Ley 10.295/2001 (Ley de Eficiencia Energética)

Con esta ley se dispone fijar valores máximos de consumo específico de energía o mínimos de las máquinas y aparatos que consumen energía eléctrica que se fabrican en el país, con referencia a los correspondientes indicadores técnicos. Estos valores se fijan de acuerdo a criterios de viabilidad técnica y económica, teniendo en cuenta la vida útil de las máquinas y los aparatos eléctricos[18].

Legislación Específica	Aparatos y máquinas reglamentados
Ordenanzas interministeriales N° 553/2005 y N° 238/2009	Motores eléctricos trifásicos de inducción con rotor del tipo de jaula de ardilla
Ordenanzas interministeriales N° 132/2006 y N° 1.008/2010	Lámparas fluorescentes compactas
Ordenanzas interministeriales N° 362/2007 y N° 326/2011	Refrigeradores y congeladores
Ordenanzas interministeriales N° 363/2007 y N° 325/2011	Cocina y cocina a gas
Ordenanzas interministeriales N° 364/2007, N° 323/2011 y N° 324/2011	Aparatos de acondicionamiento de aire
Ordenanzas interministerial N° 298/2008	Calentadores de agua y de gas
Ordenanzas interministerial N° 959/2010	Reactancias electromagnéticas para lámparas de vapor de sodio de alta presión y de vapor metálico (halógeno)
Ordenanzas interministerial N° 1.007/2010	Lámparas incandescentes

Tabla 3: Disposiciones reglamentarias de la ley de eficiencia energética. **Tomado de :** [18]

Plan Nacional de Energía 2030 (PNE)

El gobierno brasileño con esta ley establece el primer documento oficial de planificación energética integral promulgado por el gobierno, en el cual se fijan metas de eficiencia energética de largo plazo para todo el país[7].

BNDES: Fondo de Aval para ESCOS (PROESCO) y PROCOPA

El PROESCO fue creado en 2006 por el BNDES y financia proyectos que contribuyen a alcanzar economías de energía en diversas áreas de usos finales como: iluminación, motores, racionalización de procesos, aire comprimido, bombeo, aire acondicionado y ventilación, refrigeración y enfriamiento, etc[19].

4.2.2.2 Normativa y certificación.

Por una falta de inversión en el sistema nacional de interconexión, Brasil sufrió una crisis en el sector eléctrico en el año 2001 – 2002, esto dio como resultado una reducción del 20% del consumo energético en los estados del país, por lo tanto sufre una paralización en la inversión nacional y extranjera[18].

Esta crisis da como resultado la creación de programas de control y políticas de estado en cuanto a eficiencia energética y consumo de energía.

De los programas de control de eficiencia y con el respaldo del Instituto Nacional de Metrología, Normalización y Calidad Industrial (INMETRO) se deriva el Programa Brasileño de Etiquetado (PBE), este programa consiste en etiquetar todos los aparatos electrónicos que se comercialicen en el país, dando información del consumo energético y ahorro que se puede obtener al utilizar este producto y como resultado se obtiene un ranking donde se otorga la letra “A” al aparato más eficiente hasta la letra “E” siendo el más bajo de esta lista, en esta lista consta de 38 categorías de productos[18].

En la figura 6 vamos a observar el formato que se emplea en refrigeradores domésticos otorgada por el PBE.

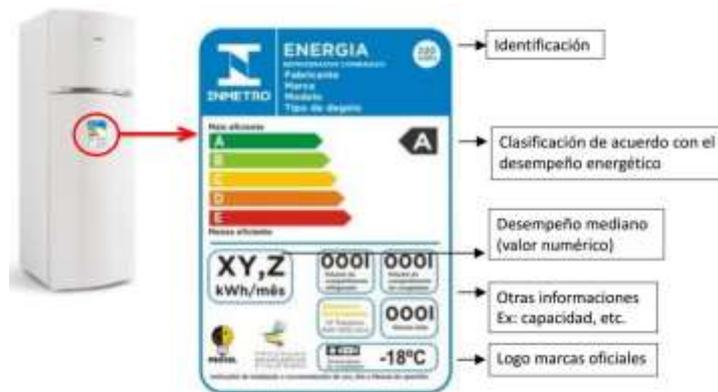


Figura 6: Etiqueta de un refrigerador doméstico. **Tomado de:** [20]

Otro programa que se implementó en el país fue el Programa Nacional de Conservación de la Energía Eléctrica (PROCEL) creado en diciembre del 1985, para el año de 1991 se ampliaron sus responsabilidades y así se transformó en un programa obligatorio en el gobierno, para el caso del PROCEL esta entidad otorga un sello a los aparatos eléctricos que reducen los gastos innecesarios de energía como se puede observar en la figura 7 tenemos un refrigerador domestico con el sello de garantía de eficiencia energética más su respectiva etiqueta[20].



Figura 7: Sello PROCEL **Tomado de:** [20]

Para el 2006 gracias al sello PROCEL se sumaron más de 1565 unidades de alrededor de 79 fabricantes, podemos observar cómo evolucionó la entrega de sellos en la figura 8 [20].

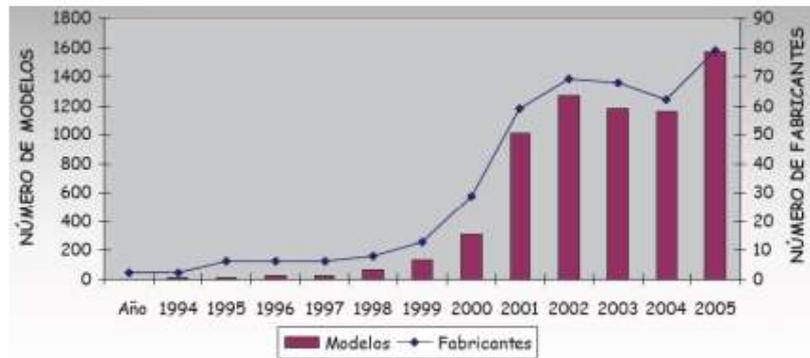


Figura 8: Evolución de cantidades de productos a la venta con sello PROCEL Tomado de [20]

Con la aplicación del sello PROCEL en los refrigeradores de uso doméstico, se puede notar una eficiencia energética y un ahorro eléctrico del 36% como podemos observar en la figura 9 [21].

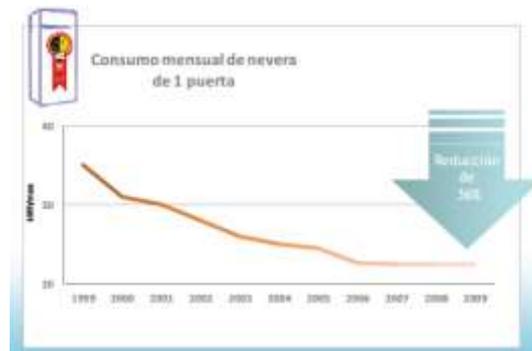


Figura 9: Reducción del consumo eléctrico con el sello PROCEL Tomado de: [21]

4.2.2.3 Fabricante de refrigeradores domésticos y tecnología utilizada.

En Brasil se tienen en el mercado de refrigeradores domésticos la marca nacional como ESMALTEC, refrigeradores de marca internacional con ensamblado nacional como: MABE, DAKO, GENERAL ELECTRIC, y por último la comercialización de refrigeradores importados de las principales marcas mundiales como: WHIRLPOOL, ELECTROLUX, LG y SAMSUNG.

4.2.2.3.1 Empresa Brasileña ESMALTEC

Esta empresa inicia en marzo de 1984 con el nombre de Tecno mecánica ESMALTEC Ltda., que en sus inicios se dedicó a la construcción de cocinas domésticas y recipientes de GLP y ahora cambiando razón social a la construcción de electrodomésticos de línea blanca, ya que al pasar el tiempo ha ido evolucionando y se ha posesionado a nivel nacional como uno de los referentes por sus productos de excelente calidad.

En el caso de la refrigeración domestica esta empresa cumple con las políticas de las entidades nacional en la eficiencia eléctrica dadas por INMETRO teniendo un bajo consumo de energía con la clasificación “A” en todos sus productos [22].

4.2.2.3.2 Refrigerador tipo top mount fabricado por ESMALTEC

Para el caso de Brasil los refrigeradores domésticos más vendidos son los del tipo “Top Mount” o más conocidos como los de 2 puertas (congelador arriba y refrigerador abajo) y tienen los siguientes datos técnicos.



Figura 10: Refrigerador modelo RDC 38 Tomado de : [22]

Modelo	RCD34 inox	RCD38 inox
Largura	54 cm	59,5 cm
Profundidad	66 cm	65 cm
Altura	157,3 cm	172,4 cm
Peso bruto	44 Kg	54 Kg
Volumen total	276 lts	306 lts

Tabla 4: Datos técnicos refrigeradores ESMALTEC. Tomado de :[22]

4.2.2.3.3 Componentes del refrigerador ESMALTEC.

En este modelo en particular constan los siguientes elementos:

- Compresor hermético de tipo recíprocante Embraco VEG 1/6
- El condensador es del tipo serpentín y placas de disipación y es condensado por aire.
- Evaporador de tubo y placas.
- Válvula de expansión TB-1 0,8Kw @ R134a -40°C a +10°C
- Refrigerante R134a.
- Controlador mediante un termostato digital
- Aislante de espuma de poliuretano rígida HCFC-141b

Para los refrigeradores de la marca ESMALTEC en sus modelos RCD34 y RCD 38, poseen una etiqueta energética tipo “A” así, cumpliendo con los estándares que pide la entidad de control (INMETRO) [22], [23].

4.2.3 Análisis de la situación actual de la República De Chile.

4.2.3.1 Programas de eficiencia energética en la República de Chile

En la República de Chile los programas y políticas de eficiencia energética empezaron entre el año 2005 y 2007 con la implementación de varias medidas y programas que podemos ver en la figura 11.



Figura 11: Programas de eficiencia energética. Tomado de : [24]

En el año 2005 el ministerio de economía de Chile emprendió el primer programa de eficiencia energética con el Programa País de Eficiencia Energética (PPEE) de la Comisión Nacional de Energía (CNE)[25], en el 2007 se crea la ANESCO Chile (La Asociación Nacional de Empresas de Eficiencia Energética) una asociación de empresas que prestan servicios de productos y soluciones de eficiencia energética formando parte el programa de Energías Limpias de Fundación Chile y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Como la expansión del sistema eléctrico, el calentamiento global y un crecimiento en la demanda energética, entre otros factores, han incidido en la necesidad de establecer soluciones vinculadas al mejoramiento de la eficiencia energética y así en el año 2010 se impulsó el Plan de Acción de Eficiencia Energética que tiene como principales objetivos establece pilares sobre los cuales asentar una estrategia para el uso eficiente de la energía. Para ese entonces el desarrollo y consumo energético aumentó de 122% en consumo de energía entre 1991 y 2011, y según el ministerio de energía el consumo eléctrico del país podría crecer entre 5,5% y 6,5 % anual hasta el año 2020 teniendo como meta la disminución del 12 % en el consumo de la demanda energética del sector privado hasta el 2020 [25], [26].

Actualmente el organismo encargado de proponer planes y políticas de eficiencia energética es el Ministerio de Energía, este organismo ha venido implementando diferentes programas que ayudan con la producción y consumo de energía en todos los sectores energéticos del país, como son: sector industrial, minería, sector comercial público y residencial, sector transporte, sector de energía y etiquetado energético.

4.2.3.2 Normativa y certificación.

En la República de Chile en busca de obtener un consumo eficiente de energía se ha realizado un reglamento MEPS (estándares mínimos de eficiencia) mediante un

sistema de etiquetado, dependiendo el consumo de energía, este reglamento se aplica a productos a gas como calefones y cocinas, lavadoras, refrigeradores, congeladores, lámparas incandescentes, microondas, motores de hasta 10 hp, televisores, decodificadores, aire acondicionados. Teniendo una etiqueta igual a la del resto de países, a continuación se puede observar en la figura 12 una etiqueta de un refrigerador congelador.

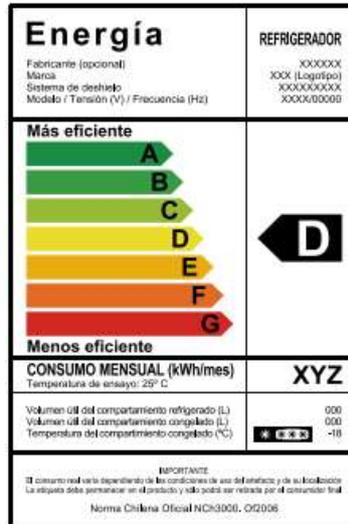


Figura 12: Etiqueta energética Tomado de : [27]

En varios estudios realizados por el ministerio de energía desde el 2005 se ha determinado que el refrigerador doméstico es el artefacto que consume más energía en los hogares, en la siguiente figura 13 se puede observar que el refrigerador consume más del 30% de energía eléctrica [28].

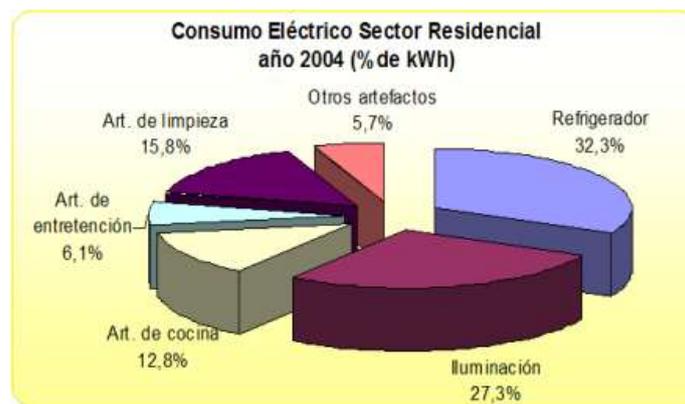


Figura 13: Consumo energético en el sector residencial chileno. Tomado de [28]

Desde el 2005 y con la implementación de los programas de eficiencia energética, mejorar la eficiencia es un tema primordial para avanzar en políticas de sustentabilidad, por lo que se implementaron normas a equipos de refrigeración (refrigeradores, congeladores y refrigeradores-congeladores), la norma oficial NCH3000.Of2006 establece la clasificación energética dependiendo del consumo en kWh/año, dando paso a la comercialización de equipos con certificación A++, A+, A y B siendo los equipos

de clasificación "A" la gran mayoría que se encuentran a la venta. La figura 14 nos muestra un avance en la comercialización de estos equipos hasta el año 2012 [28].

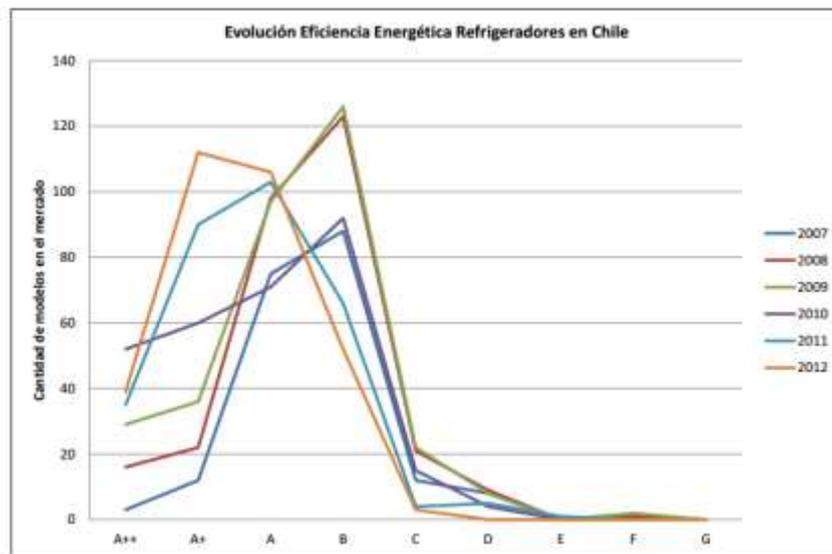


Figura 14: comercialización de equipos etiquetados en el mercado Tomado de : [28]

La Norma chilena considera varios factores para seleccionar su etiqueta energética, las principales variables que utiliza son las siguientes:

- Peso del artefacto en el consumo energético en las viviendas.
- Normas internacionales
- Disponibilidad de nuevas tecnologías en el mercado
- Proyección de futuras ventas
- Ciclo de vida

Con la comercialización de equipos certificados y en clase de bajo consumo energético, el impacto a nivel de país es el siguiente:

- Ahorros en la generación de energía
- Ahorros de energía primaria
- Reducción de emisiones
- Beneficios nacionales del consumidor
- Capacidad de generación evitada.

Existiendo aun equipos con alto consumo de energía esto se convierte en tu tema relevante para las industrias contemplando el cambio e implementación de nuevas tecnologías en reemplazo a las obsoletas, de esta manera teniendo en el mercado y en la industria solo equipos de categoría A o B [28].

4.2.3.3 Fabricantes de refrigeradores domésticos y tecnologías utilizadas.

4.2.3.3.1 Empresa chilena MADEMESA.

MADEMESA es una marca chilena que fabrica productos de línea blanca, destinados a mejorar la calidad de vida de las personas, con todas las reformas y programas

energéticos del país MADEMSA generó productos más confiables y eficientes con más del 80 % de productos fabricados en el mismo país [29].

En el año 2011 MADEMSA fue adquirida por la empresa ELECTROLUX, líder mundial en productos de línea blanca, esta adquisición dio beneficios tecnológicos a la empresa ya que sus refrigeradores tipo top mount pasaron de la categoría "A" a "A+" siendo este uno de los refrigeradores más comercializados a nivel nacional.



Figura 15: Refrigerador modelo ALTUS 970 **Fuente:** [30]

4.2.3.3.2 Refrigerador tipo top mount fabricado por MADEMSA

Los refrigeradores domésticos a nivel nacional más vendidos son el tipo "top mount" o de dos puertas (congelador arriba, y refrigerador abajo) con los siguientes datos técnicos:

- Consumo energía: 29 kWh/mes
- Clasificación energética: A+
- 4 estrellas (-18 °C en freezer).
- Capacidad de congelamiento: 4,5 kg/24h.
- Capacidad neta total: 401 lts.
- Capacidad neta freezer: 113 lts.
- Capacidad neta gabinete: 288 lts.
- Características Físicas:
 - Color: INOX
 - Peso: 68,3 kg.
- Dimensiones:
 - Alto: 1.759 mm
 - Ancho: 707 mm
 - Fondo: 700 mm.

4.2.3.3.3 Componentes del refrigerador MADEMSA

Este refrigerador posee los siguientes elementos:

- Compresor hermético de tipo recíprocante Embraco FULLMOTION ¼ hp.
- Condensador de serpentín y aletas de disipación, tipo de condensador por aire
- Evaporador de tubo y placas
- Tubo capilar 0,8
- Refrigerante R600a
- Controlador mediante termostato y sistema Airflow

Los refrigeradores MADEMSA poseen etiqueta tipo A y A+ para los modelos ALTUS INOX cumpliendo con todos los estándares establecidos por la norma NCH3000.Of2006 que se puede ver en la parte inferior de la etiqueta

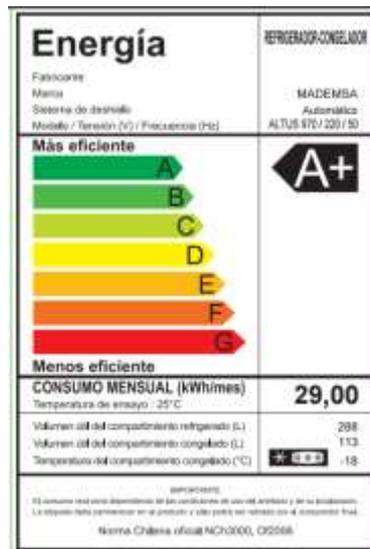


Figura 16: Etiqueta energética MADEMSA Tomado de : [30]

4.2.4 Análisis de la situación actual de la República de Ecuador.

4.2.4.1 Programas de eficiencia energética en Ecuador.

En la República de Ecuador, dentro del sector residencial, el consumo de energía eléctrica se encuentra repartido en 49% en iluminación y un 46% en equipos electrodomésticos. Por razón que se implementaron programas de reemplazo de las bombillas incandescentes por bombillas led y la sustitución de equipos ineficientes, en el caso de refrigeradores domésticos con el "Programa para la Renovación de Equipos de Consumo Energético Ineficiente – Proyecto N° 1 Sustitución de Refrigeradoras ineficientes " que tiene como objetivo reemplazar a nivel nacional 330.000 refrigeradores de consumo ineficiente con más de 10 año de uso por otras de alta eficiencia, centrando este programa en los refrigeradores más comercializados que son los tipo top mount de un volumen de enfriamiento de entre 280 y 340 litros consumos estimados de 200 kWh/mes [31].

Una vez logrado este objetivo de la sustitución de 330000 unidades se espera obtener un ahorro de 215.780 MWh/año con un ahorro económico de \$26'972.550,00 considerando

un costo de energía de 12,5 cUSD/kW, hasta abril del 2014 se han sustituido 28.251 refrigeradores a nivel nacional, podemos ver el avance del programa en la figura 17.

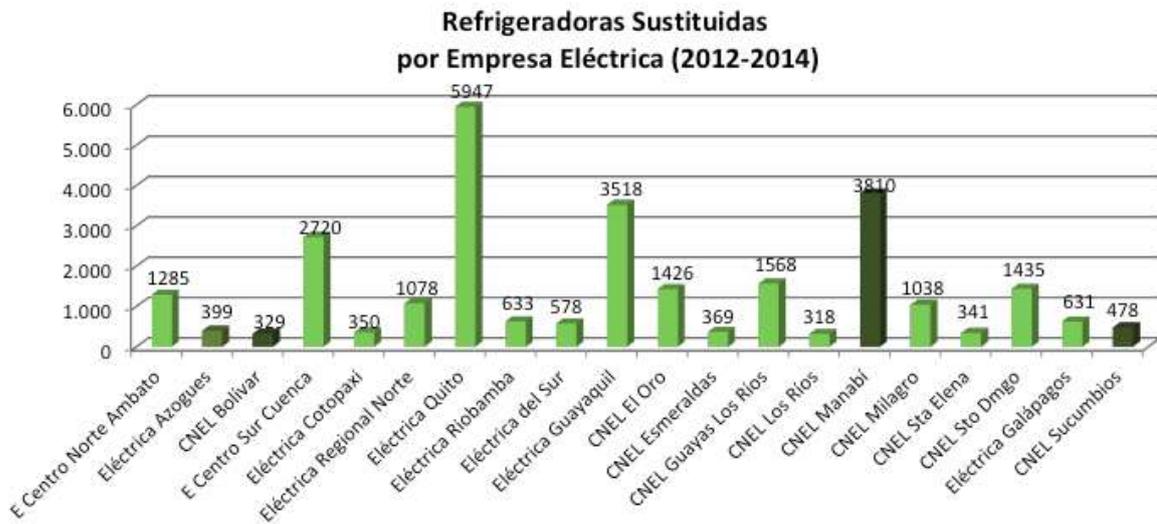


Figura 17: Refrigeradores sustituidos 2014 Tomado de: [31]

La sustitución de refrigeradores ineficientes da un impacto positivo en la economía familiar generando un ahorro de entre \$6 y \$8 mensuales y además beneficia al estado ecuatoriano [31]. Los refrigeradores nuevos deberán tener un etiquetado energético que de la suficiente información a los consumidores para saber cuándo un producto cumple con los más altos niveles de eficiencia energética [32].

4.2.4.2 Normativa y certificación energética.

El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) decreto el Distintivo de Máxima Eficiencia Energética (DMEE) a través de un acuerdo en febrero del 2017 en el cual el Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE) participó en el comité técnico operativo para la formulación del distintivo. El DMEE tiene como objetivo incentivar a productores e importadores a introducir equipos eléctricos eficientes que deberán ser certificados y acreditados por laboratorios designados [32].

En el transcurso del año 2017, el distintivo se aplicará inicialmente a refrigeradores y congeladores de uso doméstico [32]. El ministerio de electricidad y Energía renovable conjuntamente con el INEN Y COMEX han trabajado en normas para promover el uso eficiente de equipos eficientes, y en el caso de refrigeradores domésticos se ha obtenido las siguientes normativas obligatorias:

RTE INEN 035 eficiencia energética en artefactos de refrigeración de uso doméstico a partir de marzo del 2011 se permite únicamente la comercialización de aparatos con rango energético A [33].

Resolución COMEXI 596: los artefactos de refrigeración proveniente de otros países por medio de importación serán sujetos a controles previos a la importación [33].



Figura 18: Etiqueta energética en Ecuador **Tomado de:** [33]

El producto ecuatoriano posee características similares a la tecnología de los refrigeradores de Colombia y Venezuela con la certificación de la norma ISO 9001, convirtiéndolo en un producto con la competencia para ingresar al mercado internacional en la cual los consumidores pueden encontrar diferencias notables en cuanto a la calidad del producto [34].

4.2.4.3 Fabricantes de refrigeradores domésticos y tecnología utilizada.

En Ecuador existen varias ensambladoras de equipos de línea blanca como: MABE, ELECTROLUX, INDURAMA siendo este último un producto de la empresa de INDUBLOG, una fábrica nacional con la capacidad de producir equipos para comercio local como internacional.

4.2.4.3.1.1 Empresa ecuatoriana INDUBLOG

Es una empresa ecuatoriana ubicada en el austro del país desde 1972 siendo los líderes nacionales con su línea de productos INDURAMA, esta empresa cumple todos los estándares de eficiencia energética con varias certificaciones: INEN, ISO 5001, SART, BASC 4, ISO IEC 17025 [35].

4.2.4.3.2 Refrigerador tipo top mount fabricado por INDURAMA

Los refrigeradores domésticos a nivel nacional más vendidos son los tipo "top mount" o de dos puertas (congelador arriba, y refrigerador abajo) con los siguientes datos técnicos



Figura 19: Refrigerador modelo ri-580cr **Tomado de :** [35]

4.2.4.3.3 Componentes del refrigerador

Este refrigerador posee los siguientes elementos:

- Compresor hermético de tipo recíprocante Embraco FULLMOTION VEG
- Condensador de serpentín y aletas de disipación, tipo de condensador por aire
- Evaporador de tubo y placas
- Tubo capilar BOWA 0,9Kw
- Refrigerante R134a
- Controlador mediante termostato.
- Aislante de espuma de poliuretano rígida HCFC-141b

4.2.5 Análisis de la situación actual de la República De Colombia.

4.2.5.1 Programas de eficiencia energética en la República de Colombia.

En el caso de Colombia varía dependiendo con el país que se le compare, tanto a nivel del impulso y permanencia de políticas públicas del ahorro de la energía eléctrica, en la siguiente figura podemos observar el consumo final de energía per cápita en los países de Latinoamérica [36].

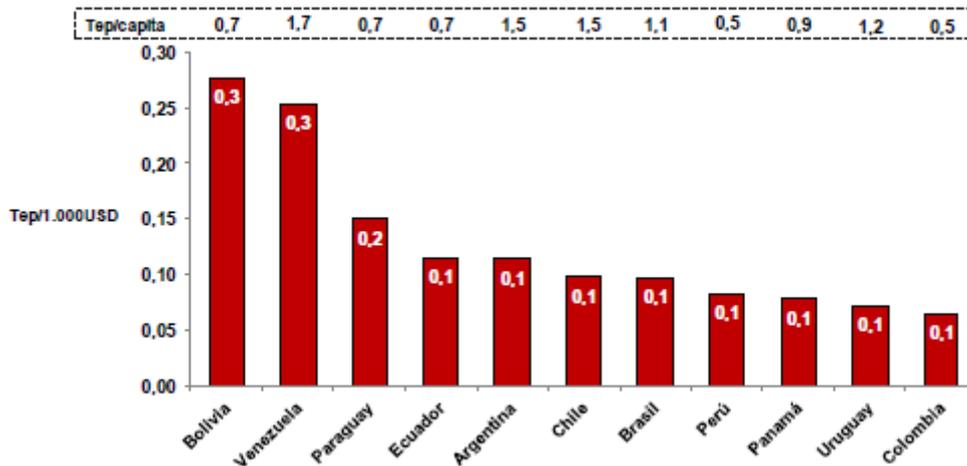


Figura 20: Intensidad energética y consumo per cápita por país **Tomado de :** [36]

Como podemos observar en la figura 20 en toda la región existen oportunidades claras para el desarrollo de programas para el ahorro de la energía eléctrica, sin embargo falta el incentivo correcto para la ejecución y que estos programas estén el tiempo correcto para desarrollarlos [36].

4.2.5.2 Normativa y certificación energética.

En el caso de Colombia, tenemos la ley 607 de 2001 que se crea el programa de uso racional y eficiente de la energía y demás formas de energías no convencionales PROURE, así estableciéndose como el inicio del ahorro energético, también se adoptan metas ambientales mediante decretos que son: 2532 de 2001, decreto 3172 del 2003 y decreto 2501 del 2007 [37].

Dependiendo del sector en el que se quiera hacer el ahorro energético y tener una eficiencia energética se implementaron programas con características propias, en el caso del sector residencial se tiene las siguientes características de consumo energético[37].

- Alto consumo de electricidad en refrigeración, equipos ineficientes y con fallas de funcionamiento.

Una de las normas que rigen en Colombia nos da el Organismo Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) y hace referencia al Decreto 2269 de 1993 para artefactos refrigeradores y refrigeradores domésticos son las siguientes.

- NTC 2078, Artefactos refrigeradores domésticos con o sin compartimiento de baja temperatura.
- NTC 4097, Artefactos refrigeradores sin escarcha para uso doméstico. Refrigeradores con compartimiento para congelar alimentos o almacenar alimentos congelados y congeladores de alimentos que utilizan circulación de aire forzada.
- NTC 4298, Artefactos domésticos para almacenamiento de alimentos congelados y congeladores domésticos de alimentos.

- NTC 4371, Artefactos refrigeradores domésticos. Refrigeradores con compartimiento congelador [7].

Otra alternativa se dio a conocer en el año 2015 con el Reglamento Técnico de Etiquetado Energético (RETIQ), con este reglamento empieza un proceso de ahorro de energía ya que gracias a la etiqueta los consumidores van a poder observar cuanto consume cada equipo de refrigeración doméstica, acondicionadores de aire y otros productos nacionales e importados que se comercializan en el país.

Este reglamento por el momento se encuentra en trámite porque la etiqueta que se propone en Colombia tiene un límite inferior que funciona como un estándar mínimo de eficiencia energética, este parámetro viene como “Ahorro Relativo (Ar)” donde la referencia de consumo corresponde a equipos convencionales, este valor se obtiene como la razón entre la diferencia de consumo de energía eléctrica entre el equipo equivalente convencional de referencia y el equipo bajo ensayo, respecto del consumo del equipo de referencia como se puede observar en la tabla 5[37].

AHORRO RELATIVO AR (%)	RANGO DE EFICIENCIA ENERGETICA
AR>78	A
78>AR>67	B
67>AR>56	C
56>AR>45	D
45>AR>25	E
25>AR>50	F
5>AR >-10	G

Tabla 5: Rango de eficiencia energética **Tomado de :** [37]

Y se calcula de la siguiente manera:

$$Ar = \frac{(SC\alpha - AC)}{SC\alpha} * 100 (\%) \quad (1)$$

Donde:

- AC: Consumo de energía anual del refrigerador, determinado en un periodo de prueba de 24 horas * 334 días, todas estas medidas son tomadas en un laboratorio.
- SC α : Consumo de energía anual normalizado del aparato usado como referencia.

En este caso la categoría “A” en Colombia equivale a A+++ de Europa y la categoría “G” equivale a la categoría “E” en Chile [37].

4.2.5.3 Fabricantes de refrigeradores domésticos y tecnología utilizada.

4.2.5.3.1 Empresa HACEB.

Colombia cuenta con un mercado muy variado en lo que respecta a refrigeradores domésticos, es por eso que como marca líder nacional tiene a HACEB entre otras y del mercado internacional importa las mejores marcas entre ellas LG, WHIRLPOOL,

MABE, SAMSUNG entre otras, para este caso de estudio nos vamos a enfocar en la marca líder del mercado nacional HACEB.

Esta empresa Colombiana cuenta con más de 7 décadas de creación y su principal función es la construcción de productos de cocción, refrigeración, lavado, calentamiento de agua y aire acondicionado, respetando y cuidando el medio ambiente. Su infraestructura cuenta con un complejo industrial donde se encuentra dividido en el área de refrigeración y por otra parte la de calefacción, siendo estas certificadas internacionalmente a través de la norma ISO 14001 de Gestión Ambiental, ISO 9001 de Calidad y OHSAS 180001 de salud y seguridad, gracias a estas certificaciones ha sido líder en ventas a nivel nacional[37].

De acuerdo al Reglamento Técnico de Etiquetado Energético HACEB cumple con la norma en todos sus productos de refrigeración domestica teniendo así una eficiencia energética alta y un consumo bajo con una calificación “A” y “B” en sus productos [38].

4.2.5.3.2 Refrigerador tipo top mount fabricado por HACEB.



Figura 21: Nevera HIMALAYA 375 SE DA TI Tomado de : [38]

En Colombia los refrigeradores domésticos más vendidos son del modelo “Top Mount” (Congelador arriba y refrigerador abajo), para el caso de la compañía HACEB vamos a analizar uno de sus productos más vendidos como podemos observar en la figura 21, este tipo de refrigerador cuenta con una etiqueta de energía que nos brinda el fabricante que es la siguiente:



Figura 22: Etiqueta energética nevera HIMALAYA 375 SE DA TI Tomado de : [38]

Como podemos observar en la figura 22 este tipo de refrigerador tiene una calificación “A”, es decir es más eficiente eléctricamente y por lo tanto tiene un menor consumo energético cumpliendo así la norma impuesta por el Reglamento Técnico de Etiquetado Energético.

Para marca HACEB tiene una gran variedad de refrigeradores, en la siguiente tabla vamos a observar sus modelos con las diferentes medidas.

Dimensiones Generales (Sin Empaque)	Dimensiones por Modelo					
	N220L/ N22L	N240L/ N252L	N272L	N292L/ N300L	N375L/ N420L	N430L/ N440L
Alto (cm)	147	159	168	176	172	185
Ancho (cm)	61	61	61	61	70	70
Profundidad (cm)	69	69	69	69	73	73
Peso (kg)	47.6	51.28	52.66	53.32	66.24	68.17

Tabla 6: Datos técnicos refrigeradores Top Mount Tomado de: [39]

4.2.5.3.3 Componentes del refrigerador

En este modelo en particular constan los siguientes elementos:

- Compresor hermético de tipo recíprocante Embraco ¼ hp.
- El condensador es del tipo serpentín y placas de disipación y es condensado por aire.
- Evaporador de tubo y placas.
- Tubo capilar
- Refrigerante R600a.
- Controlador mediante una tarjeta electrónica.
- Aislante de espuma de poliuretano rígida HCFC-141b

HACEB en su línea de refrigeradores HIMALAYA tiene etiquetas “A”, es decir cumple con la norma de Reglamento Técnico de Etiquetado Energético [38], [39].

4.2.6 Análisis de la situación actual de la República Bolivariana de Venezuela.

4.2.6.1 Programas de eficiencia energética en Venezuela.

En el año 2007 la República Bolivariana de Venezuela creó una entidad denominada CORPOELEC con el objetivo de realizar actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización de potencia y energía eléctrica. siendo una empresa eléctrica adscrita al ministerio del Poder Popular de Energía Eléctrica[40] desde sus inicios CORPOELEC ha desarrollado estrategias y programas para promover el uso racional y eficiente de energía eléctrica, a fin de mejorar la calidad de vida, generar ahorros en el consumo energético y preservar el medio ambiente [41].

Con el programa de Uso Racional y Eficiente de la Eficiente de Energía y con el Plan Banda Verde se logró reducir la demanda de energía eléctrica de 7,1% entre el 2012 y 2013 a 1,7% entre el 2013 y 2014. En el cual se redujo las emisiones de gases tóxicos con el reemplazo de refrigerantes a base de tetrafluoroetano (R134a) y equipos ineficientes con consumos energéticos elevados [41].

Con los programas establecidos y en el año 2014 entro en vigencia un reglamento técnico para el etiquetado energético muy similar a las normativas ecuatorianas y colombianas.

4.2.6.2 Normativa y certificación energética.

La normativa aplicada nos indica que todos los aparatos de refrigeración doméstica y cuyo sistema de enfriamiento utilice un moto-compresor hermético deben tener colocada una etiqueta de energía para su comercialización, en la etiqueta se identifica la clase de eficiencia para el aparato siendo los clase “A” los más eficientes, la normativa permite la comercialización a los aparatos que poseen clasificación energética entre clase “A” y “C”.

La entidad destinada para la certificación de los aparatos es la SENCAMER, dicha entidad realiza los ensayos de control de calidad con el fin de garantizar un producto eficiente y amigable con el medio ambiente, en la siguiente figura podemos observar la etiqueta utilizada en los aparatos de refrigeración domestica [42].

4.2.6.3 Fabricantes de refrigeradores domésticos y tecnología utilizada.

La demanda de refrigeradores domésticos en Venezuela es de aproximadamente 425000 unidades y con una producción local de 300000, al no tener cubierta la demanda los principales importadores son Ecuador y Colombia ya que sus productos tienen normativas y certificaciones similares[34].

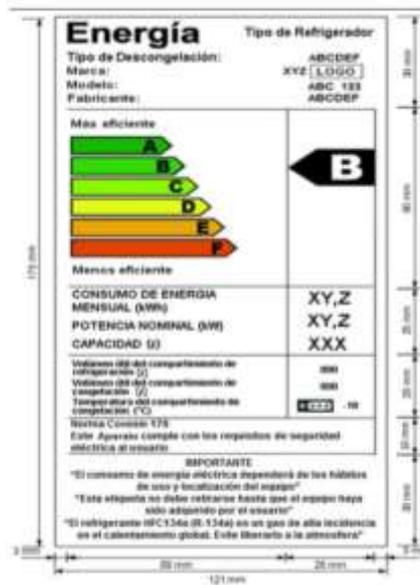


Figura 23: Etiqueta energética usada en Venezuela. Tomado de:[41]

4.2.6.3.1 Empresa CYBERLUX.

Cybelux es una empresa de Venezuela que cuenta con la ensambladora más grande del país, la cual ha desarrollado fuertes lazos y relaciones comerciales con compañías internacionales con el fin de mejorar la calidad y la innovación, principalmente en el motor para brindar una tecnología avanzada [43].

Ensamblar con los más altos estándares de tecnología y calidad en los electrodomésticos teniendo aparataos con clasificación energética en clase "A" y "B" teniendo al refrigerador tipo topmount como uno de sus productos de refrigeración más vendidos [44].

4.2.6.3.2 Refrigerador tipo top mount fabricado por CYBERLUX.



Figura 24: Nevera nfr-585s. Tomado de:[44]

4.2.6.3.3 Componentes del refrigerador.

Este refrigerador posee los siguientes elementos:

- un compresor hermético de tipo recíprocante EMERSON
- condensador tipo de condensador por aire
- Evaporador de tubo y placas
- válvula de expansión
- Refrigerante R134a
- Controlador mediante termostato.
- Aislante de espuma de poliuretano rígida HCFC-141b

4.2.7 Análisis de la situación actual de los Estados Unidos Mexicanos.

4.2.7.1 Programas de eficiencia energética en México.

En México el consumo eléctrico en el sector residencial los refrigeradores domésticos y la iluminación ocupan aproximadamente un 70% del consumo total de energía eléctrica en ese sector, y es por eso es necesario tener normas de eficiencia energética para reducir los consumos, en la figura 25 podemos observar el consumo energético por aparato [45].

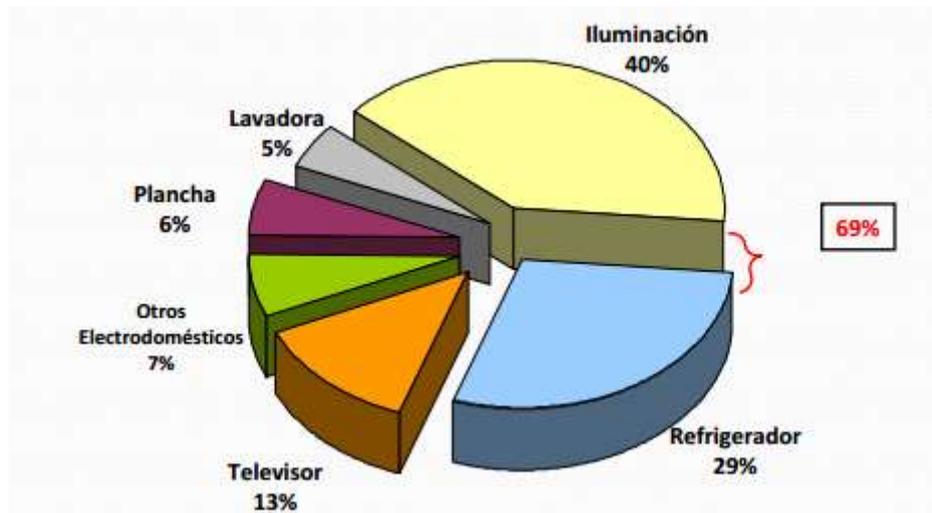


Figura 25: Consumo de electricidad por aparato Tomado de: [45]

Para el etiquetado en las refrigeradoras de uso doméstico la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (Conuee) da a conocer 8 puntos importantes para poder leerla de una manera eficiente y así poder tener el mayor ahorro energético como podemos observar en la figura 26 [46].



Figura 26: Partes de la etiqueta energética **Tomado de:** [46]

1 Nombre de la etiqueta, los refrigeradores eficientes la tienen en un lugar visible y asegura que el equipo que se adquiere tiene incorporada la nueva tecnología que hace posible ahorrar energía y, por supuesto, ahorros visibles en su facturación eléctrica.

2 Es el valor que se mide en el refrigerador para determinar su eficiencia energética, en este caso consumo de energía eléctrica (kWh).

3 Es la Norma Oficial Mexicana (NOM) de Eficiencia Energética, NOM-015-ENER-2002 Eficiencia energética de refrigeradores y congeladores electrodomésticos. Límites, métodos de prueba y etiquetado, elaborada por la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE).

4 Son las características o datos generales del refrigerador que se va a adquirir, para este caso se tiene una capacidad para 425 dm³ de volumen de almacenamiento, es refrigerador–congelador y operación automática.

5 Es el consumo máximo de energía eléctrica que se le permite a un refrigerador de estas características en un año (kWh/año), lo anterior se encuentra definido en la norma.

6 Es el consumo de energía eléctrica promedio en un año (kWh/año), determinado en un laboratorio de pruebas acreditado. Este valor debe ser menor o igual al máximo establecido en la Norma, entre menor sea menos energía consume el equipo.

7 Es el porcentaje de ahorro de energía adicional que este equipo ofrece en comparación con el máximo permitido por la norma, en este caso, el consumo de energía es 13% menor al establecido.

8 Consideraciones importantes para la compra un refrigerador [46].

4.2.7.2 Normativa y certificación energética.

Desde el año de 1995 en México se implementan normas de eficiencia energética (MEPS), siendo así que se han creado 21 normas oficiales mexicanas de eficiencia aplicándose en los diferentes aparatos y equipos que consumen energía que se comercializan en todo el país, México utiliza un programa del Departamento de Energía (DOE) de los EEUU para así poder normalizar, etiquetar u homologar los diferentes tipos de aparatos eléctricos que se encuentran en el país [47].

La primera norma en aplicar en el país fue NOM – 072 – SCFI – 1994, esta fue creada para empezar a utilizar los estándares del DOE para los refrigeradores domésticos en 1995, luego se emplea la norma NOM – 015 – ENER – 1997 para que esta sea revisada por el DOE y así poder regular los MEPS de refrigeradores en mayo del 2003. [47]

La última norma aplicada en México es la NOM – 015 – ENER – 2002, donde el del DOE publico una notificación de propuesta regulatoria para los refrigeradores y congeladores domésticos que entra en vigencia en enero del 2014 [47].

4.2.7.3 Fabricantes de refrigeradores domésticos y tecnología utilizada.

4.2.7.3.1 Empresa MABE

México cuenta con un mercado muy grande en cuanto a los refrigeradores domésticos ya que ellos exportan al mercado de los Estados Unidos teniendo como marca nacional líder a MABE.

Es una empresa establecida en México desde el año de 1946 y lidera las ventas en Latinoamérica con 10 millones de unidades al año y exportando alrededor de 70 países, en 2003 recibe el “Premio Nacional de Tecnología” por aportar al medio ambiente y sus productos son energéticamente eficientes, es por esto que MABE impulsa la iniciativa U4E de las Naciones Unidas fomentando la eficiencia energética y gracias a esto es que los productos de MABE tienen una etiqueta “A” o “A+” en sus refrigeradores de uso doméstico, en cuanto al refrigerante usan el R – 134a porque el país es uno de los máximos productores de este refrigerante y también porque la mayor exportación va a los Estados Unidos donde se utiliza este compuesto [48].

4.2.7.3.2 Refrigerador tipo top mount fabricado por MABE

Como podemos observar en la figura 27 este es el modelo más vendido en el mercado de México, este refrigerador tiene una etiqueta “A” siendo eficientemente energético y con un consumo de energía eléctrica muy bajo.



Figura 27: Refrigerador automático 368.77 l Silver Mabe - RME1436YMXSO Tomado de: [49]

Este modelo de refrigerador tiene las siguientes características [49]:

- Ancho: 68cm
- Alto: 72 cm
- Profundidad: 70.6 cm
- Peso: 63 kg
- Tipo de control: Perilla.
- Estilo: 2 Puertas
- Capacidad: 368.77 L
- Iluminación: Incandescente.
- Display: No
- Garantía: 1 año

Todas estas características se encuentran en el manual de usuario [50].

4.2.7.3.3 Componentes del refrigerador.

En este modelo en particular constan los siguientes elementos:

- Compresor hermético de tipo recíprocante embraco ¼ hp
- El condensador es del tipo serpiente y es condensado por aire.
- Evaporador de tubo y placas.
- Válvula de expansión.
- Refrigerante R 134 a.
- Controlador mediante un termostato.
- Aislante de espuma de poliuretano rígida.

4.2.8 Análisis de la situación actual de la República del Perú.

4.2.8.1 Programas de eficiencia energética en Perú.

En la República del Perú las energías renovables y la eficiencia energética son controladas por el Ministerio de Energía y Minas (MINEM), teniendo la función de formular y evaluar las políticas, planes en el ahorro energético [19].

En el periodo de 1995 – 2001 comienza en el país una regulación en el ahorro energético ya que para ese periodo por la escases del petróleo el país tuvo un déficit de alrededor del 10% [51].

En el año 2010 se crea la Dirección General de Eficiencia Energética (DGEE) que se encarga de promover el uso eficiente de la energía, también es el encargado de evaluar los planes y normativas que se dicten el país [51].

4.2.8.2 Normativa y certificación energética.

La Ley N° 27345 fue establecida el 08 de septiembre del 2000 presentándose en la figura 28, esta ley de Promoción del Uso Eficiente de la Energía, que declara esta actividad de interés nacional para asegurar el suministro de energía, proteger al consumidor, fomentar la competitividad de la economía nacional y reducir el impacto ambiental negativo del uso de los energéticos. Esta ley designa al Ministerio de Energía y Minas como la autoridad competente, con atribuciones para [51]:

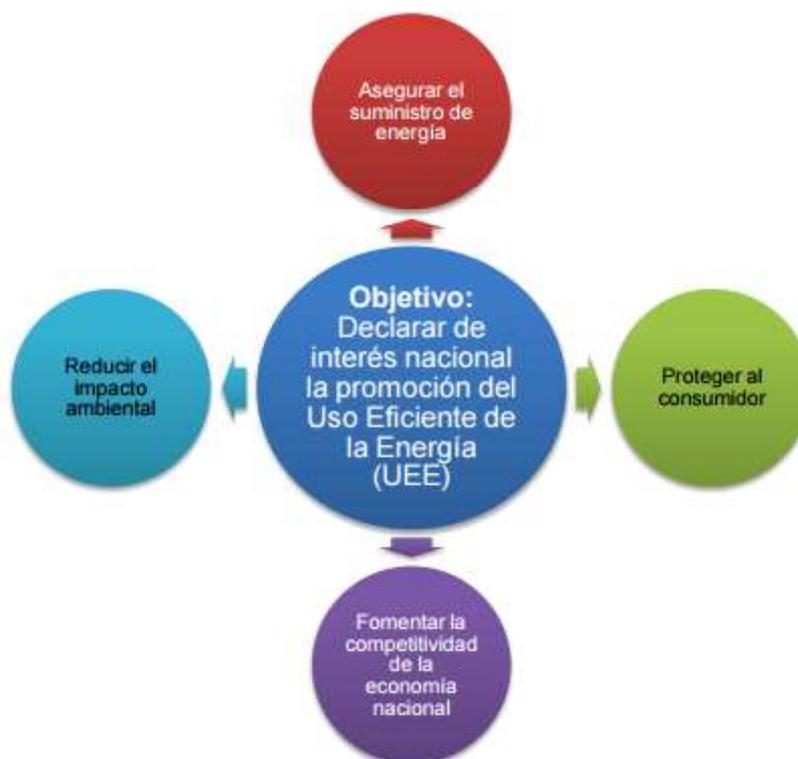


Figura 28: Objetivo de la Ley N° 27345 Tomado de: [52]

La Política Energética Nacional del Perú 2010 - 2040, aprobado oficialmente con Decreto Supremo N° 064-2010-EM en el que se señala que el primer objetivo es contar

con una matriz energética diversificada, con énfasis en las fuentes renovables y la eficiencia energética [53].

Se tiene una Ley de Promoción del Uso Eficiente de la Energía promulgada el año 2000 y reglamentada el año 2007, que declara esta actividad de interés nacional para asegurar el suministro de energía, proteger al consumidor, fomentar la competitividad de la economía nacional y reducir el impacto ambiental negativo del uso de los energéticos. Esta ley designa al Ministerio de Energía y Minas como la autoridad competente con atribuciones para promover la creación de una cultura de uso racional de la energía; diseñar, auspiciar, coordinar, ejecutar programas y proyectos de EE, coordinar con los demás sectores y las entidades públicas y privadas el desarrollo de políticas de uso eficiente de la energía, entre otros [53].

Tenemos normas técnicas de eficiencia energética para los principales equipos consumidores de energía de los sectores residencial, productivo y de servicios [53].

Se tiene un Plan Referencial de Uso Eficiente de la Energía (PREE) aprobado oficialmente para el periodo 2009-2018, que ha establecido como meta la reducción del 15% de la demanda de energía. Este documento menciona que los ahorros que pueden obtenerse ascenderían a US\$ 529 millones/año con inversiones de US\$ 67 millones/año [53].

En el año 2010 se creó la Dirección General de Eficiencia Energética, que es la encargada de implementar las acciones para el cumplimiento de la Ley de Promoción de Uso Eficiente de la Energía [53].

En el año 2009, el Ministerio de Energía y Minas aprobó el Plan Referencial del Uso Eficiente de la Energía 2009-2018 (PREE), mediante R.M N° 469-2009-EM/DM. En este documento se establecen acciones a desarrollar en los sectores residencial, industrial y servicios, estatal y transportes, con el objetivo de lograr ahorros de energía a nivel nacional. Los principales proyectos que se mencionan en este plan son los siguientes:

- Formación de una cultura de eficiencia energética en la población, para que mejore sus hábitos de consumo y utilice eficientemente la energía.
- Sustitución de un millón de cocinas tradicionales a leña por cocinas mejoradas o de gas.
- Sustitución de todos los focos incandescentes del país por focos ahorradores.
- Sustitución de cien mil calentadores de agua eléctricos por termas solares, para aprovechar este abundante recurso energético que tenemos en la mayor parte de nuestro territorio nacional [53].

Para la normalización de la etiqueta de eficiencia energética Perú cuenta con un Código de Buenas Prácticas para la Normalización ISO, acuerdos sobre obstáculos técnicos al comercio y la decisión 419 de la comunidad andina, Perú adopta la norma ISO 50001 para el etiquetado de diferentes aparatos que usan energía eléctrica [54].

Según el Comité Técnico de Normalización de Uso Racional de Energía y Eficiencia Energética se basa en el reglamento N° 1060/2010 para usar la etiqueta en los refrigeradores de uso doméstico utilizando un método de ensayo IEC 62552:2007 como se puede observar en la figura 29 [54].

ENERGIA	
Fabricante	XYZ
Modelo	XYZ
Tipo de Artefacto	Refrigerador
Más eficiente (Menor consumo) 	B
Menos eficiente (Mayor consumo) Consumo de energía (kWh/año) El consumo es el resultado de las condiciones de uso del artefacto y su localización Consumo de energía específico (kWh/litro/año) Clase de clima Clasificación del compartimento de baja temperatura Volumen neto de alimentos fríos (litros) Volumen neto del congelador (litros) Ruido: dB(A) en 1 m	XYZ XYZ TROPICAL (T) B2 XYZ XYZ XYZ
Compare este producto con otros de similares características. Los resultados se obtienen aplicando los métodos de ensayo descritos en las Normas Técnicas Peruanas e Internacionales correspondientes. Esta etiqueta no debe retirarse del artefacto hasta que este haya sido adquirido por el consumidor final.	Entidad Certificadora

Figura 29: Etiqueta de Eficiencia Energética Tomado de: [54]

4.2.8.3 Fabricantes de refrigeradores domésticos y tecnología utilizada.

4.2.8.3.1 Empresa COLDEX

Es una empresa peruana fundada en el año de 1964 con el nombre COLDEX S.A, para el año de 1996 Bosch – Siemens Hausgerate adquieren al control accionario de la empresa iniciando así una nueva era en la construcción de refrigeradores domésticos, en el año 2013 lanza una línea de refrigeradores CoolStyle, este modelo usa el refrigerante R 600a y además tiene un bajo consumo eléctrico teniendo una clasificación “A” [55].

4.2.8.3.2 Refrigerador tipo top mount fabricado por COLDEX



Figura 30: Refrigeradora Coldex 395N Steel Tomado de: [56]

Este modelo de es el más vendido en Perú, ya que cuenta con muchos beneficios para el consumidor porque tiene una calificación “A” en su etiqueta energética también usa el refrigerante R 600 a y su control de temperatura es digital [57].

- Capacidad bruta total: 371 L
- Gas R600a, 100% ecológica
- Clase A de eficiencia energética, medido bajo norma Europea
- Panel electrónico digital con 5 temperaturas exactas en el congelador (-16, -18, -20, -22, -24°C
- Función Súper Frío: hasta -30°C con desactivación automática
- Alarma sonora y visual de puerta abierta
- Función Weekend: Ahorro de energía
- Preparado para todos los climas
- Función AirFlowStop
- Sistema Multiflujo de aire en el conservador y en el congelador
- Ice Twister removible
- Preparado para todos los climas
- Medidas referenciales: Ancho 70cm / Alto 175cm / Profundidad 69cm.

4.2.8.3.3 Componentes del refrigerador

En este modelo en particular constan los siguientes elementos:

- Compresor hermético de tipo recíprocante 1/6hp
- El condensador es del tipo serpentín es condensado por aire.
- Evaporador de tubo y placas.
- Válvula de expansión.
- Refrigerante R 600 a.
- Controlador mediante un panel electrónico digital.
- Aislante de espuma de poliuretano rígida ciclo pentano

4.3 Análisis comparativo de las tecnologías utilizadas en refrigeración doméstica en Latinoamérica, en base al consumo energético.

A continuación se presenta el análisis comparativo de las diferentes tecnologías con el fin de determinar las variables tecnológicas que influyan directamente y provoquen un mayor consumo energético. La comparación se efectuará entre los refrigeradores más comúnmente vendidos en nuestro medio, que de acuerdo con la información recabada, son los refrigeradores de tipo top mount, con capacidades de almacenamiento menores (a 200 a 300 litros) o 10 pies cúbicos.

Mediante un estudio comparativo de los principales componentes se procede a realizar un análisis del ciclo termodinámico de enfriamiento para determinar su rendimiento energético COP tanto de los refrigeradores que presenten mayor consumo energético como de los que presenten el menor consumo energético.

Con los refrigeradores que presenten el menor consumo energético se analizará la tecnología que poseen en base al análisis de sus principales componentes. Se debe tener en cuenta que la eficiencia energética depende también de otras variables externas, como el piso climático, la ubicación dentro del hogar y el uso adecuado del artefacto.

4.3.1 Tabla comparativa de refrigeradores top mount.

Recopilando la información del capítulo anterior se realizó la siguiente tabla en la cual podemos observar las principales características tecnológicas de un refrigerador doméstico. Los refrigeradores presentes son de similares características ya sea en volumen útil y tipo de refrigerador, que poseen congelador arriba (utilizando el 30% del volumen útil) y refrigerador abajo, además se incluyeron marcas líderes a nivel mundial como LG o SAMSUNG como referentes tecnológicos.

Marca	País	Tipo	Modelo	Clase Energética	Tipo Compresor	Refrigerante	Aislante Térmico	Controlador	Voltaje	Consumo Energético Anual
GAFA	Argentina	Top mount	HGNF357AW	A	Reciprocante	R134a	HCFC-141b	Termostato	220 v	355 kWh/año
LG	Internacional (corea del sur)	Top mount	GT32WPP	A+	Lineal	R600a	C-pentano	Tecnología inverter	127 v - 220v	320 kWh/año
KELVINATOR	Internacional (EEUU)	Top mount	KTB2802WA	A	Reciprocante	R134a		Flex storm	127v	-
SAMSUNG	Internacional (corea del sur)	Top mount	RT46K6531SL/	A+	Lineal	R600a	C-pentano	Digital inverter technology	127v-220v	323 kWh/año
ESMALTEC	Brasil	Top mount	RCD 38	A	Reciprocante	R134a	HCFC-141b	Termostato	127 v	359 kWh/año
MADEMSA	Chile	Top mount	ALTUS 970	A+	Reciprocante	R600a		Termostato y sistema airflow	220 v	348 kWh/año
INDURAMA	Ecuador	Top mount	RI-580CR	A	Reciprocante	R134a	HCFC-141b	Termostato	127 v	345 kWh/año
CYBERLUX	Venezuela	Top mount	NFR-585S	A	Reciprocante	R134a		Termostato	127 v	-
HACEB	Colombia	Top mount	HIMALAYA 375 SE DA TI	A	Reciprocante	R600a	HCFC-141b	Tarjeta electrónica	127 v	343 kWh/año
MABE	México	Top mount	SILVER MABE - RME1436YM XSO	A	Reciprocante	R134a	HCFC-141b	Termostato	127 V	340 kWh/año
COLDEX	Perú	Top mount	395 N STEEL	A	Reciprocante	R600a		Tarjeta electrónica	220V	

Tabla 7: Especificaciones técnicas de refrigeradores Top Mount. **Adaptado de:** [17], [23], [30], [39], [44], [56], [58]–[62]

Comparando los valores de consumo energético, se puede establecer que la tecnología de LG y SAMSUNG son las más eficientes en comparación con los refrigeradores de producción ecuatoriana. Haciendo una revisión de la tabla 7, se puede afirmar que la tecnología de los refrigeradores domésticos fabricados en Latinoamérica prácticamente es la misma, esto se debe a que varios países han implementado programas de eficiencia energética similares, en los cuales se plantea la sustitución de equipos de refrigeración ineficientes (con más de 10 años) como la alternativa principal y no se apoya la incorporación de tecnologías eficientes a nivel industrial planteando incentivos para los fabricantes locales.

Para el análisis centramos la atención en los refrigeradores LG y SAMSUNG, para realizar el estudio separamos las variables que representan un cambio en la tecnología aplicada para determinar si son indicadores tecnológicos que influyen directamente en el consumo energético; en este caso el compresor lineal, el compresor recíprocante o alternativo, el refrigerante R600a, refrigerante R134a, el aislante térmico espuma rígida de poliuretano con agente soplante HCFC-141b y la espuma rígida de poliuretano con agente soplante ciclo pentano. Estas variables serán comparadas entre sí teniendo en cuenta sus propiedades mecánicas, químicas y termo físicas para determinar su importancia en el impacto energético.

En la tabla 8 se presenta las siguientes opciones con precios y consumo energético de los refrigeradores comercializados en Ecuador, tomando en cuenta la capacidad de 200 a 300 litros de almacenamiento y con mayor accesibilidad económica para el sector residencial.

MARCA	TIPO	COMPRESOR	MARCA COMPRESOR	REFRIGERANTE	PVP	CONSUMO ENERGETICO
SAMSUNG	TOP MOUNT	Lineal	SAMSUNG	R600a	619,99	323 kWh/año
LG	TOP MOUNT	Lineal	LG	R600a	679,99	320 kWh/año
MABE	TOP MOUNT	Recíprocante	EMBRACO	R134a	514,99	340 kWh/año
WHIRPOOL	TOP MOUNT	Recíprocante	EMBRACO	R600a	551,00	377 kWh/año
ELECTROLUX	TOP MOUNT	Recíprocante	EMBRACO	R134a	469,99	394 kWh/año
INDURAMA	TOP MOUNT	Recíprocante	EMBRACO	R134a	450,00	345,39 kWh/año
HACEB	TOP MOUNT	Recíprocante	EMBRACO	R134a	499,00	343 kWh/año
DUREX	TOP MOUNT	Recíprocante	EMBRACO	R134a	470,00	405,15 kWh/año

Tabla 8: Tabla comparativa entre precios y consumo energético. **Adaptada de:**[39], [49], [58], [60], [61], [63]

4.3.2 Análisis de las variables tecnológicas que influyen en el consumo energético con respecto a tecnologías más eficientes

La tecnología actual en nuestro medio no ha presentado avances en los últimos 6 años, sin embargo la industria ecuatoriana posee refrigeradores de clasificación "A" gracias a los programas de eficiencia energética que se implementaron años anteriores y principalmente al rendimiento de los compresores de marca Embraco que son los utilizados a nivel local, cabe resaltar que los avances tecnológicos alrededor del mundo

han sido muy significativos en lo que refiere al compresor logrando refrigeradores con etiquetado energético A+ y A++.

Para este análisis se va a tomar la tecnología de los refrigeradores A+ ya que esta se aplica en los top mount, y no la tecnología en los refrigeradores A++ ya que esta tecnología se aplica en los refrigeradores de gama alta siendo del tipo Side by Side o de doble puerta y a su vez siendo mucho más costoso en su mayoría de casos duplicando el precio de los refrigeradores top mount.

Los componentes tecnológicos que analizaremos de los refrigeradores locales se podrán encontrar en cualquier refrigerador del mundo ya que su principio es el mismo en cualquier parte, es decir, poseen el mismo ciclo termodinámico de enfriamiento (compresor-condensador –válvula de expansión- evaporador) como se observa en la figura 31, de los elementos del ciclo termodinámico se determinó como variables tecnológicas al compresor porque es el elemento principal y el que genera la energía para establecer el ciclo de enfriamiento.

Los refrigeradores en su gran mayoría posee, moto-compresor hermético de tipo recíprocante y el refrigerante R134a es utilizado como fluido del sistema. Estos dos elementos los consideramos los más importantes, ya que el compresor genera el consumo energético y el refrigerante es el fluido que circulará por el ciclo extrayendo el calor para generar el ambiente frío. Estas variables tecnológicas serán comparadas desde el punto de vista de la eficiencia con tecnologías similares y más avanzadas como el compresor lineal y el uso del refrigerante R600a como fluido de trabajo [64].

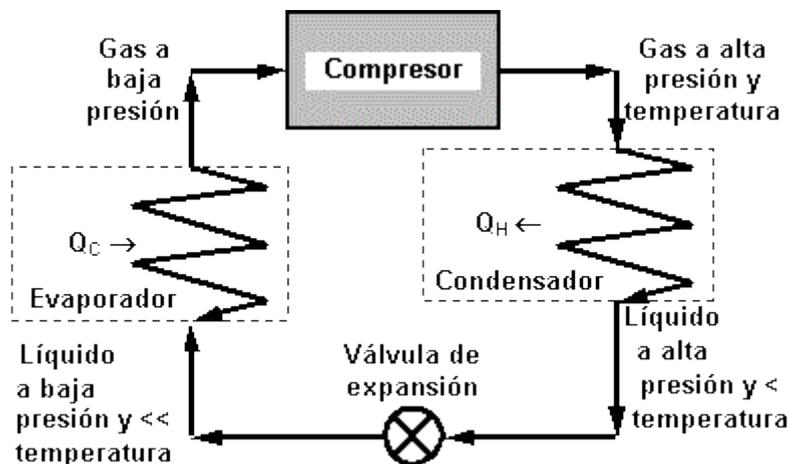


Figura 31: Ciclo termodinámico Tomado de [65]

Los componentes tecnológicos de los refrigeradores con etiqueta energética A+ en el tipo top mount, presentan el mismo principio termodinámico pero la tecnología de los componentes es distinta, tendiendo cambios en el tipo de compresor, otro tipo de refrigerante y pequeños cambios en los elementos como el condensador, el tipo de compresor que se utiliza en estos refrigeradores es un compresor lineal de alto rendimiento y el refrigerante R600a.

En la figura 32 se puede observar los principales componentes para el funcionamiento de un refrigerador top mount.

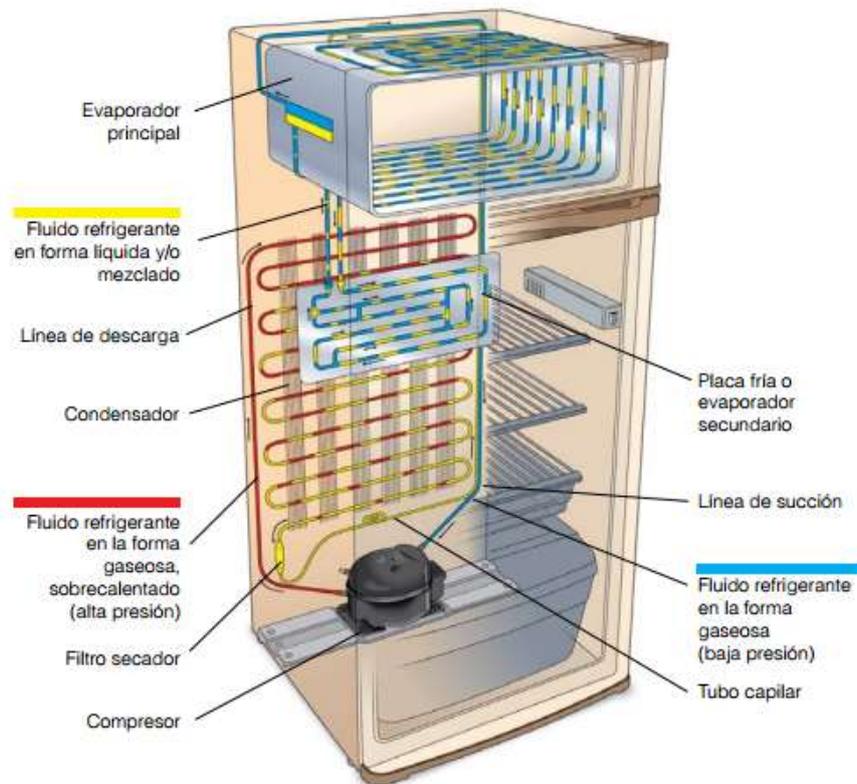


Figura 32: Principales componentes para el funcionamiento de un ciclo de refrigeración.
Tomado de:[66]

4.3.2.1 Análisis tecnológico del compresor

El compresor frigorífico es el elemento principal del ciclo de enfriamiento y se encarga de aumentar la presión del fluido refrigerante para asegurar la circulación por todo el sistema durante el ciclo termodinámico, también representa el mayor consumo energético ya que es el principal componente del equipo de refrigeración que consume energía eléctrica.

Para el análisis tecnológico del compresor se analizarán los dos tipos de compresores anteriormente mencionados: compresor reciprocante y compresor lineal, en el cual se calculará el coeficiente de rendimiento (COP) que se define como el cociente entre calor útil y el trabajo requerido. El calor útil es la potencia extraída del ambiente frío y el trabajo requerido es la energía que se necesita para realizarlo.

El valor numérico de COP suele ser mayor que uno y mientras mayor sea el valor numérico será mayor el rendimiento y por ende el ahorro energético, pero este valor posee un límite que se encuentra definido por una relación entre las temperaturas, misma que se definen como focos de temperatura, denominados foco frío y foco caliente. El proceso inicia con la extracción del calor desde el foco frío y hasta el foco caliente, a través de un trabajo desarrollado por el compresor, como se explica en la figura 33; de esta manera se obtiene la ecuación para calcular el COP [67].

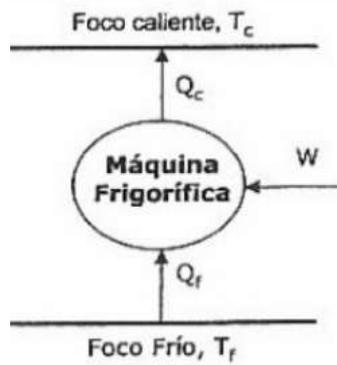


Figura 33: Máquina frigorífica Tomado de:[67]

$$COP = \frac{T_f}{T_c - T_f} \quad (2)$$

$$COP = \frac{T_f}{W_c} \quad (3)$$

Para determinar el rendimiento del ciclo de enfriamiento se debe tener claro el diagrama de flujo y el diagrama de presión- entalpia (figura 34). Se puede entender que desde el proceso 1 el compresor eleva la presión y la temperatura del fluido refrigerante hasta llegar al proceso 2, aquí con el fluido en estado gaseoso y sobrecalentado ingresa al condensador, en el cual se precipitará la temperatura del fluido manteniendo la presión constante por medio del intercambio de calor con el ambiente exterior, hasta llegar al proceso 3 en condiciones líquido saturado, del proceso 3 al 4 el refrigerante pasa por la válvula de expansión enfriándose mucho más debido a la disminución drástica de presión hasta llegar al proceso 5, en donde cambia su estado de líquido saturado a una mezcla mucho más fría; con el refrigerante en su temperatura mínima, ingresa al evaporador, donde absorbe el calor del ambiente interno del refrigerador hasta alcanzar la temperatura del proceso 1, donde el refrigerante se ha evaporado por completo para empezar de nuevo el ciclo termodinámico ejecutado por el compresor [67].

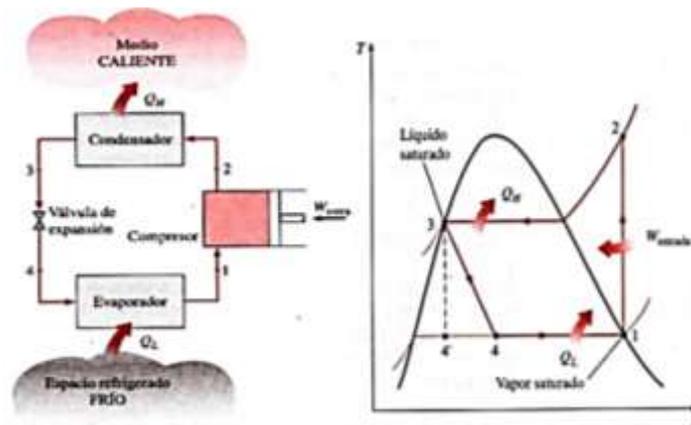


Figura 34: Ciclo de refrigeración ; diagrama de fluido y diagrama T-s Tomado de:[67]

Con el cumplimiento de este ciclo se garantiza que no exista un desgaste prematuro del compresor por presencia de gotas de líquido (refrigerante).

A continuación se analizará los tipos de compresores que se han seleccionado para la comparación.

A) Compresor recíprocante o alternativo.

El compresor utilizado para la refrigeración doméstica es de tipo hermético que tiene como ventajas que son silenciosos, no presentan fugas de refrigerante y se usan en ciclos de baja presión.

El compresor recíprocante o alternativo.- es el tipo de compresores que usan uno o más pistones para generar la compresión mediante la aspiración y compresión del fluido refrigerante, poseen varios elementos como válvulas de admisión y de descarga, la compresión del fluido se da en tres etapas; admisión, compresión y descarga del fluido comprimido (figura 35).

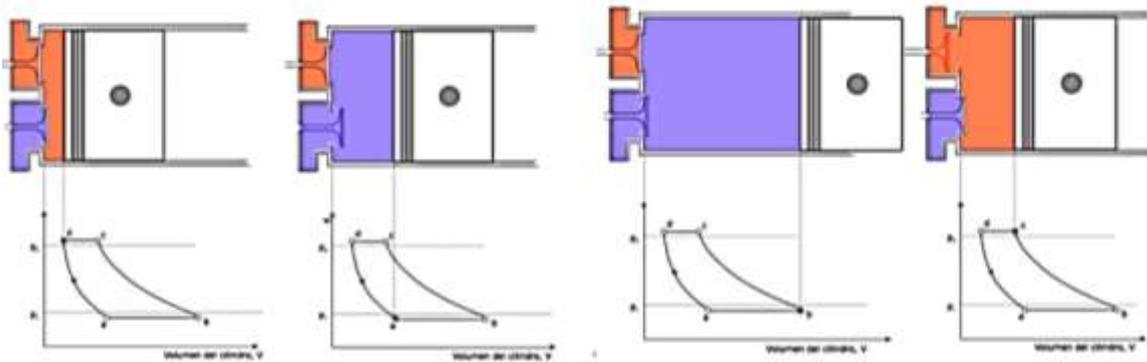


Figura 35: Etapas de compresión Tomada de:[67]

En la industria frigorífica los compresores alternativos del tipo hermético poseen un único pistón y varios elementos móviles como las válvulas de admisión y descarga, la biela y la manivela. Este tipo de compresor, al tener más componentes, contienen más piezas que generan fricción y con el tiempo un desgaste que llevará al compresor a disminuir su eficiencia de compresión, de igual manera al tener más piezas móviles necesita más energía para generar el trabajo requerido por el ciclo termodinámico, lo que incrementa el consumo energético del mismo.

Este tipo de compresores requiere un tubo enfriador de aceite para reducir la temperatura del compresor generada por la fricción de los elementos del mismo.

Para la refrigeración doméstica se utilizan compresores de bajo torque denominados LST (low starting torque) aplicados en refrigeradores, congeladores, mostradores comerciales, bebedores y enfriadores de líquidos, estos presentan temperatura bastante bajas, en rangos que varían de -25°C a -35°C , por lo que se clasifican como compresores de baja temperatura de evaporación LBP con temperaturas de -35°C a $+10^{\circ}\text{C}$ para congeladores y refrigeradores [66].

Para un refrigerador con este tipo compresor el consumo energético depende de la capacidad de volumen de almacenamiento del refrigerador, dada en litros. En la tabla 9 se puede observar el consumo energético para una matriz energética de 110-115 voltios. Para compresores Embraco en relación a su capacidad, también se pueden observar otros valores de capacidad que conjuntamente con los de 200 a 280 litros son los más comercializados a nivel local.

Capacidad en litros	Consumo mensual (kWh)	Consumo mensual (kWh)
280	25	300
310	28,1	337,2
360	31,5	378

Tabla 9: Consumo de compresores Embraco para refrigeradores domésticos **Tomado de:**[68]

El control del accionamiento del compresor se puede realizar de manera analógica con un sistema de termostato y control por perilla en los refrigeradores estándar, y para los refrigeradores más eficientes, manejan un sistema de control mediante PID para garantizar que la temperatura se mantenga lo más constante en la mayoría de los sectores del refrigerador.

El indicador tecnológico que se utilizará para el modelo dinámico será el compresor alternativo con una capacidad de 280 litros de procedencia brasileña de marca Embraco siendo el modelo FULLMOTION que combina atributos de valor para el consumidor final, como el bajo nivel de ruido, amplio rango de voltaje y eficiencia del refrigerador [69].

Avances tecnológicos en compresores Embraco

En mayo del 2017 se presentó el nuevo compresor Embraco WISEMOTION, que ofrece notables mejoras con respecto al reciprocante, siendo el único compresor sin aceite del mercado, con un 20% más eficiente que el compresor FULLMOTION, además de un diseño más pequeño con una altura de 10,6 cm (figura 36), lo que significa que libera casi 20 litros de espacio para el almacenamiento del artefacto [70].

Los avances tecnológicos que han tenido estos compresores han sido notables en las mejoras de su eficiencia teniendo valores de rendimiento COP más altos además de generar menos ruido en aproximadamente 10 dB, en comparación con los compresores convencionales.

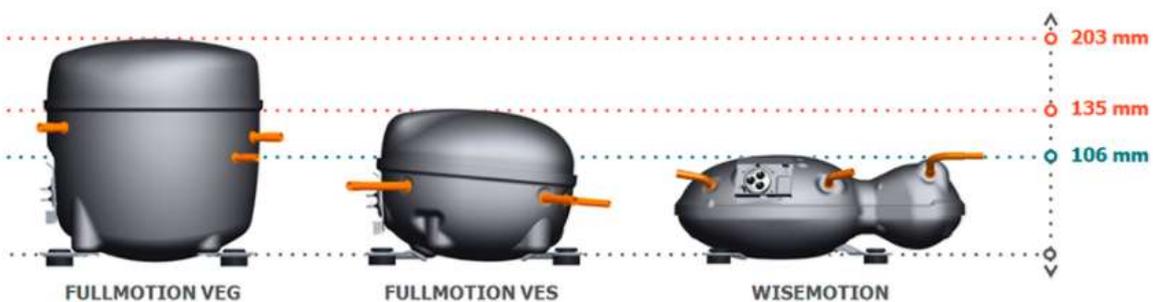


Figura 36: Evolución de los compresores Embraco **Tomado de:**[70]

El compresor WISEMOTION es un ahorrador de energía siendo un elemento de eficiencia superior al comparar el COP con respecto a sus antecesores como se puede observar en la figura 37, se prevé desarrollos futuros que lo va convertir en el mejor, ya que cumple con todas las regulaciones de eficiencia energética y está diseñado para usarlo con refrigerante R600a, este tipo de compresores estará a la venta a finales del 2017 [70].

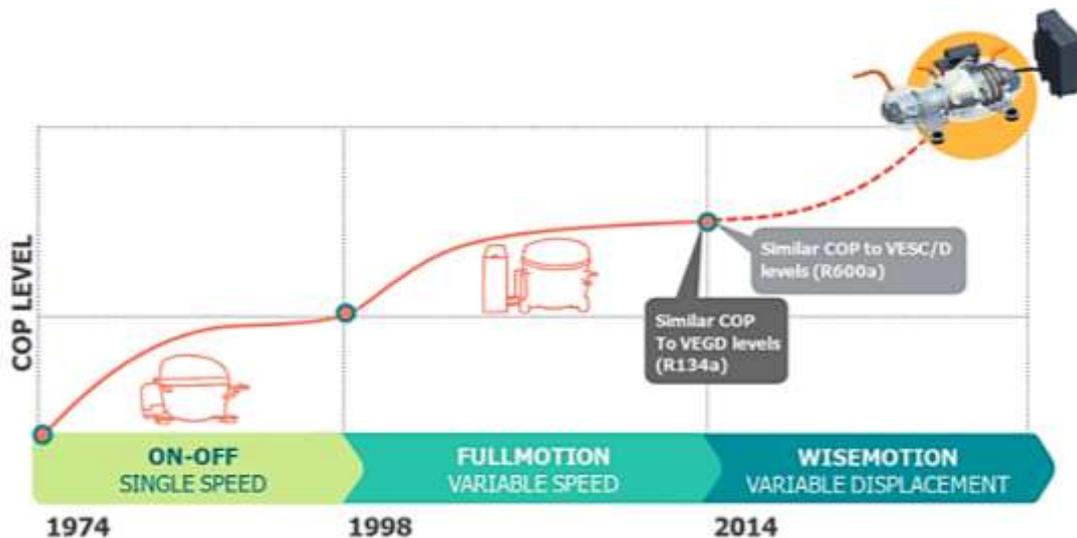


Figura 37: comparaciones del rendimiento de compresores embraco **Tomado de:**[70]

A diferencia de los compresores convencionales, que requieren una operación ON/OFF para mantener una temperatura media, los compresores WISEMOTION mediante su sistema de control puede funcionar en una gama más amplia de capacidades de modulación, inclusive pueden mantenerse funcionando sin parar para evitar variaciones de temperatura [70]. En la figura 38 se puede ver la línea de control de WISEMOTION (representada en tono azul), este sistema utiliza un control PID para el control de la temperatura, además sensores de termocuplas distribuidos estratégicamente en el refrigerador, es así que se tiene como resultado un sistema óptimo en el cual no hay picos en el arranque del compresor y no hay variaciones en la temperatura sin importar que la puerta este abierta por un corto periodo de tiempo.

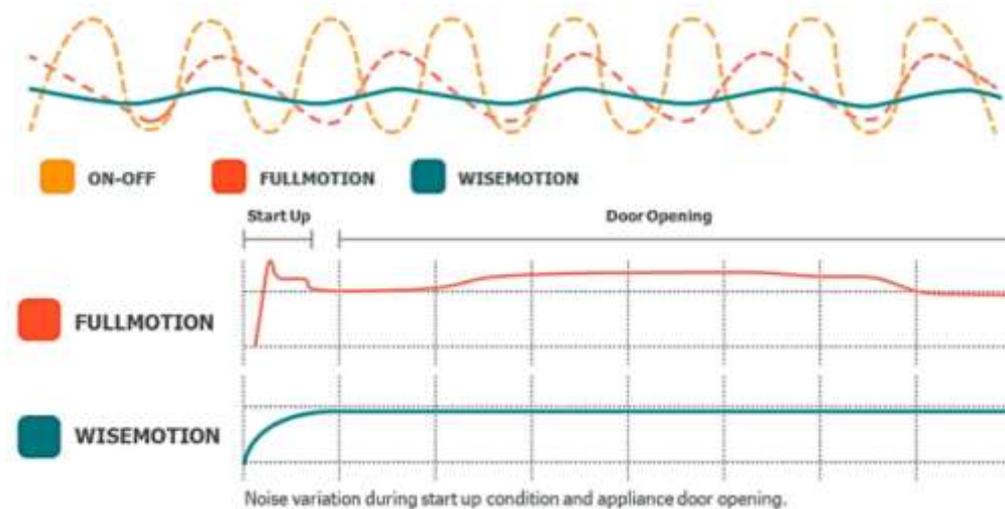


Figura 38: Controles de temperatura Wisemotion **Tomado de:** [65]

B) Compresor lineal

Con el objetivo de mejorar la eficiencia energética y minimizar el consumo de los compresores, empresas como LG desarrollaron nuevos compresores de tipo lineales más eficientes que los compresores recíprocos o helicoidales, siendo de uso exclusivo para refrigeradores domésticos [71].

Este tipo de compresor demuestra una excelente eficiencia por las siguientes razones:

- Debido a su simple mecanismo su pérdida mecánica es mucho menor que los compresores convencionales
- Generan la compresión por un movimiento tipo lineal generado por la oscilación magnética de un motor el cual desplaza un pistón a lo largo de un embolo, obteniendo eficiencias de 90%.
- Al ser un sistema eléctrico con mayor capacidad de modulación, la capacidad de enfriamiento es controlada de mejor manera por un control electrónico.

El tema de la eficiencia energética es de carácter mundial, ya que ha despertado la conciencia de todos los fabricantes hacia el desarrollo de productos más eficientes energéticamente; en este sentido la empresa LG ha investigado una nueva tecnología que reemplace a los compresores convencionales de tipo recíprocante utilizados de manera general en la industria frigorífica, a fin de incrementar la eficiencia ya que sus componentes tienen desventajas tribológicas al ser un mecanismo de pistón- biela manivela. Este mecanismo se ha utilizado por más de treinta años teniendo pocos avances tecnológicos [71].

LG utilizó los elementos de este compresor e innovó en un nuevo tipo de compresor, conservando al pistón tradicional pero con la cualidad que el desplazamiento del mismo ahora es libre para obtener una mejor eficiencia del compresor reduciendo la pérdida por fricción y una óptima circulación del fluido, el pistón es accionado de manera magnética y en la carrera del pistón se encuentra un resorte que facilita el desplazamiento y al tener pocos elementos que generan fricción es necesario un sistema de lubricación y enfriamiento por aceite [71].

La capacidad de enfriamiento del compresor para un mejor rendimiento es ajustable dependiendo el voltaje que se aplique, es decir que con un circuito electrónico se puede modular el COP, además los puntos principales que el compresor lineal debía superar son los siguientes [71]:

- Un diseño altamente eficiente
- Nuevos sistemas de suministro de aceite
- Sistema hermético para aislar ruidos y vibraciones

Desarrollo tecnológico

A continuación se explica el desarrollo y avances tecnológicos que ha tenido el compresor lineal en cada uno de sus accesorios más importantes y su eficiencia en comparación con el compresor recíprocante.

a. Motor lineal

El motor lineal se lo clasifica de esta manera de acuerdo a su elemento móvil (pistón) el cual se desplaza por un embolo magnético en el cual la oscilación del campo magnético es lineal. El campo magnético es generado por un conductor eléctrico enrollado en forma de anillos como se puede ver en la figura 39. Este sistema da como resultado una carga mínima lateral haciendo que la pérdida de energía en forma de calor sea mínima pero aún existente [71].

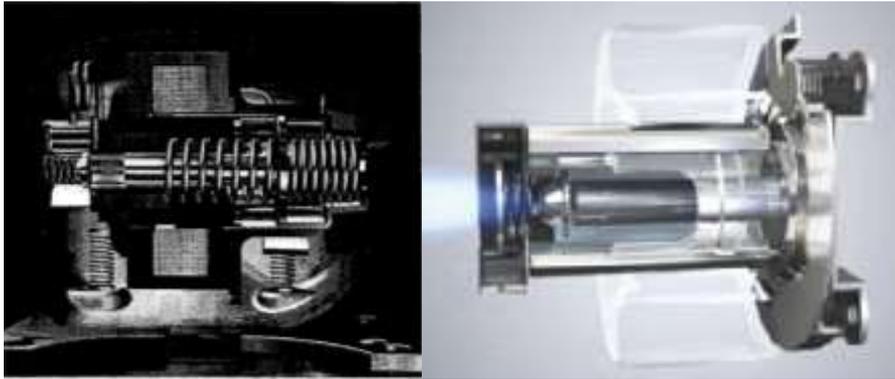


Figura 39: Componentes de compresor lineal **Tomado de:**[71]

b. Bomba de aceite

El principal uso del aceite en el compresor es lubricar el deslizamiento y enfriar el calor generado por la fricción, el mecanismo de la bomba de aceite es el mismo que el motor lineal basado en un pistón el cual aprovecha el campo magnético para generar su desplazamiento y con ello la circulación del fluido (figura 40), teniendo una bomba eficiente que no desperdicia aceite por lo tanto la energía total utilizada para el bombeo fue muy pequeña y la eficiencia de compresión se incrementó mediante el enfriamiento eficiente del pistón [71].

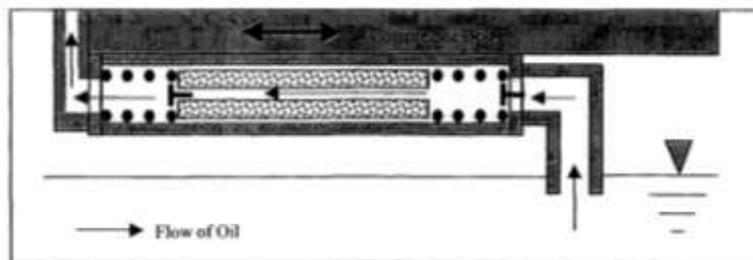


Figura 40: diagrama de la bomba de aceite **Tomado de:**[71]

c. Controlador electrónico

La carrera del pistón se controla ajustando la tensión media de la corriente alterna mediante un circuito electrónico basado en el triac el cual es capaz de controlar la amplitud de onda de corriente alterna manteniendo una frecuencia constante [72].

d. Eficiencia del compresor

LG con esta innovación tecnológica logro una eficiencia superior demostrando que es más eficiente que el compresor convencional. Para refrigeradores side by side el consumo de energía eléctrica ha reducido en un 47% con algunas modificaciones adicionales en el sistema de control y para refrigeradores tipo top mount se ha reducido de un 24% hasta un 12% con el reemplazo del compresor [71].

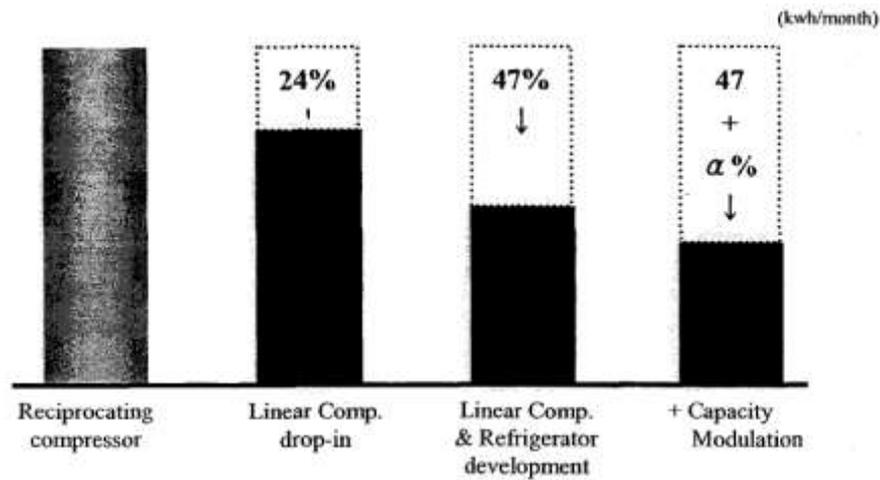


Figura 41: Consumo de Energía eléctrica. Tomado de:[71]

Los niveles de ruido del compresor lineal son más bajos que el compresor recíprocante tanto en el encendido-apagado como durante el funcionamiento del mismo teniendo una diferencia de 5 dB.

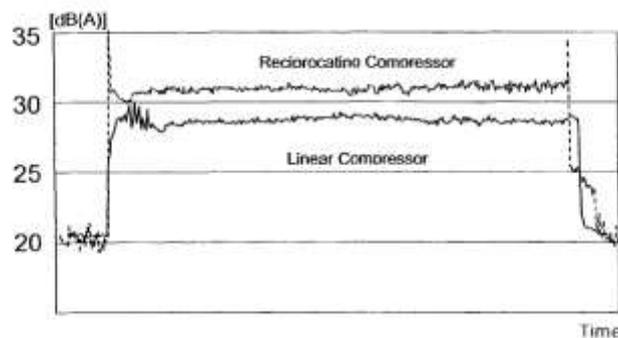


Figura 42: Niveles de ruido de compresor lineal. Tomado de:[71]

4.3.2.2 Análisis tecnológico del refrigerante

Para el análisis tecnológico del refrigerante se toma en cuenta las dos opciones dentro de la industria frigorífica hacia el sector doméstico que es el R134a que es el refrigerante común usado en nuestro medio y el refrigerante R600a que es un hidrocarburo (isobutano) usado por los refrigeradores más eficientes del mercado.

El protocolo de Montreal y el protocolo de Kyoto han establecido que se deben eliminar las sustancias que agotan el ozono y la reducción de sustancias que provocan el efecto invernadero como los clorofluorocarbonos, hidroclorofluorocarbonos y hidrofluorocarbonos, que son utilizados en la refrigeración doméstica. En el caso de Ecuador todos los refrigeradores fabricados en el país contienen al R134a y en los refrigeradores fabricados antes de 1999 utilizan R12 como refrigerante, el cual es un problema ya que están catalogados como sustancias que aporta al calentamiento global [73] [74].

El protocolo de Montreal incentivó a la sustitución del refrigerante R12 por el R134a a mediados de los años 90, y hoy en día como avance tecnológico en varios países del mundo se está utilizando el refrigerante R600a, en una nueva línea de refrigeradores

domésticos amigables con el medio ambiente. A continuación se analizará las características de los refrigerantes mencionados.

A) Refrigerante R134a

El R134a (HFC-134) fue desarrollado como una alternativa a largo plazo para reemplazar a los refrigerantes CFC y HCFC como el R12, el cual posee propiedades termo-físicas muy similares en rendimiento pero con compuestos inicios para la capa de ozono [75].

Este compuesto tiene una gran estabilidad térmica y química, poseen una baja toxicidad, no es inflamable, tiene una excelente compatibilidad con la mayoría de materiales siendo miscible completamente con los aceites poliésteres por lo que se recomienda usarlo siempre con este tipo de aceites que se aplican en los compresores [76].

Propiedades físicas R134a

Propiedades	Unidades	R-134 ^a
Fórmula		1,1,1,2 Tetrafluoroetano
Masa molecular	g / mol	102
Temperatura de ebullición (burbuja) a 1.013 bar	°C	-26,4
Temperatura de congelación	°C	-103
Densidad del líquido a 25°C	kg/dm ³	1,2
Densidad del vapor saturado a 1,013 bar	kg/m ³	5,28
Temperatura crítica	°C	101
Presión crítica	bar	40,7
Calor latente de vaporización a 1,013 bar	kJ/kg	215,9
Líquido	kJ/kg.K	1,46
Vapor (a 1,013 bar)	kJ/kg.K	0,85
Inflamabilidad en el aire	-	Ninguna
ODP	-	0

Tabla 10: Propiedades del refrigerante R134a. Tomado de:[75]

B) Refrigerante R600a

El refrigerante R600a isobutano es un gas natural que minimiza el impacto ambiental generado por los clorofluorocarbono, siendo una sustancia que no libera partículas de cloro que causan la destrucción de la molécula O₃ del ozono [77].

El R600a cuya fórmula molecular es C₄H₁₀ es parte de la familia de los hidrocarburos siendo un gas incoloro, inodoro y altamente inflamable lo que requiere debidas precauciones y normativas para su manejo.

Propiedades del refrigerante R600a.

Aparte de tener un porcentaje nulo en ODP también es ideal para los ciclos de refrigeración por compresión de vapor por su baja densidad y su baja compresibilidad (tabla 10) lo que es una ventaja para el compresor ya que requiere menos trabajo para mantener el ciclo termodinámico lo que genera un ahorro en el consumo energético

Refrigerante	R600a
Nombre	Isobutano
Fórmula	C ₄ H ₁₀
Temperatura critica °C	135
Peso molecular en Kg/kmol	58,1
Punto normal de ebullición en °C	-11,6
Presión a -25°C en bar	0,6
Densidad del líquido a -25°C en Kg/m ³	1,3
Presión a 20°C en bar	3
Odp	0

Tabla 11: Propiedades del refrigerante R600a. Tomado de: [72]

Análisis comparativo

El refrigerante isobutano a comparación de otros refrigerantes alternativos presenta algunas ventajas termodinámicas conforme se muestra en la figura 43, en relación al R12 presenta menos presiones de vapor en función a la temperatura [78].

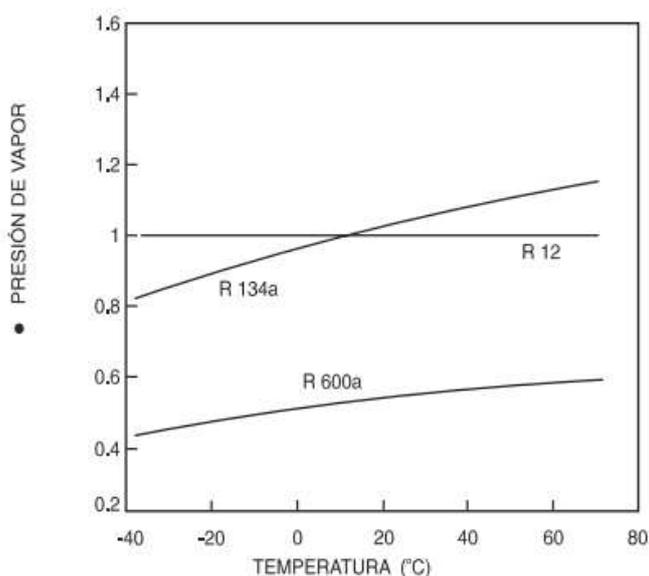


Figura 43: Grafica comparativa entre refrigerante R134a, R600a y R12. Tomado de:[78]

Analizando las características termodinámicas y físicas de los refrigerantes en la tabla 12, el proceso de compresión con R600a alcanza niveles de eficiencia mayores que el

R134a debido a su compresibilidad, además el refrigerante R134a y R12 son elementos sintéticos por lo que su descomposición no se da fácilmente en el medio ambiente causando la dispersión de las moléculas de cloro y flúor que destruyen el O₃. El refrigerante R600a al estar en contacto con el medio ambiente rápidamente se trasforma en agua y gas carbónico causando un mínimo impacto al calentamiento global lo cual representa una ventaja para su aplicación.

Refrigerante	R600a	R134a	R12
Nombre	Isobutano	1,1,1,2-Tetrafluoroetano	Dicloruro-fluorometano
Fórmula	C ₄ H ₁₀	CF ₃ CH ₂ F	CF ₂ CL ₂
Temperatura crítica	135	101	112
Peso molecular	58,1	102	120,9
Punto normal de ebullición en °C	-11,6	-26,5	-29,8
Presión a -25°C en bar	0,6	1,37	1,24
Densidad del líquido a -25°C en Kg/m ³	1,3	4,4	1,47
Capacidad volumétrica a -25/55/32°C en KJ/m ³	373	658	727
Entalpia de vaporización a -25°C en KJ/Kg	376	216	163
Presión a 20°C en bar	3	5,7	5,7

Tabla 12: Propiedades de los refrigerantes R134a, R600a y R12. **Tomado de:**[78]

En el mercado nacional podemos observar que la mayoría de los refrigeradores importados con clasificación A+ o A++ poseen el refrigerante R600a (figura 44) por sus propiedades mecánicas y como principal factor es que requiere menor presión de trabajo



Figura 44: Foto de las especificaciones técnicas de refrigerador Samsung. **Fuente:** Autores

A través de varios estudios realizados por Embraco, Samsung, LG entre otros, en los que se ha comparado el rendimiento de un sistema de refrigeración por compresión de vapor y con una serie de mediciones del consumo energético se concluyó que el refrigerante R600a ha generado una importante disminución en el consumo de energía eléctrica de hasta un 20% con respecto al R134a [79] y por esta razón los hidrocarburos en especial el isobutano es ideal para sustituir al refrigerante R134a.

4.3.2.3 Análisis tecnológico del aislante térmico

Los avances tecnológicos en el aislante térmico se impulsaron por el protocolo de Montreal en donde el cumplimiento del mismo promueve el uso de sustancias para proteger la capa de ozono, de igual manera que al refrigerante este protocolo representó desafíos importantes en la composición de los materiales utilizados como aislantes térmicos.

El aislante térmico al ser un elemento que por su baja conductividad térmica es utilizada para mantener aislada la temperatura de enfriamiento para evitar pérdidas energéticas pero el uso de agentes soplantes para la espuma rígida de poliuretano que contiene en su estructura molecular al cloro y bromo siendo estas sustancias las que requieren una sustitución por otros compuestos que garanticen una baja conductividad térmica para asegurar el bajo consumo de energía del refrigerador.

Con la firma del protocolo, el CFC-11 (cloro-fluoro-carbono) fue el agente preferido por su factibilidad de uso y baja conductividad pero altamente contaminante con el ozono, por lo que surgió el HCFC-141b que por sus propiedades tabla 13 permitieron su aplicación y reemplazo al CFC-11 [80].

PROPIEDADES	CFC-11	HCFC-141b
Peso molecular	137,4	116,9
Punto ebullición °C	23,7	32,1
P_{vap} (psia @ °F)	12,8	10,0
Conductividad térmica del vapor (BTU in/ft ² hr°F) @ 50°F	0,051	0,061
Potencial de agotamiento de ozono, ODP	1,0	0,11
Potencial de calentamiento global (CO ₂ =1,100 yr)	4600	700

Tabla 13: propiedades de agentes soplantes para espuma rígida de poliuretano.
Tomado de:[80]

El principal factor para la sustitución del CFC-11 es el ODP (potencial de agotamiento del ozono) que en comparación con el ODP de HCFC-141b este un 89 % menos contaminante. En la gran mayoría de países han regulado el uso del HCFC-141b como el aislante térmico promovido por el protocolo de Montreal firmado en 1987, pero los países desarrollados han analizado que el protocolo contempla un estancamiento ya que son 30 años desde que se firmó el protocolo por lo que en la mayoría de refrigeradores se aún se encuentra la espuma rígida de poliuretano con HFCH-141b como agente soplador [80].

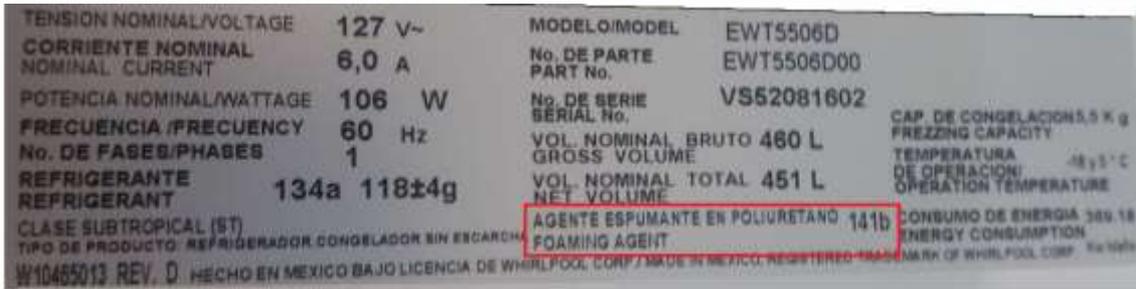


Figura 45: Fotografía de HFCH-141b como agente soplante. **Fuente:** Autores

Avance tecnológico

Con el objetivo de eliminar todo contaminante del ozono los agentes soplantes como el HCFC-141b que aún posee moléculas de cloro y flúor se prevé eliminar el uso de este soplante hasta el 2020 e implementar soplantes a base de hidrocarburos como el ciclo del pentano, este agente es indicador tecnológico de los artefactos más eficientes [80].



Figura 46: Ciclo pentano como agente soplante en refrigerador Samsung. **Fuente:** Autores

Los factores principales que eligen al ciclo pentano como agente soplador es el ODP ya que es relativamente nulo presentando una escasa destrucción al ozono y es mezclado con HFCs para mejorar la conductividad térmica.

4.3.3 Análisis de ciclo termodinámico de enfriamiento

A continuación se diseña un modelo teórico termodinámico para el ciclo de refrigeración para las variables tecnológicas explicadas anteriormente, se usará el Programa EES (Engineering Equation Solver) en el cual se programará y calculará las ecuaciones que se establecen en un ciclo ideal de refrigeración tomadas del libro de Termodinámica de Yunus Cengel [81], también se calculará el coeficiente de eficiencia energética y la potencia calorífica para una posterior comparación entre los componentes tecnológicos.

Los cálculos del ciclo de refrigeración se realizarán en función de las temperaturas de evaporación y de condensación que oscilan entre -10 a -20 °C y de 45 °C a 55 °C respectivamente [67] [74] [78].

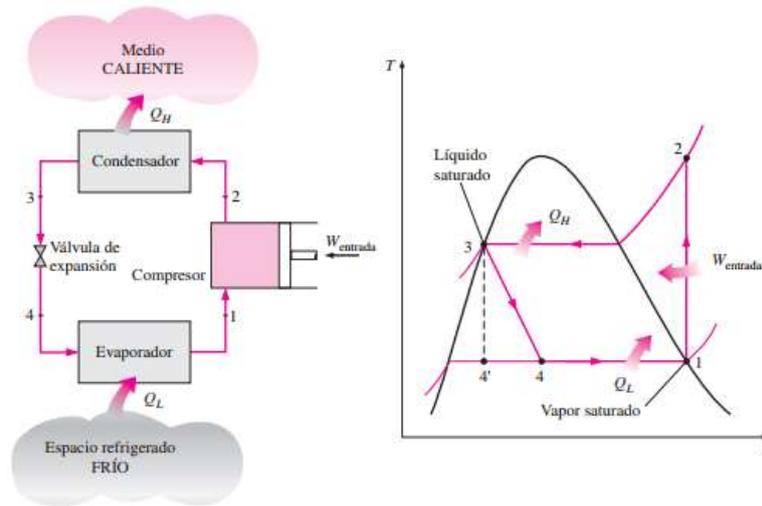


Figura 47: Ciclo de refrigeración. Tomado de:[81]

El ciclo 1-2-3-4 representan al ciclo ideal de refrigeración y tomando los datos de las tablas termodinámicas de cada refrigerante (R134a y R600a) para poder calcular las potencias de cada componente.

Potencia frigorífica.- Es el producto del caudal másico del refrigerante por la diferencia entre las entalpias del refrigerante.

$$Q_f = \dot{m}(h_1 - h_4) \quad (4)$$

Potencia absorbida por el gas comprimido;

$$\dot{W}_c = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (5)$$

Potencia extraída en el condensador;

$$Q_c = \dot{m}(h_2 - h_3) \quad (6)$$

La relación de compresión.- Es el cociente entre la presión de entrada del condensador y la presión de salida del evaporador.

$$r_c = \frac{P_c}{P_e} \quad (7)$$

Al considerar que el ciclo de refrigeración es ideal tenemos que el rendimiento isentrópico y volumétrico son iguales a uno.

$$n_s = \frac{\dot{m} \cdot V_1}{V_t} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} \quad (8)$$

Condiciones de trabajo

Se va a establecer 4 casos de trabajo en base a los indicadores tecnológicos mencionados en el capítulo anterior, tomando como constantes a las temperaturas se tiene los siguientes casos [70] [82] [66] [79] [67] [71] [60] [61].

Caso 1

- Compresor embraco fullmotion 1/4hp 110V
- Temperatura del condensador 50°C
- Temperatura del evaporador -10°C
- Refrigerante R134a
- Aislante térmico espuma rígida de poliuretano HCFC-141b

Caso 2

- Compresor lineal 1/6hp 110V
- Temperatura del condensador 50°C
- Temperatura del evaporador -10°C
- Refrigerante R600a
- Aislante térmico espuma rígida de poliuretano ciclo pentano

Caso 3

- Compresor embraco fullmotion 1/4hp 110V
- Temperatura del condensador 50°C
- Temperatura del evaporador -10°C
- Refrigerante R600a
- Aislante térmico espuma rígida de poliuretano ciclo pentano

Caso 4

- Compresor embraco Wisemotion
- Temperatura del condensador 50°C
- Temperatura del evaporador -10°C
- Refrigerante R600a
- Aislante térmico espuma rígida de poliuretano HCFC-141b

Con los valores de temperaturas de evaporación y condensado, los rendimientos isentrópicos y volumétricos, el tipo de refrigerante, se puede calcular todos los parámetros para determinar el COP y la potencia calorífica.

La fórmula del COP anteriormente mencionada se define con el cociente entre la diferencia de entalpías.

$$COP = \frac{Qf}{Wc} = \frac{h1-h4}{h2-h1} \quad (9)$$

La potencia frigorífica o potencia frigorífica por volumen de compresor puede expresarse mediante esta relación.

$$Vt = \frac{\dot{m} \cdot V1}{n} \quad (10)$$

Al expresar la potencia frigorífica Qf en función del volumen del compresor, se obtiene la siguiente relación.

$$\frac{Qf}{Vt} = \frac{n_v \cdot \dot{m} \cdot (h1-h4)}{\dot{m} \cdot V1} = \frac{h1-h4}{\dot{m} \cdot V1} * n_v \quad (11)$$

Con las ecuaciones definidas procedemos a la resolución mediante el software EES.

Se usará EES (Engineering Equation Solver) para el cálculo del COP y potencia frigorífica, además del cálculo de las entalpías, entropías, temperaturas, presiones y relación de compresión, potencias y rendimientos. El uso de este software nos proporcionará una alta precisión en el cálculo por su extensa base de datos de propiedades termodinámicas.

A continuación presentamos las líneas de programación para el software EES.

```

t1=te+deltaTv
t3=tc
t2=temperature(R134a,P=p3;H=h2)

Qf=mr*(h1-h4)
Qc=mr*(h2-h3)
Wc=mr*(h2s-h1)/etaS
Wcs=mr*(h2s-h1)

Qc=Qf+Wc

etaS=(h2s-h1)/(h2-h1)
etaV=Vr1/Vt
etaV=1
v1=volume(R134a,P=p1;T=t1)
Vr1=mr*v1

COP=Qf/Wc
COPcarnot=1/((tc+273)/(273+te)-1)

Qf_tpVt=(h1-h4)/V1/3.6

```

Figura 48: Línea de código en software EES. **Fuente:** Autores

Los resultados obtenidos en el software EES son los siguientes para cada caso:

Caso 1

Datos:

- Compresor embraco fullmotion 1/4hp 110V
- Temperatura del condensador 50°C
- Temperatura del evaporador -10°C
- Refrigerante R134a
- Aislante térmico espuma rígida de poliuretano HCFC-141b

Resultados:

- COP=3.129
- Potencia calorífica= 344,7 kJ/m³

COP = 3,129 [-]	COPcarnot = 4,383 [-]	$\delta T_v = 10$	etaS = 1	etaV = 1 [-]	h1 = 253 [kJ/kg]
h2 = 294,4	h2s = 294,4 [kJ/kg]	h3 = 123,5 [kJ/kg]	h4 = 123,5 [kJ/kg]	hprueba1 = 51,86 [kJ/kg]	mr = 0,02063
p1 = 200,7	p2 = 1319 [-]	p3 = 1319	p4 = 200,7 [-]	pc = 1319 [kPa]	pe = 200,7 [-]
Qc = 3,527 [kJ/kg]	Qf = 2,673 [kJ/kg]	Qf _{tp/h} = 344,7 [kJ/m ³]	rc = 6,569 [kPa]	s1 = 0,9694 [kJ/kg-K]	s2s = 0,9694 [-]
s3 = 0,4418 [kJ/kg-K]	s4 = 0,4777 [kJ/kg-K]	sprueba1 = 0,2044 [kJ/kg-K]	t1 = 0 [-]	t2 = 66,32 [C]	t3 = 50 [-]
tc = 50	te = -10	v1 = 0,1044 [m ³ /kg]	Vr1 = 0,002154 [m ³ /kg]	Vt = 0,002154	Wc = 0,8544 [kJ/kg]
Wcs = 0,8544 [kJ/kg]					

Tabla 14: Datos obtenidos en el software EES para el caso 1 **Fuente:** Autores

Caso 2

Datos:

- Compresor lineal 1/6hp 110V
- Temperatura del condensador 50°C
- Temperatura del evaporador -10°C
- Refrigerante R600a
- Aislante térmico espuma rígida de poliuretano ciclo pentano

Resultados:

- COP=4,017
- Potencia calorífica= 157,7 kJ/m³

COP = 4,017 [-]	COPcarnot = 4,383 [-]	$\delta T_v = 10$	etaS = 1	etaV = 1 [-]	h1 = 585,9 [kJ/kg]	h2 = 654,4
h2s = 654,4 [kJ/kg]	h3 = 311 [kJ/kg]	h4 = 311 [kJ/kg]	hprueba1 = 200 [kJ/kg]	mr = 0,02063	p1 = 79,11	p2 = 496,6 [-]
p3 = 443,4	p4 = 79,11 [-]	pc = 496,6 [kPa]	pe = 69,61 [-]	Qc = 7,084 [kJ/kg]	Qf = 5,672 [kJ/kg]	Qf _{tp/h} = 159,7 [kJ/m ³]
rc = 7,134 [kPa]	s1 = 2,45 [kJ/kg-K]	s2s = 2,45 [-]	s3 = 1,408 [kJ/kg-K]	s4 = 1,418 [kJ/kg-K]	sprueba1 = 1 [kJ/kg-K]	t1 = 0 [-]
t2 = 48,19 [C]	t3 = 50 [-]	tc = 50	te = -10	v1 = 0,4782 [m ³ /kg]	Vr1 = 0,009867 [m ³ /kg]	Vt = 0,009867
Wc = 1,412 [kJ/kg]	Wcs = 1,412 [kJ/kg]					

Tabla 15: Datos obtenidos en el software EES para el caso 2 **Fuente:** Autores

Caso 3

Datos:

- Compresor embraco FULLMOTION 1/4hp 110V
- Temperatura del condensador 50°C
- Temperatura del evaporador -10°C
- Refrigerante R600a
- Aislante térmico espuma rígida de poliuretano ciclo pentano

Resultados:

- COP=3,348
- Potencia calorífica= 134,6 kJ/m³

COP = 3,348 [-]	COPpcarnot = 4,383 [-]	δTv = 10	etaS = 1	etaV = 1 [-]	h1 = 586,5 [kJ/kg]	h2 = 665,5
h2s = 665,5 [kJ/kg]	h3 = 322,1 [kJ/kg]	h4 = 322,1 [kJ/kg]	hprueba1 = 200 [kJ/kg]	mr = 0,02063	p1 = 69,61	p2 = 496,6 [-]
p3 = 496,6	p4 = 69,61 [-]	pc = 496,6 [kPa]	pe = 69,61 [-]	Qc = 7,084 [kJ/kg]	Qf = 5,455 [kJ/kg]	Qf _{tp/h} = 134,6 [kJ/m ³]
rc = 7,134 [kPa]	s1 = 2,47 [kJ/kg-K]	s2s = 2,47 [-]	s3 = 1,408 [kJ/kg-K]	s4 = 1,466 [kJ/kg-K]	sprueba1 = 1 [kJ/kg-K]	t1 = 0 [-]
t2 = 54,95 [C]	t3 = 50 [-]	tc = 50	te = -10	v1 = 0,5456 [m ³ /kg]	Vr1 = 0,01126 [m ³ /kg]	Vt = 0,01126
Wc = 1,629 [kJ/kg]	Wcs = 1,629 [kJ/kg]					

Tabla 16: Datos obtenidos en el software EES para el caso 3 **Fuente:** Autores

Caso 4

Datos:

- Compresor embraco Wisemotion
- Temperatura del condensador 50°C
- Temperatura del evaporador -10°C
- Refrigerante R600a
- Aislante térmico espuma rígida de poliuretano HCFC-141b

Resultados:

- COP=4,579
- Potencia calorífica= 180,2 kJ/m³

COP = 4,579 [-]	COPpcarnot = 4,383 [-]	δTv = 10	etaS = 1	etaV = 1 [-]	h1 = 585,5 [kJ/kg]	h2 = 646,8
h2s = 646,8 [kJ/kg]	h3 = 304,5 [kJ/kg]	h4 = 304,5 [kJ/kg]	hprueba1 = 200 [kJ/kg]	mr = 0,01558	p1 = 87,02	p2 = 496,6 [-]
p3 = 413,9	p4 = 87,02 [-]	pc = 496,6 [kPa]	pe = 69,61 [-]	Qc = 5,333 [kJ/kg]	Qf = 4,377 [kJ/kg]	Qf _{tp/h} = 180,2 [kJ/m ³]
rc = 7,134 [kPa]	s1 = 2,435 [kJ/kg-K]	s2s = 2,435 [-]	s3 = 1,408 [kJ/kg-K]	s4 = 1,389 [kJ/kg-K]	sprueba1 = 1 [kJ/kg-K]	t1 = 0 [-]
t2 = 43,64 [C]	t3 = 50 [-]	tc = 50	te = -10	v1 = 0,4332 [m ³ /kg]	Vr1 = 0,006749 [m ³ /kg]	Vt = 0,006749
Wc = 0,9559 [kJ/kg]	Wcs = 0,9559 [kJ/kg]					

Tabla 17: Datos obtenidos en el software EES para el caso 4 **Fuente:** Autores

Con los cálculos realizados se puede verificar con fundamentos termodinámicos que el rendimiento de los sistemas que implementaron nuevas tecnologías incrementaron su eficiencia en un 20% con valores de COP que van desde 3,129 a 4,017 y con

expectativas de alcanzar 4,579 con la implementación de la tecnología más reciente y de esta manera declarar al compresor y al refrigerante como variables tecnológicas que influyen directamente en el consumo energético para un posterior análisis mediante la dinámica de sistemas.

De ser el caso que se implemente la tecnología que alcanzó un COP 4,017 que corresponde a las variables del compresor lineal y el refrigerante R600a el consumo energético disminuiría de 345,39 a 323 kWh/año y con una etiqueta energética A+ ya que el índice de eficiencia energética determina la clasificación mediante la relación del consumo energético y la capacidad volumétrica útil del refrigerador.

$$i = \frac{\text{consumo energetico}}{\text{volumen util del refrigerador}} \quad (12)$$

Clase A

índice de eficiencia energética

$$i = \frac{\text{consumo energetico}}{\text{volumen util del refrigerador}}$$

$$i = \frac{345,39 \text{ kWh/año}}{225 \text{ litros}}$$

$$i = 1.53$$

Clase A+

índice de eficiencia energética

$$i = \frac{\text{consumo energetico}}{\text{volumen util del refrigerador}}$$

$$i = \frac{323 \text{ kWh/año}}{225 \text{ litros}}$$

$$i = 1.43$$

4.4 Determinación de las variables endógenas y exógenas para la construcción de diagramas causales en refrigeración doméstica en Latinoamérica.

Para poder determinar las diferentes variables que se necesitan para construir el modelo dinámico y establecer los diferentes escenarios, se requiere en primera instancia abordar de manera general la metodología de la Dinámica de Sistemas además de conocer con mucha precisión el sistema en donde se involucran las tecnologías que posibilitan una mejora en la eficiencia energética, se considera que con esta información se logrará identificar de una manera más clara las variables que se van a utilizar en el modelo.

En la construcción de los escenarios utilizarán el Software VenSim PLE PLUS, este software, el cual brindará la libertad de plantear escenarios acorde a lo planteado en la determinación y uso de las variables.

4.4.1 Introducción a la Dinámica de Sistemas.

El estudio de la metodología de la Dinámica de Sistemas empieza en la década de los años 50, con el Ingeniero en Sistemas Jay Forrester del instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), una de las primeras aplicaciones de la Dinámica de Sistemas fue el análisis de la estructura de una empresa Norteamericana y el estudio de las oscilaciones muy acusadas en las ventas de esta empresa, todo este estudio y venta fue publicado como “Industrial Dynamics”. Luego de estas publicaciones la Dinámica de Sistemas empieza a tener una importancia a nivel mundial [83].

La Dinámica de Sistemas usa conceptos del campo del control realimentado para organizar información en un modelo de simulación por ordenador. La simulación

resultante revela implicaciones del comportamiento del sistema representado por el modelo. La Dinámica de Sistemas no está restringida a sistemas lineales, pudiendo hacer pleno uso de las características no-lineales de los sistemas. Combinados con las computadoras, los modelos de Dinámica de Sistemas permiten una simulación eficaz de sistemas complejos. Dicha simulación representa la única forma de determinar el comportamiento en los sistemas no-lineales complejos [83].

Con la Dinámica de Sistemas utilizando diferentes tipos de modelos se puede analizar las políticas energéticas en los diferentes países y a diferentes escalas, también el calentamiento global, la desregulación, la conservación y la eficiencia, estos conceptos se pueden vincular los patrones observando el comportamiento a nivel de un sistema muy complejo [84].

Una de las partes más importantes de la Dinámica de Sistemas es entender el comportamiento del sistema que se está simulando como un todo ya que todas las partes interactúan entre sí llamándose pensamiento sistémico, lo que implica determinar causalidades, lazos de retroalimentación y retardos, teniendo así la posibilidad de asegurar a un mediano o largo plazo que las decisiones tomadas tendrán impactos positivos en el modelo planteado [84].

4.4.1.1 Diagrama causal de Lazo.

Este funciona como una herramienta para mostrar la estructura y las relaciones causales de un sistema para entender de una mejor manera todos sus mecanismos de realimentación a una escala temporal [85].

Para el estudio se han creado 2 tipos de influencias positivas y negativas.

- La Influencia positiva se expresa la relación de carácter asociando un signo a la flecha en la figura 49 se puede observar una relación de influencia positiva, esto significa que ambas variables asociadas cambian en el mismo sentido, es decir si la variable A aumenta, la variable B aumenta también [85].



Figura 49: Relación de influencia positiva Tomado de: [85]

- La influencia negativa se representa con el signo negativo y este indica que las variables de los 2 extremos de la flecha varían en sentido opuesto, es decir si la variable A aumenta la variable B disminuye como se puede observar en la figura 50 [85].



Figura 50: Relación de influencia negativa Tomado de: [85]

4.4.1.2 Diagramas de Niveles y Flujo.

- Los Diagramas de niveles suponen la acumulación en el tiempo de una cierta magnitud. Son las variables de estado del sistema, en cuanto que los valores que se toman determinan la situación en la que se encuentra el mismo.

- Los diagramas de flujo expresan de manera explícita la variación por unidad de tiempo de los niveles y las variables auxiliares son, como su nombre indica, variables de ayuda en el modelo. Su papel auxiliar consiste en colaborar en la definición de las variables de flujo y en documentar el modelo haciéndolo más comprensible [86].

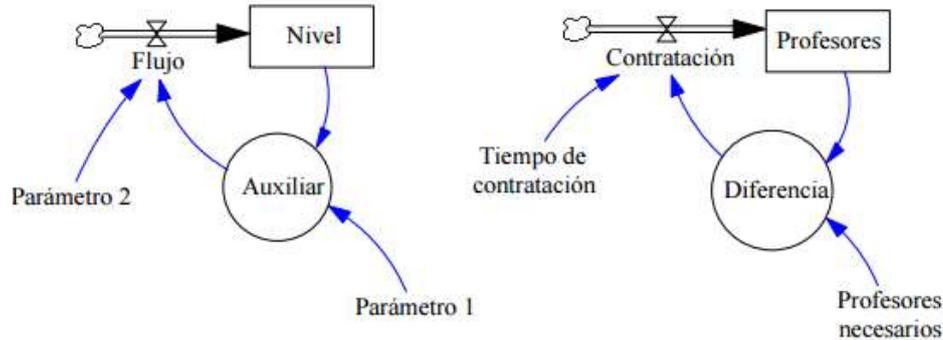


Figura 51: Organización de las variables de Nivel y Flujo en un diagrama **Tomado de:** [86]

4.4.1.3 Propiedades de la Dinámica de Sistemas.

4.4.1.3.1 Bucles de Realimentación.

Estos bucles nos sirven como un proceso dinámico que pasa por una cadena de causas y efectos (positivos o negativos) a través de un conjunto de variables que acaba regresando a la causa original, es importante recordar que cada bucle de realimentación tiene una coherencia semántica [85].

Para una mejor comprensión se han tienen 2 clases de bucles de retroalimentación unos positivos y otros negativos.

- Bucles de realimentación positiva: O de refuerzo, son aquellos en los que la variación de un elemento se propaga a lo largo del bucle de manera que acentúa dicha variación inicial, la primera variación puede ser de crecimiento o disminución según el valor determinado, en la figura 52 se puede observar como por una parte el sistema crece de manera exponencial formando un círculo virtuoso, así también se puede observar que al decrecer forma un remolino llamándose círculo vicioso [85].

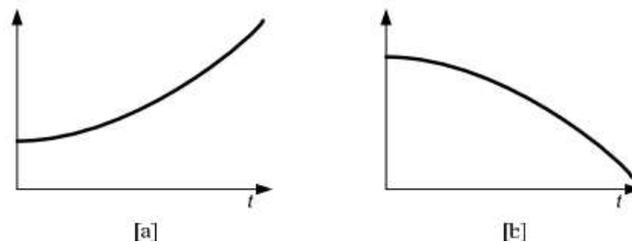


Figura 52: Respuestas explosivas (a) y depresiva (b) de los bucles de realimentación positiva. **Tomado de:** [85]

- Bucles de realimentación negativa: estos nos sirven como base para cualquier sistema de control o regulación, su efecto contrarresta la variación inicial de un elemento que se transmite a lo largo de un bucle [85].

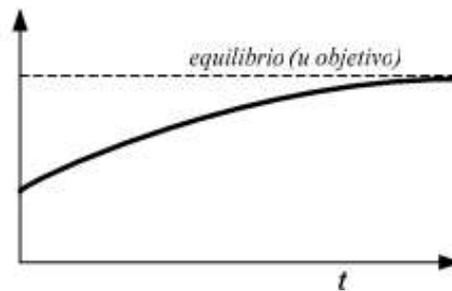


Figura 53: Respuesta estabilizadora de los bucles de realimentación negativa. **Tomado de:** [85]

4.4.1.3.2 Retardos.

Un retardo no es más que el tiempo que transcurre entre una causa y sus efectos y en los modelos sistémicos se manejan como procesos cuya salida se retrasa en alguna manera con respecto a la entrada. En los bucles de realimentación positiva un retardo ocasiona que el crecimiento (o decrecimiento) no se produzca de forma tan rápida como cabría esperar. Sin embargo, el efecto de los retardos es especialmente sensible en el caso de los bucles de realimentación negativa. En este caso, el comportamiento, en lugar de aproximarse de forma suave hacia el equilibrio, puede mostrar respuestas que se sobrepasen, hacia arriba o hacia abajo, dicho nivel provocando que el sistema oscile, a veces violentamente [85].

4.4.1.3.3 No linealidades y bucles dominantes.

Las no linealidades causan un comportamiento complejo, que permiten el cambio en el dominio del bucle en función del estado del sistema. En el crecimiento en forma de s , por ejemplo, primero un crecimiento exponencial está teniendo lugar causado por un bucle de retroalimentación positiva. En algún momento el dominio de bucle se desplaza hacia el bucle de realimentación negativa que resulta en un comportamiento de búsqueda de objetivos. Esta es una propiedad endógena de los sistemas dinámicos no lineales. La capacidad de las dependencias no lineales para generar cambios en el dominio del bucle es una razón importante para el uso de modelos no lineales. Las relaciones no lineales permiten también muchos tipos de comportamientos que no son posibles en los sistemas lineales, como equilibrios múltiples, bifurcaciones, ciclos límite, y el caos [84].

4.4.1.3.4 Complejidad Dinámica.

La Complejidad dinámica no necesita una gran cantidad de partes que interactúan en conjunto, puede surgir 31 de situaciones muy simples. El comportamiento de un sistema simple con bucles de retroalimentación, con retardos y no linealidades puede ser muy compleja de hecho. En los sistemas dinámicos las acciones de hoy podrían ser los problemas de mañana, el sistema está en constante cambio, y puede que no haya un equilibrio del sistema. De hecho los sistemas del mundo real puede ser complejos debido a la gran cantidad de componentes y debido a relaciones dinámicas [84].

4.4.1.3.5 Los Arquetipos.

Es aquella situación que se repite por costumbre y este va generando errores en el comportamiento de una organización [87].

Ayudan en el reconocimiento de comportamiento repetitivo encontrando sus puntos de apalancamiento y nos permite saber con mayor exactitud el cambio adecuado para eliminar el límite más importante que sufre el sistema, así ganando un dinamismo [87].

Para entender de una mejor manera existen algunos tipos de arquetipos que vamos a mencionar a continuación.

- Compensación entre proceso y demora.
- Límites del crecimiento.
- Desplazamiento de la carga.
- Crecimiento y subinversión.
- Erosión de metas.
- Escalada.
- Éxito para quien tiene éxito.
- Tragedia del terreno común.
- Soluciones contraproducentes.
- Adversarios accidentales [87].

4.4.1.4 Modelización de Variables Soft.

A las características cualitativas, percepciones y expectativas concernientes a una persona o cosa y que no tengas datos numéricos se la conoce como variable soft [88].

La variable soft se la puede resumir con las siguientes características principales:

- Carecen de sustancia física.
- No pueden ser medidas en forma directa.
- Las leyes que determinan su dinámica de cambio tienen que ver con relaciones complejas causa – efecto de carácter no lineal y con existencia de retrasos [88].

Para tener la idea de la modelización se ha dividido en 4 fases: conceptualización, Formulación, evaluación e implementación [2].

- Conceptualización, es importante escoger y definir las variables más importantes para el sistema a modelizar. Se presentan dificultades para reconocer la necesidad de incluir las variables soft, ya que al ser variables que tienen efectos a largo plazo puede ser difícil reconocer su influencia a primera vista [88].
- Formulación es quizás la fase más complicada para el manejo de variables soft. En éste se define la estructura del modelo y los problemas se derivan especialmente de no poder medir las variables soft de forma directa. Obliga a tener que definir las variables en función de indicadores de los cuales puede ser

muy difícil conseguir datos reales, por lo que, en ocasiones, se establece una medida categórica dada, según la experiencia y la intuición [88].

- Evaluación. Consiste en dar un paso hacia atrás para validar si las hipótesis dinámicas cumplen con los modos de referencia y los supuestos definidos en la primera etapa. En esta etapa, los problemas de la modelización de variables soft están relacionados con la dificultad de establecer las relaciones de las variables soft y la imposibilidad para contrastar los resultados con datos reales [88].
- Implementación, se prueba con diferentes políticas y escenarios para estudiar los comportamientos que se generan. Los dos puntos que ocasionan problemas son: la mala interpretación de los resultados y la falta de credibilidad en los resultados [88].

Para poder entender de una mejor manera los problemas de modelización de la variable soft, vamos a observar la tabla 18.

Fases del proceso de modelización	Problemas de la modelización de variables Soft
Conceptualización	Dificultad para representar las relaciones causa – efecto de las variables Soft y definir cuáles son las variables más importantes.
Formulación	Dificultad para medir de forma directa y recoger datos reales de las variables Soft.
Evaluación	Dificultad de ver a simple vista las relaciones de las variables Soft.
Implementación	Imposibilidad de contrastar los resultados con datos reales

Tabla 18: Problemas de la modelización de Variables Soft **Adaptado de:** [88]

4.4.1.5 Experimentación.

Para el uso de la Dinámica de Sistemas se necesitan modelos que sean construidos con 2 partes importantes:

- Primero: Poder explicar de una manera clara el comportamiento de los sistemas que se desarrollan a razón de su estructura y políticas de orientación [84].
- Segundo: Poder servir como instrumentos para estudiar cambios estructurales y/o políticos de la organización [84].

Luego de construir el modelo utilizando las 2 partes mencionadas es importante que sea evaluado, validado y analizado [84].

4.4.1.5.1 Evaluación del Modelo.

Para entender de una mejor manera al modelo en esta primera fase se somete a una serie de pruebas y análisis para evaluar su validez y calidad, teniendo en cuenta la lógica de la hipótesis los análisis pueden ser diversos y consistentes con el estudio del ajuste entre las trayectorias generadas por el modelo y las identificadas de la primera fase, incluyéndose análisis de sensibilidad que nos permiten determinar cuáles son los factores que más influyen en el comportamiento del modelo [89].

4.4.1.5.2 Validación del Modelo.

Al momento de realizar la validación el modelo se debe tomar en cuenta su estructura y su comportamiento, su estructura es validada en todo momento de forma directa o indirecta [90].

En la parte de la validación de la estructura del modelo todo consiste en establecer que todos los propósitos planteados estén en función del modelo y las relaciones tengan una representación adecuada con los planteamientos principales, esta evaluación puede ser hecha de manera directa o indirecta [90].

- Validación de la estructura del modelo de manera directa: Aquí vamos a evaluar la estructura del modelo comparando con el fenómeno que se ha planteado al inicio, relacionando y verificando el sistema del modelo aplicando pruebas cualitativas por naturaleza, es decir no involucran la simulación.
- Validación de la estructura del modelo de manera indirecta: Se evalúa la validez de la estructura aplicando ciertas pruebas de comportamiento sobre los patrones de comportamiento generados por el modelo, una de las pruebas implica asignar valores extremos a parámetros seleccionados y comparar el comportamiento generado por el modelo con el comportamiento esperado o el observado en el sistemas real bajo la misma condición extrema, todas estas pruebas extremas de comportamiento que pueden proporcionar información indirecta sobre las posibles fallas estructurales [90].

4.4.1.5.3 Análisis del Modelo.

El análisis de sensibilidad del modelo determina cuáles son los parámetros que inducen variaciones apreciables en los resultados, realizando estimaciones cuidadosas de dichos parámetros y prestando una atención cuidadosa en la construcción de los escenarios propuestos [84].

La forma de procedimiento para la selección e identificación de parámetros sensibles presupone un conocimiento detallado del sistema, por cuanto su examen exhaustivo puede ser impracticable en modelos de gran envergadura [84].

4.4.1.5.4 Estructura del Modelo.

Para desarrollar la estructura del modelo se va a plantear y demostrar mediante una simulación de Dinámica de Sistemas utilizando el Software VenSim PLE PLUS, en el cual vamos a modelar el comportamiento de las siguientes variables:

- Consumo Energético
- Costos de producción
- Costo de PVP
- Rendimiento COP
- Potencia Frigorífica
- Demanda
- Piso climático
- Ubicación dentro del hogar
- Uso adecuado del artefacto

Para este caso en particular en las variables mencionadas, se obtendrán variables endógenas y variables exógenas, lo que quedará demostrado con las siguientes definiciones.

- Variables endógenas: describen aquellos efectos sobre los sistemas que son susceptibles de ser modificados desde el exterior del mismo, representan de una cierta manera el medio en el que está inmerso el sistema [91].
- Variables exógenas: las caracterizan los elementos cuyo comportamiento está completamente determinado por la estructura del sistema sin la posibilidad de modificación directa del exterior [91].

Variables Endógenas	Variables Exógenas
Consumo energético	Demanda
Costos de producción	Cantidad de hogares
Costo PVP	Promedio de personas por hogar
Rendimiento COP	Cantidad de refrigeradores domésticos
Potencia frigorífica	Índice de penetración
	Cantidad de refrigeradores domésticos dañados
	Piso Climático Tropical
	Piso Climático Subtropical
	Ubicación dentro del hogar
	Uso adecuado

Tabla 19: Variables Endógenas y Exógenas del modelo **Fuente:** Autores

A continuación se presentan las variables exógenas y endógenas para cada tecnología que vamos a aplicar en el modelo, tomando en cuenta que las variables exógenas serán las mismas en todos los casos.

A) Determinación de las variables endógenas

- El consumo energético como variable lo obtendremos directamente de la etiqueta energética que viene adherida al refrigerador, teniendo su valor de consumo expresado en kWh/año.
- El valor del precio de venta al público se obtuvo con visitas a varios distribuidores y sitios web de compras, llegando a establecer un promedio entre los valores encontrados.
- El rendimiento COP y la potencia calorífica se calculó con el software EES para cada caso variando su refrigerante y consumo energético del compresor.

B) Determinación de las variables exógenas

Una de las variables de entrada del modelo de simulación son los datos de población con proyección a lo largo del periodo de análisis, el cual será desde el año 2010 hasta el año 2050; los datos de partida utilizados fueron tomados del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC, mismo que en base a las proyecciones desarrolladas se ha podido identificar un crecimiento de la población de alrededor de 15.012.228 habitantes al año 2010 a 16.776.977 habitantes al 2017 y una proyección al 2050 de 23.377.412 habitantes, es importante indicar que varios datos son proyecciones obtenidas mediante

la determinación de ecuaciones que identifican el crecimiento poblacional (ver tabla 20).

Año	Población	Año	Población	Año	Población	Año	Población
2010	15.012.228	2020	17.510.643	2030	19.814.767	2040	21.806.740
2011	15.266.431	2021	17.728.451	2031	19.995.765	2041	21.991.726
2012	15.520.973	2022	17.948.967	2032	20.162.456	2042	22.176.238
2013	15.774.749	2023	18.172.227	2033	20.465.932	2043	22.383.939
2014	16.027.466	2024	18.398.264	2034	20.600.652	2044	22.583.938
2015	16.278.844	2025	18.693.140	2035	20.858.149	2045	22.648.875
2016	16.528.730	2026	18.858.807	2036	21.008.725	2046	22.789.373
2017	16.776.977	2027	19.093.384	2037	21.275.639	2047	22.973.527
2018	17.023.408	2028	19.330.878	2038	21.492.864	2048	23.107.836
2019	17.267.986	2029	19.571.327	2039	21.628.383	2049	23.293.838
						2050	23.377.412

Tabla 20: Población Ecuatoriana periodo 2010 - 2050 **Adaptado de:** [7] [92] [93]

Otra variable de entrada muy importante es la cantidad de hogares que existen en el Ecuador, estos valores son proyecciones en el intervalo de tiempo de análisis de 2010 – 2050 como se puede observar en la tabla 21. En el modelo esta variable es calculada en base a la población del Ecuador y la tasa de habitantes por hogar.

Año	Cantidad de hogares						
2010	3.810.548	2021	4.587.282	2032	5.389.721	2043	6.220.321
2011	3.837.700	2022	4.600.182	2033	5.469.202	2044	6.398.871
2012	3.864.852	2023	4.691.020	2034	5.553.828	2045	6.467.938
2013	3.943.733	2024	4.782.822	2035	5.679.124	2046	6.592.881
2014	4.022.615	2025	4.890.310	2036	5.792.821	2047	6.628.211
2015	4.101.496	2026	4.902.332	2037	5.808.283	2048	6.700.015
2016	4.180.378	2027	4.992.030	2038	5.947.282	2049	6.793.527
2017	4.259.259	2028	5.092.822	2039	5.982.822	2050	6.862.345
2018	4.338.141	2029	5.193.834	2040	6.073.531		
2019	4.417.022	2030	5.284.717	2041	6.102.928		
2020	4.495.903	2031	5.300.292	2042	6.199.287		

Tabla 21: Cantidad de hogares en el Ecuador periodo 2010 -2050 **Adaptado de:** [7] [92] [93]

El promedio de personas por hogar se pudo establecer con las proyecciones que obtuvimos del número de habitantes y la cantidad de hogares que existen en el país, en el periodo 2010 – 2050 como se puede observar en la tabla 22.

Año	Promedio de personas por hogar						
2010	3,94	2021	3,86	2032	3,74	2043	3,6
2011	3,98	2022	3,9	2033	3,74	2044	3,53
2012	4,02	2023	3,87	2034	3,71	2045	3,5
2013	4	2024	3,85	2035	3,67	2046	3,46
2014	3,98	2025	3,82	2036	3,63	2047	3,47
2015	3,97	2026	3,85	2037	3,66	2048	3,45
2016	3,95	2027	3,82	2038	3,61	2049	3,43
2017	3,94	2028	3,8	2039	3,62	2050	3,41
2018	3,92	2029	3,77	2040	3,59		
2019	3,91	2030	3,75	2041	3,6		
2020	3,89	2031	3,77	2042	3,58		

Tabla 22: Promedio de personas por hogar en Ecuador periodo 2017 - 2050 **Adaptado de:** [7] [92] [93]

Para determinar cuántos refrigeradores domésticos existen en el Ecuador se procedió a calcular utilizando los datos de la cantidad de hogares y la tasa de penetración de refrigeradores domésticos en el Ecuador (ver tabla 23).

Año	Cantidad de refrigeradores						
2010	2.857.911	2021	4.148.721	2032	5.384.712	2043	6.293.833
2011	2.939.678	2022	4.287.282	2033	5.495.721	2044	6.478.483
2012	3.041.639	2023	4.386.452	2034	5.553.130	2045	6.467.938
2013	3.178.649	2024	4.400.265	2035	5.679.124	2046	6.595.313
2014	3.266.363	2025	4.547.989	2036	5.792.821	2047	6.684.322
2015	3.383.734	2026	4.691.702	2037	5.808.432	2048	6.700.233
2016	3.482.255	2027	4.791.762	2038	5.972.872	2049	6.799.933
2017	3.590.555	2028	4.818.206	2039	5.992.231	2050	6.862.345
2018	3.709.110	2029	4.962.826	2040	6.073.531		
2019	3.807.473	2030	5.179.023	2041	6.183.931		
2020	3.911.436	2031	5.283.612	2042	6.209.873		

Tabla 23: Cantidad de Refrigeradores domesticos en el Ecuador periodo 2017 - 2050 **Adaptado de:** [7] [92] [93]

El índice de penetración de los refrigeradores domésticos es muy importante para entender cuántos refrigeradores existen en los hogares ecuatorianos. Las proyecciones al 2050 se basan en la estimación que al año 2031 este índice será de 1, esto significa que todos los hogares en el Ecuador contarán con fluido eléctrico y refrigerador doméstico, como se puede observar en la tabla 24.

Año	Índice de Penetración						
2010	0,75	2021	0,9	2032	1	2043	1
2011	0,77	2022	0,93	2033	1	2044	1
2012	0,79	2023	0,94	2034	1	2045	1
2013	0,81	2024	0,92	2035	1	2046	1
2014	0,81	2025	0,93	2036	1	2047	1
2015	0,82	2026	0,96	2037	1	2048	1
2016	0,83	2027	0,96	2038	1	2049	1
2017	0,84	2028	0,95	2039	1	2050	1
2018	0,85	2029	0,96	2040	1		
2019	0,86	2030	0,98	2041	1		
2020	0,87	2031	1	2042	1		

Tabla 24: Índice de penetración en el Ecuador periodo 2010 - 2050 **Adaptado de:** [7] [92] [93]

La variable de piso climático indica cuál es el clima en todas las provincias del país dividiendo en 2 grupos de climas tropical y subtropical, estos dos grupos intervienen en el consumo energético, la división por provincias se puede ver en la tabla 25 con su respectivo clima y según la región a la que pertenece.

CIUDAD	CLIMA
AZUAY	SUBTROPICAL
BOLIVAR	SUBTROPICAL
CAÑAR	SUBTROPICAL
CARCHI	SUBTROPICAL
COTOPAXI	SUBTROPICAL
CHIMBORAZO	SUBTROPICAL
IMBABURA	SUBTROPICAL
LOJA	SUBTROPICAL
PICHINCHA	SUBTROPICAL
TUNGURAHUA	SUBTROPICAL
SANTO DOMINGO	SUBTROPICAL
GALAPAGOS	SUBTROPICAL
EL ORO	TROPICAL
ESMERALDAS	TROPICAL
GUAYAS	TROPICAL
LOS RIOS	TROPICAL
MANABI	TROPICAL
MORONA SANTIAGO	TROPICAL
SANTA ELENA	TROPICAL
NAPO	TROPICAL
PASTAZA	TROPICAL
ZAMORA CHICHIPE	TROPICAL
SUCUMBIOS	TROPICAL
ORELLANA	TROPICAL

Tabla 25: Piso termico del Ecuador **Adaptado de:** [7] [92]

La ubicación del refrigerador dentro del hogar es muy importante ya que este no debe estar localizado cerca de cocinas, paredes expuestas al sol o en locales sin la ventilación necesaria, si estas condiciones no son tomadas en cuenta el refrigerador consumirá más energía eléctrica por la ineficiencia en la transferencia de calor del sistema (ver la figura 54) [66].

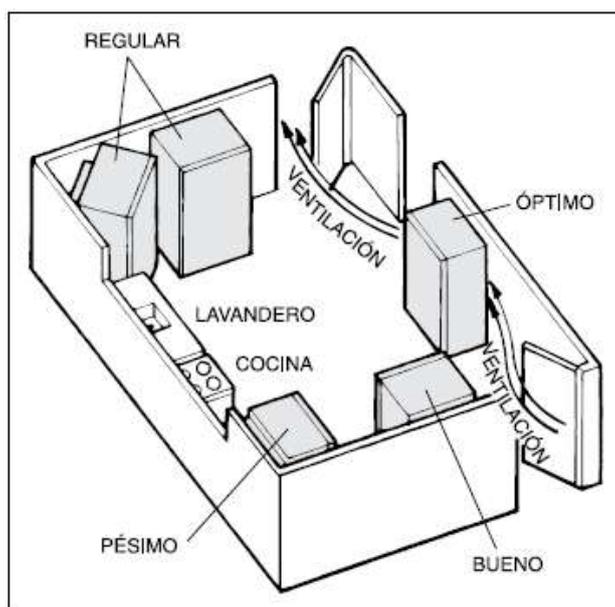


Figura 54: Ubicación correcta del refrigerador doméstico en la cocina **Tomado de:** [66]

Para establecer los datos del consumo del compresor con tendencia al 2050 se tomó en cuenta que se ha tenido avances tecnológicos muy significativos cada 10 años y bajo la misma tendencia se propuso un avance tecnológico con mejoras del 20% en su rendimiento, considerando este porcentaje de los avances tecnológicos de los compresores Embraco [70] y LG [71] sin tomar en cuenta tecnologías ajenas que puedan implementarse en un futuro.

Los valores de consumo del compresor se obtienen mediante una extrapolación con base a mejoras energéticas presentadas años atrás y proyectadas a cada 10 años como suposición, cómo se puede observar en la figura 55 su consumo energético va disminuyendo con el paso del tiempo y esto se da gracias a los avances tecnológicos que lo hicieron más eficiente.

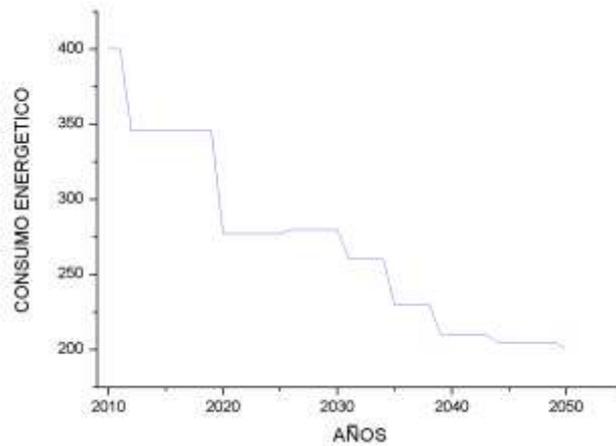


Figura 55: Tendencia del consumo energético del compresor con la tecnología 1 **Fuente:** Autores

Para la tecnología 2 se va a utilizar un compresor lineal que es utilizado en los refrigeradores domésticos que tienen la mayor eficiencia en su consumo energético como se puede observar en la figura 56, hay que tener en cuenta que este tipo de compresor es un 20% más eficiente que los otros mencionados es por eso que se puede observar un cambio más significativo en su consumo energético a través de los años.

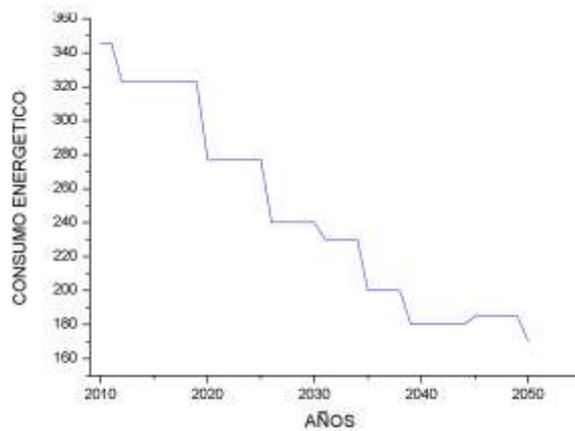


Figura 56: Tendencia del consumo energético del compresor con la tecnología 2 **Fuente:** Autores

Los avances tecnológicos del compresor 3 son similares al compresor 1, ya que la variable que se modifica será el refrigerante aplicado.

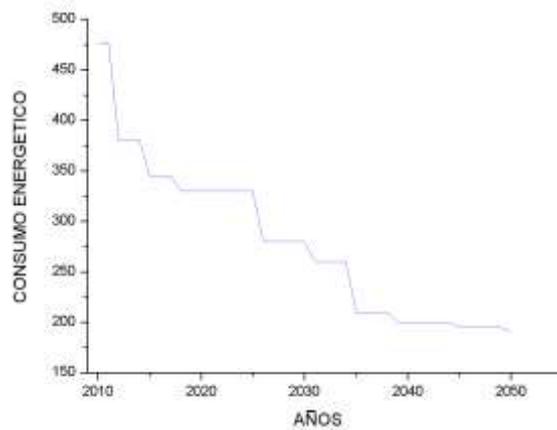


Figura 57: Tendencia del consumo energético del compresor con la tecnología 3 **Fuente:** Autores

Este caso en particular se va a emplear un compresor que tiene la tecnología más actual ya que se emplea un compresor Wisemotion de la fabricante Embraco, esta tecnología se va a tener un ahorro en el consumo energético del 20% con respecto al compresor lineal como se puede ver en la figura 58.

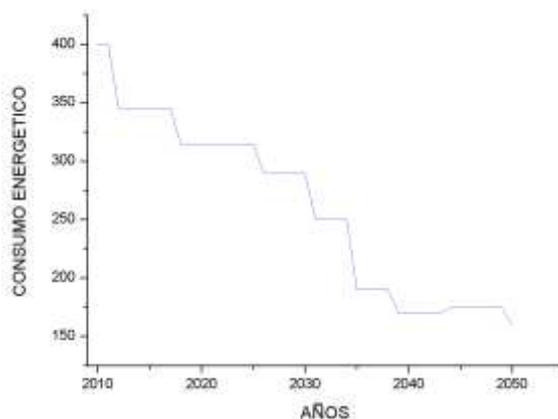


Figura 58: Tendencia del consumo energético del compresor con la tecnología 4 **Fuente:** Autores

4.4.1.5.5 Determinación de escenarios en relación a los casos.

- **Caso 1**

En este caso se va a utilizar un compresor recíprocante “Embraco Full Motion” con una potencia de ¼ hp, refrigerante R134a y sistema monitoreado por un controlador de perilla o termostato, se considerará este escenario como actual ya que es el más común aplicado a refrigeradores domésticos en el Ecuador y por lo tanto se va a identificar los datos de las variables que servirán para comparar con los otros escenarios de tecnologías que se simularán.

Compresor	Compresor recíprocante “Embraco Full Motion” con una potencia de ¼ hp
Energía Consumida por el compresor	337,2 kWh/año
Refrigerante	R134a
Consumo energético	345,39 kWh/año
Costo PVP	\$450.00
COP	3,129
Potencia Frigorífica	344,7 kJ/m3

Tabla 26: Variables Exógenas Caso 1 **Fuente:** Autores.

- **Caso 2**

Para este caso la tecnología que se va a usar en la simulación del modelo es un compresor lineal con un solo pistón, con potencia de 1/6 hp, refrigerante R600a y un controlador digital que facilita el uso del refrigerador. Según lo mencionado en el capítulo anterior con esta tecnología aplicada en los refrigeradores Side by Side se tiene un 40% adicional de eficiencia en relación a los refrigeradores que usan el compresor recíprocante “Embraco Full Motion”, así también en los refrigeradores Topmount va a ser un 12% más eficiente que usar un compresor recíprocante “Embraco Full Motion”, esta tecnología es aplicada en los refrigeradores Samsung y Lg.

Compresor	Compresor lineal de 1/6 hp
Energía Consumida por el compresor	296,74 kWh/año
Refrigerante	R600a
Consumo energético	320 kWh/año
Costo PVP	\$619,99
COP	4,017
Potencia Frigorífica	159,7 kJ/m ³

Tabla 27: Variables Exógenas Caso 2 **Fuente:** Autores.

- **Caso 3**

En este caso se usara un compresor recíprocante “Embraco Full Motion” con una potencia de ¼ hp, un controlador digital y el refrigerante R600a, para el uso de esta tecnología sería necesario cambiar el refrigerante de uso común R134a por el R600a, teniendo en cuenta que esta sustitución implica un mejor almacenamiento para el uso del refrigerante dentro de la industria y los costos de emplear este cambio en la planta de producción se vería afectado, lo positivo se vería en el aumento de la eficiencia energética y en el cuidado del medio ambiente.

Compresor	Compresor recíprocante “Embraco Full Motion” con una potencia de ¼ hp
Energía Consumida por el compresor	337,2 kWh/año
Refrigerante	R600a
Consumo energético	377 kWh/año
Costo PVP	\$551
COP	3,348
Potencia Frigorífica	134 kJ/m ³

Tabla 28: Variables Exógenas Caso 3 **Fuente:** Autores.

- **Caso 4**

En este caso se utilizara un compresor que está introduciéndose en el mercado y es el compresor Wisemotion del fabricante Embraco que al ser más pequeño libera 20 litros más de capacidad de almacenamiento, este compresor está diseñado para funcionar con refrigerante y se va a utilizar un controlador digital, se debe tomar en cuenta que un 20% más eficiente que el compresor Full Motilón que se usa en la actualidad.

Compresor	Compresor recíprocante “Embraco WiseMotion”
Energía Consumida por el compresor	20% < compresor recíprocante
Refrigerante	R600a
Consumo energético	265,76 kWh/año
Costo PVP	-
COP	4,579
Potencia Frigorífica	180,2 kJ/m ³

Tabla 29: Variables Exógenas Caso 4 **Fuente:** Autores.

Con estos 4 casos definidos y en base a las variables obtenidas podemos proponer un quinto caso el cual toma las variables endógenas del caso 4 por la razón de tener la tecnología más eficiente basándonos en el COP, pero con la implementación de suposiciones con aspectos positivos en referentes al uso adecuado, la ubicación del artefacto en la habitación, al piso climático.

- **Caso 5.**

En este escenario se presenta con las mismas variables del caso 4 pero tomando como un impacto positivo al consumo energético de las variables exógenas, es decir que no afecten en lo absoluto a su funcionamiento del compresor. Las variables exógenas de tipo soft presentan un factor de impacto igual a 1 de tal manera que no incrementen el consumo del compresor.

Se establece las siguientes variables exógenas con base a las siguientes suposiciones y parámetros:

- Suponemos un refrigerador que puede operar tanto en región tropical como en subtropical rindiendo de igual manera en ambos pisos térmicos.
- Mantener al refrigerador en un lugar óptimo dentro de la habitación en el que disponga de una buena ventilación
- Dar un uso adecuado al refrigerador de acuerdo a los manuales de usuario

4.5 Construcción del modelo mediante el uso del software VenSim PLE PLUS para determinar la influencia de los parámetros tecnológicos en la mejora de la eficiencia energética y valorarlo a través de escenarios.

La construcción del modelo se plantea en tres partes, primero se determina la cantidad de refrigeradores en operación en Ecuador, luego se determina la demanda y cantidad de equipos fabricados en el país y por último se determina el consumo energético a nivel nacional para cada tecnología propuesta anteriormente.

Para el primer diagrama causal en el que se establece la proyección de la población, cantidad de hogares, posesión de refrigeradores por hogar, cantidad de equipos dañados y la cantidad de refrigeradores en operación.

Entre las variables establecidas anteriormente como endógenas y exógenas, se procede a realizar el círculo de conexiones (ver figura 59) en busca de establecer la relación entre variables para construir el diagrama causal para analizar la tendencia de dichas variables.

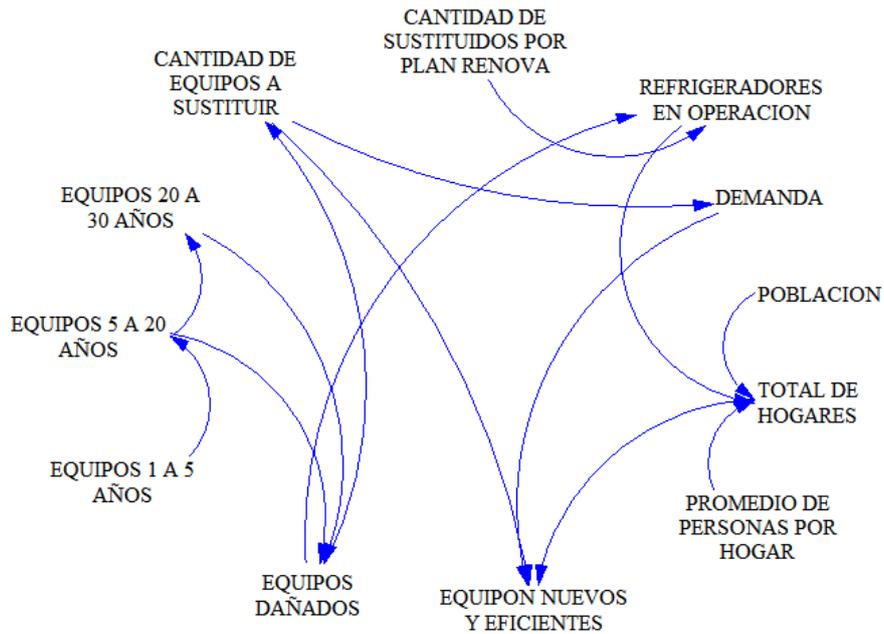


Figura 59: Circulo de conexiones de variables **Fuente:** Autores

Con el circulo de conexiones se procede a la modelación del mismo, para analizar la tendencia de dichas variables se establece un rango para su análisis de entre el año 2010 al año 2050, se considera este período por cuanto el éxito de la introducción de una nueva tecnología a nivel industrial requiere un gran espacio de tiempo para determinar los impactos que pueden ocasionar. En la figura 60 se puede observar el ingreso de datos en cuanto al período de análisis y el paso del tiempo.

Time Boundaries for the Model

INITIAL TIME = 2010

FINAL TIME = 2050

TIME STEP = 0.5

Save results every TIME STEP
or use SAVEPER =

Units for Time Year

Integration Type Euler

Figura 60: Rango de análisis para los modelos planteados **Fuente:** Autores

El diagrama causal establecido de la siguiente manera:

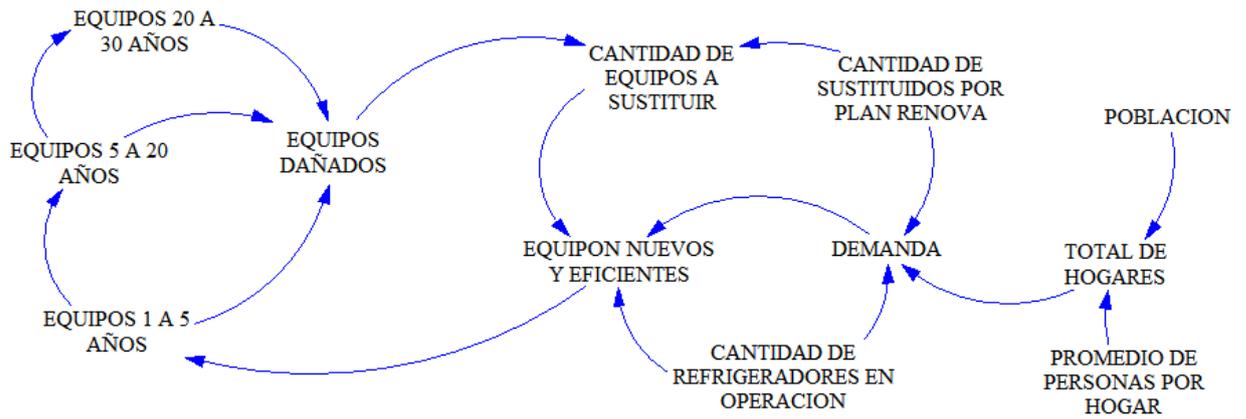


Figura 61: Diagrama causal **Fuente:** Autores

Con la importación de bases de datos poblacionales de la INEC [93] y otro estudios realizados se ingresan los datos y ecuaciones en las variables obteniendo las siguientes graficas en las cual podemos ver la tendencia del país a los próximos 30 años [7], [37] [92].

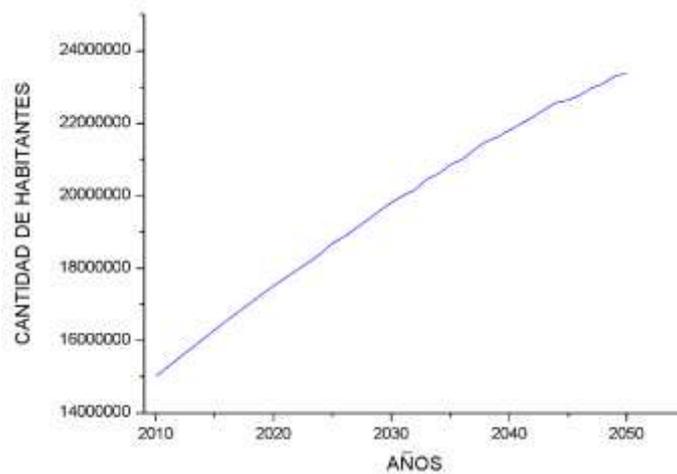


Figura 62: Cantidad de habitantes en el Ecuador periodo 2010 - 2050 **Fuente:** Autores

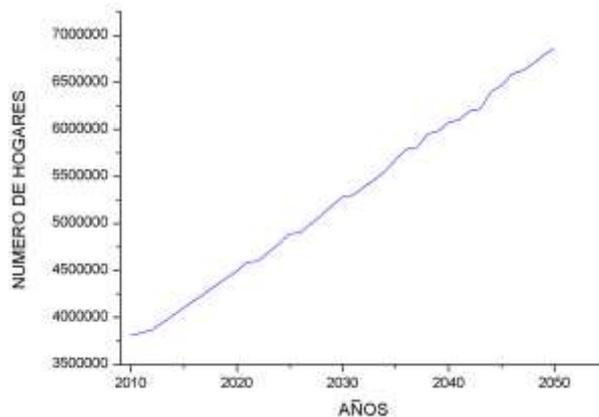


Figura 63: Número de hogares en el Ecuador periodo 2010 - 2050 **Fuente:** Autores

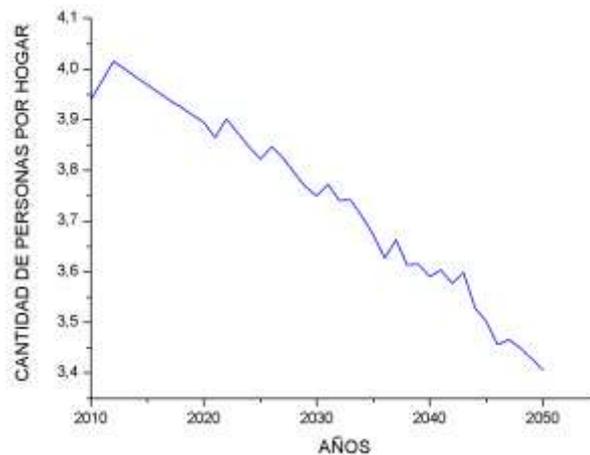


Figura 64: Cantidad de personas por hogar en el Ecuador periodo 2010 - 2050 **Fuente:** Autores

El círculo de conexiones se realizó para establecer la relación entre la demanda y la cantidad de equipos fabricados en el país, queda relacionado de la siguiente manera.

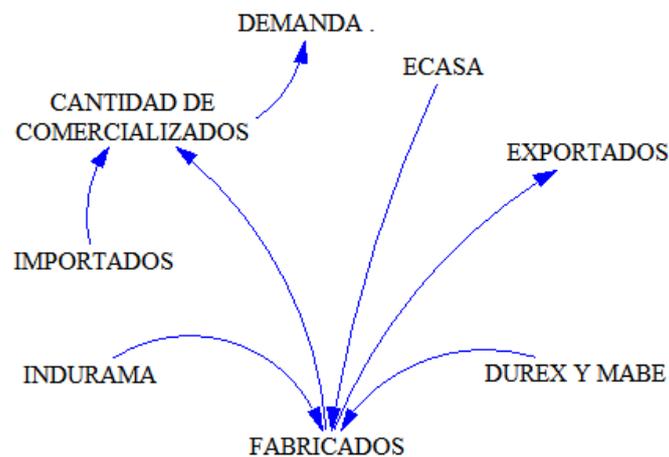


Figura 65: Círculo de conexiones para determinar la demanda de refrigeradores domésticos **Fuente:** Autores

Las variables de cantidad de refrigeradores se ingresan en porcentajes tomando en cuenta la cantidad de equipos comercializados y fabricados de cada empresa, para INDURAMA le corresponde el 40% con una producción de 96000 refrigeradores, a ECASA le corresponde el 8% que equivale a 19200 refrigeradores y para DUREX Y MABE el 35 % con un producción de 84000 refrigeradores, y el 17 % restante le corresponde a los equipos importados [92].

Estas variables se incluyen en el modelo y obtenemos el siguiente diagrama causal.



Figura 66: Diagrama causal **Fuente:** Autores

En la gráfica se puede observar como incrementa la demanda de refrigeradores con respecto a la cantidad de hogares determinadas en la figura 67.

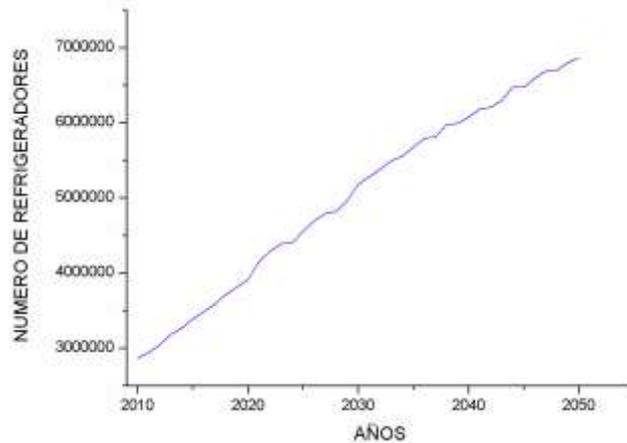


Figura 67: Número de refrigeradores construidos en el Ecuador periodo 2010 - 2050 **Fuente:** Autores

Para cumplir con el objetivo de este proyecto se incluyen las variables tecnológicas que influyan en el consumo energético, como las variables del piso climático, ubicación adecuada, uso adecuado, el consumo del compresor, el rendimiento y la tecnología aplicada. La tecnología aplicada varía dependiendo del caso que analicemos y los avances tecnológicos de embraco se han establecido con un 20% en las mejoras de la eficiencia energética y los avances tecnológicos de LG con un 27% con respecto a los compresores que sustituyan.[70], [71] En base a estos porcentajes se estableció una tendencia a 30 años después.

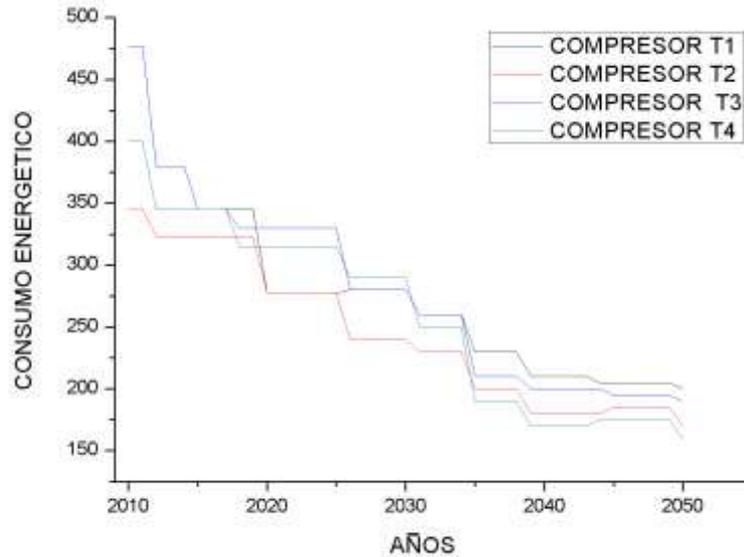


Figura 68: Consumo energético de los compresores en el Ecuador periodo 2010 - 2050 **Fuente:** Autores

El diagrama causal nos queda establecido de la siguiente manera

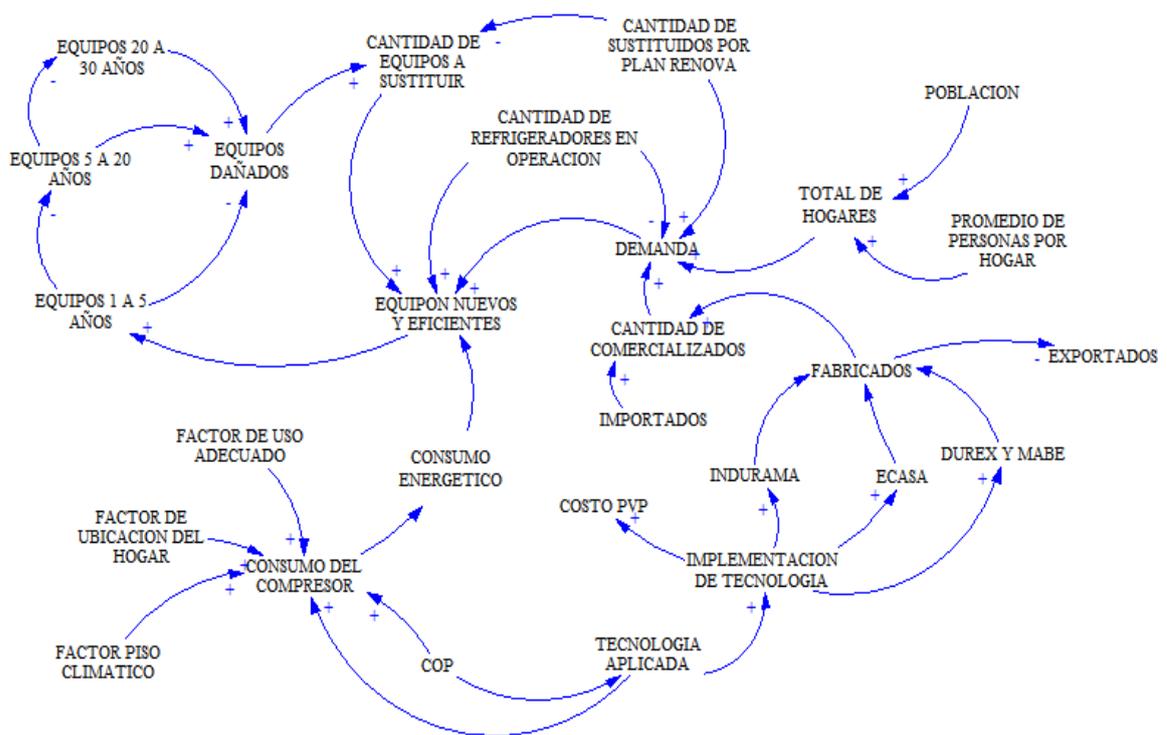


Figura 69: Diagrama causal **Fuente:** Autores

Como se observa en la figura 69 la relación que tienen los equipos nuevos y eficientes con los equipos de 1 a 5 años, equipos dañados y la cantidad de equipos a sustituir, es decir que a más equipos de 1 a 5 años existirán menos equipos dañados, en consecuencia es menor la cantidad de equipos a sustituir, teniendo más equipos nuevos y eficientes.

Con el modelo establecido se ingresa las variables en el último diagrama causal generado, para cada caso analizamos las gráficas que nos presente cada escenario.

5. Metodología.

Para la construcción del modelo de simulación se utiliza la metodología de Dinámica De Sistemas en la que se desarrolló y analizó las temáticas de eficiencia energética que se presentan en los diversos países de Latinoamérica, poniendo énfasis en los programas que incentivaron al análisis de las tecnologías existentes en cada uno de ellos.

A continuación presentamos la estructura metodológica en la cual se desarrolló este proyecto investigativo.

5.1 Tipo de investigación.

El tipo de investigación que se lleva a cabo de acuerdo al problema planteado es de tipo Perceptual, Aprehensiva y Compresiva.

- Investigación perceptual

Este tipo de investigación es exploratoria y descriptiva, se exploró un tema puntal que no ha sido investigado en el país. En el cual se basó el problema general y el primer objetivo específico de nuestro proyecto

- Investigación aprehensiva

Con este tipo de investigación se pudo analizar toda la información recopilada sobre las políticas, programas y normativas energéticas en los diferentes países, además de analizar las tecnologías de los diferentes fabricantes a nivel mundial para luego, mediante tablas comparativas y análisis termodinámicos compararlas entre sí para concluir con la determinación de los indicadores tecnológicos y proponer la opción más óptima que se simulara en el modelo dinámico.

- Investigación comprensiva

Mediante una investigación explicativa, predictiva y proyectiva se establece y se propone el modelo dinámico de sistemas que nos permite analizar las tendencias que se puede presentar en nuestro país en base a escenarios planteados.

5.2 Diseño de la investigación.

Con los tipos de investigación definidos en base al problema planteado se adecuo el proyecto a los propósitos de la investigación documental y experimental para dar la solución al problema planteado.

Con la investigación, recopilación y análisis de datos procedentes de artículos, libros, publicaciones, tesis, informes ministeriales y sitios web se definió la estructura del proyecto a una investigación Documental.

Con la estructura fija y con los objetivos iniciales concluidos se pasa a la etapa experimental el cual es el desarrollo del modelo dinámico y su respectivo análisis de resultados.

5.2.1 Fases metodológicas

Fase I

Analizar el estado del arte de la tecnología utilizadas en equipos de refrigeración doméstica en países de Latinoamérica como Ecuador, México, Colombia, Brasil, Chile, etc.

Fase II

Establecer un análisis comparativo en base al consumo energético de las tecnologías utilizadas en refrigeración doméstica en Latinoamérica.

Fase III

Determinar de variables exógenas y endógenas, para construir diagramas causales en base a los datos, valores e información de cada variable.

Fase IV

Construir el modelo mediante el uso del software VenSim PLE PLUS para determinar la influencia de los parámetros tecnológicos en la mejora de la eficiencia energética y valorarlo a través de escenarios.

5.2.2 Los instrumentos de recolección de información.

Para el desarrollo de esta investigación fue necesario el uso de herramientas informáticas que permitieron recolectar toda la información de los ministerios como los programas, políticas y normativas energéticas, una de las herramientas más importantes fue la consulta de documentos escritos (publicaciones) en los cuales se obtuvo información directamente de los manuales y fichas técnicas de las tecnologías de los refrigeradores domésticos.

Las fuentes principales para el análisis fueron los documentos de la OLADE, CEPAL, acuerdo de MONTREAL y publicaciones científicas de los fabricantes de equipos de línea blanca como LG, estas fuentes poseen información de gran importancia para este proyecto.

6. Resultados y discusión

A continuación se presenta el desarrollo del modelo de dinámica de sistemas que permite analizar las variables tecnológicas que influyen en el consumo energético de un refrigerador doméstico, en base a tecnologías que pueden implementarse, sustituirse o mantenerse hasta el año 2050, cumpliendo con el objetivo específico: " Construir el modelo mediante el uso del software VenSim PLE PLUS para determinar la influencia

de los parámetros tecnológicos en la mejora de la eficiencia energética y valorarlo a través de escenarios. El modelo dinámico se desarrolló mediante el software Vensim® PLE Plus con la integración de base de datos poblacionales desde Microsoft Excel y las variables analizadas en el literal 4.4 y 4.5. Para validar el modelo generado se realizó la comparación y verificación de las tendencias del escenario actual con datos históricos de demanda de refrigeradores, proyecciones de ahorro eléctrico por uso de refrigeradores eficientes y sobre todo aquellos que hacen referencia al crecimiento del número de refrigeradores domésticos en el Ecuador.

6.1 Resultados de simulación para el escenario actual.

Con el periodo de análisis establecido anteriormente entre los años 2010 y 2050 se observó que la demanda se incrementará de aproximadamente 3 millones de refrigeradores a 6,9 millones de refrigeradores, respectivamente.

Con una demanda actual de 3,5 millones de refrigeradores

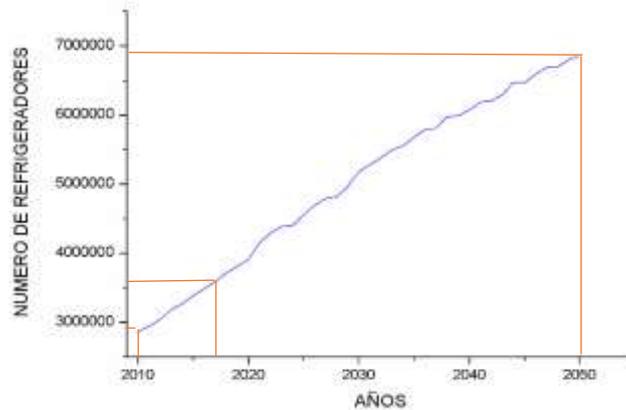


Figura 70: Cantidad de refrigeradores domésticos operativos en el Ecuador periodo 2010 - 2050
Fuente: Autores

Al tener que la cantidad de refrigeradores incrementan en cantidad y la población también tiende a incrementar en habitantes se determinó que la posesión de refrigeradores por hogar se establece en 1 a partir del año 2031, es decir que para el año 2050 por cada 3,4 personas existirá un refrigerador.

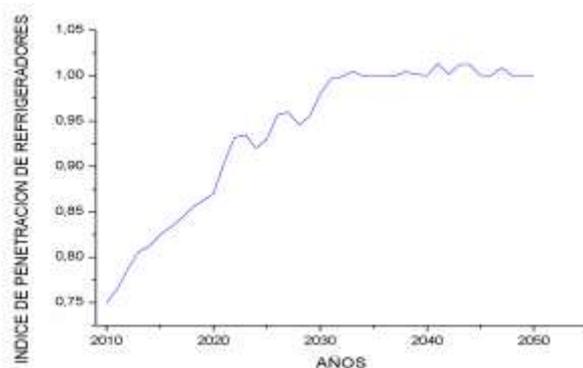


Figura 71: Índice de penetración de refrigeradores domésticos en el Ecuador periodo 2010 - 2050
Fuente: Autores

6.2 Análisis de resultados bajo escenarios.

Con la intención de hacer propuestas que, a la postre lleven a conseguir ahorros eléctrico significativos, se ha planteado distintos escenarios de acuerdo a la incorporación de tecnologías de punta en los procesos de fabricación de refrigeradores domésticos, de la siguiente manera:

- Escenario 1: Incorporación de la tecnología del compresor lineal y refrigerante R600a, tecnología utilizada por refrigeradores LG y SAMSUNG.
- Escenario 2: Incorporación del refrigerante R600a al compresor recíprocante Embraco FULLMOTION, tecnología utilizada por refrigeradores HACEB, MADEMSA y WHIRPOOL
- Escenario 3: Incorporación del compresor Embraco WISEMOTION y refrigerante R600a, tendencia tecnológica de los refrigeradores de Latinoamérica.
- Escenario 4: Incorporación y propuesta tecnológica del compresor Embraco WISEMOTION, refrigerante R600a y sin factores exógenos que afecten al consumo energético

Los escenarios planteados aportan significativamente en el modelo y sobretodo con el análisis de resultados se puede establecer estrategias y políticas que pueden implementarse a corto, mediano y largo plazo

Para la validación del modelo mediante escenarios se denomina a la tecnología del caso 1 como el escenario actual ya que es la tecnología con la que se fabrican los refrigeradores en nuestro medio, y con la posibilidad de introducir otros valores en distintas variables nos permite establecer una comparación y analizar las proyecciones a las que tiende el consumo energético, al tener establecido los valores del consumo a nivel general de los equipos fabricados y en operación a nivel del país, tenemos la unidad expresada en TWh/año.

Los resultados del escenario actual con un refrigerador que consume 345,39 kWh/año se tiene para el 2010 un consumo general 1,3 TWh/año con una posesión de refrigerados por hogar de 0,6. Para el año 2031 cuando se estima tener un refrigerador por hogar el consumo energético se encuentra alrededor de 2,309 TWh/año y para año 2050 un valor cerca de los 3,558 TWh/año

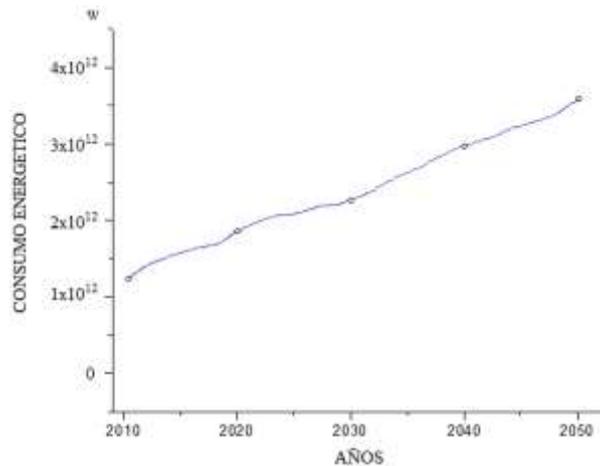


Figura 72: Consumo energético en TWh/año para la tecnología del escenario actual. **Fuente:** Autores

Los escenarios planteados aportan significativamente en el modelo y sobretodo con el análisis de resultados se puede establecer estrategias y políticas que pueden implementarse a corto, mediano y largo plazo.

Escenario 1: Este escenario se establece con variables del caso 2 que nos presentan resultados optimistas, aplicando la tecnología del compresor lineal y el refrigerante R600a de los refrigeradores LG y SAMSUNG que son marcas líder a nivel mundial.

- Resultados obtenidos

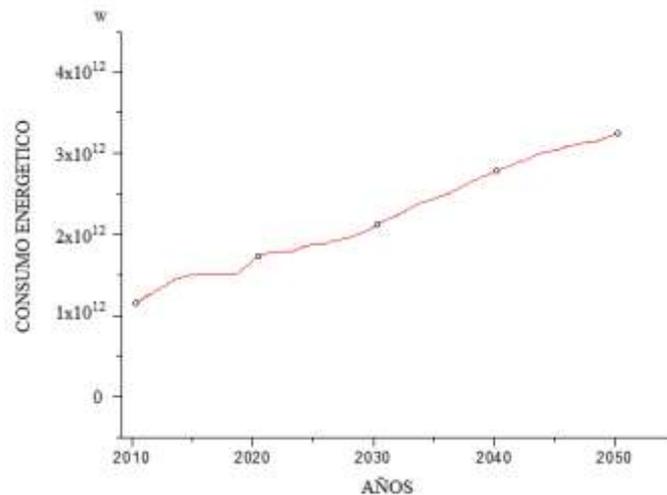


Figura 73: Consumo energético en TWh/año para la tecnología del escenario 1. **Fuente:** Autores

Los resultados del escenario 1 con un refrigerador que consume 323 kWh/año se tiene para el 2010 un consumo general 1,100 TWh/año con una posesión de refrigerados por hogar de 0,6. Para el año 2031 cuando se estima tener un refrigerador por hogar el consumo energético se encuentra alrededor de 2,001 TWh/año y para año 2050 un valor cerca de los 3,202 TWh/año.

--- Consumo energético en TWh/año para la tecnología del escenario 1
 ---- Consumo energético en TWh/año para la tecnología del escenario actual

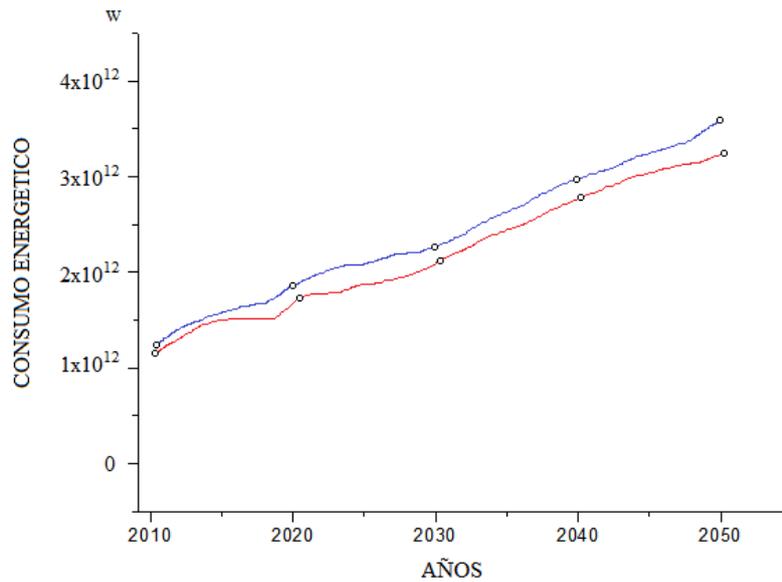


Figura 74: Grafica comparativa del Consumo energético entre el escenario actual y escenario 1.
Fuente: Autores

	2020	2031	2040	2050	consumo acumulado
Escenario actual	1,845 TWh/año	2,309 TWh/año	3,012 TWh/año	3,558 TWh/año	10,724 TWh/año
Escenario 1	1,482 TWh/año	2,001 TWh/año	2,772 TWh/año	3,202 TWh/año	9,457 TWh/año
Ahorro energético	0,363 TWh/año	0,308 TWh/año	0,24 TWh/año	0,356 TWh/año	1,267 TWh/año
Porcentaje de ahorro	20%	13%	8%	10%	13 %

Tabla 30: Análisis comparativo del consumo energético entre el escenario actual y escenario 1.
Fuente: Autores

Estos ahorros energéticos con un promedio del 13% cumplen con altos estándares de eficiencia energética y se comprobó lo que estableció LG, que su compresor lineal genera ahorros entre el 12 % y 20 % en el consumo[71], con este modelo se puede comprobar que el compresor lineal es una variable tecnológica que influye en el consumo energético.

Escenario 2: Este escenario se establece con variables del caso 3, con la utilización del mismo compresor del caso 1 y solo cambiaría el refrigerante de R134a a R600a, esta tecnología se puede encontrar en refrigeradores de marca HACEB de Colombia y MADEMSA de Chile.

- Resultados obtenidos

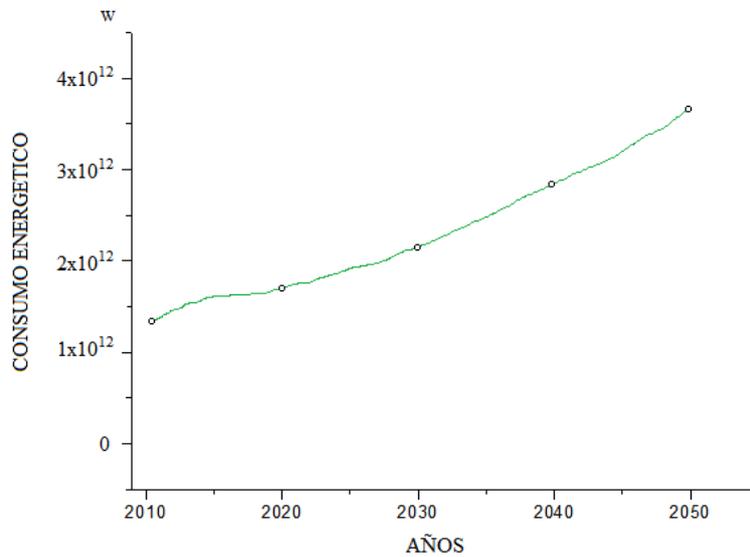


Figura 75: Consumo energético en TWh/año para la tecnología del escenario 2 **Fuente:** Autores

Los resultados del escenario 2 con un refrigerador que consume 377 kWh/año se tiene para el año 2010 un consumo general 1,350 TWh/año con una posesión de refrigeradores por hogar de 0,6. Para el año 2031 cuando se estima tener un refrigerador por hogar el consumo energético se encuentra alrededor de 2,101TWh/año y para el año 2050 un valor cerca de los 3,59 TWh/año.

----- Consumo energetico en TWh/año para la tecnologia del escenario 2.

----- Consumo energetico en TWh/año para la tecnologia del escenario actual.

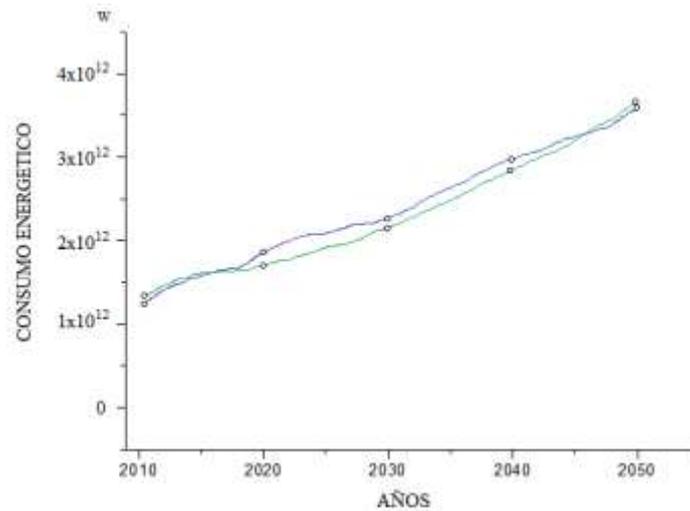


Figura 76: Grafica comparativa del Consumo energético entre el escenario actual y escenario 2.
Fuente: Autores

	2020	2031	2040	2050	consumo acumulado
Escenario actual	1,845 TWh/año	2,309 TWh/año	3,012 TWh/año	3,558 TWh/año	10,724 TWh/año
Escenario 2	1,57 TWh/año	2,101 TWh/año	2,872 TWh/año	3,59 TWh/año	10,133 TWh/año
Ahorro energético	0,275 TWh/año	0,208 TWh/año	0,14 TWh/año	-0,032 TWh/año	0,591 TWh/año
Porcentaje de ahorro	15%	9%	5%	-1%	7%

Tabla 31: Análisis comparativo del consumo energético entre el escenario actual y escenario 2.
Fuente: Autores

Los ahorros energéticos de este modelo no son muy altos debido a que solo la implementación del refrigerante genera un menor trabajo en el compresor por su baja compresibilidad pero el consumo energético lo establece el compresor y la variable tecnológica que influye esa disminución en el consumo energético es el refrigerante utilizado.

La implementación de esta tecnología incrementará su costo final del producto debido a que la planta productiva debe adecuarse a las normativas y seguridad industrial del refrigerante R600a por su alta inflamabilidad.

Escenario 3: este escenario se establece con las variables del escenario 3, en la que se considera los avances tecnológicos de los compresores embraco con la innovación del nuevo compresor Wisemotion.

- Resultados obtenidos

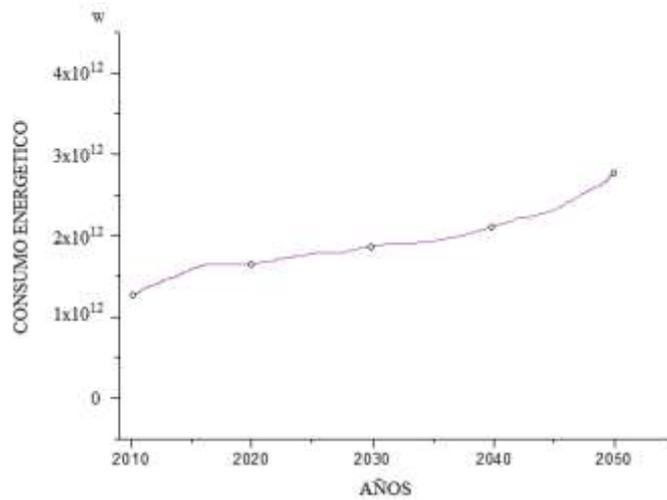


Figura 77: Consumo energético en TWh/año para la tecnología del escenario 3.
Fuente: Autores

Los resultados del escenario 3 tenemos que desde el 2010 hasta el 2018 no existe ahorro energético debido a que a partir de este año se implementa esta nueva tecnología. Para el año 2031 cuando se estima tener un refrigerador por hogar el consumo energético se encuentra alrededor de 1,830 TWh/año y para año 2050 un valor cerca de los 2,852 TWh/año.

- Consumo energético en TWh/año para la tecnología del escenario 3.
- Consumo energético en TWh/año para la tecnología del escenario actual.

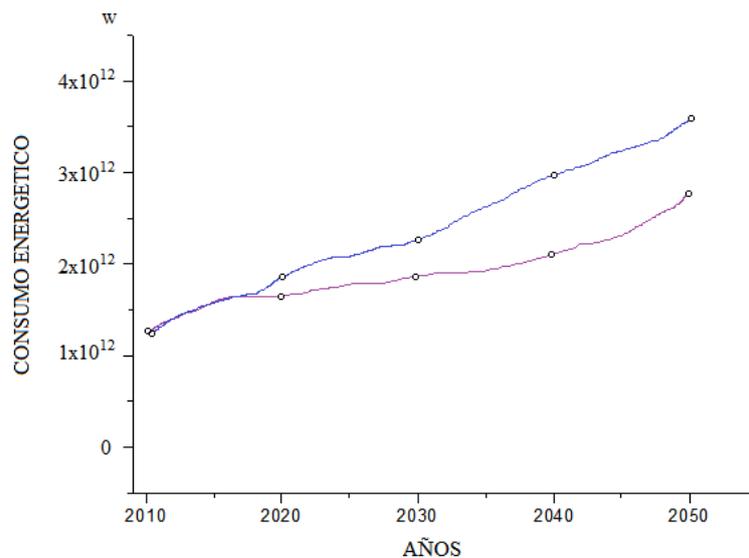


Figura 78: Grafica comparativa del Consumo energético entre el escenario actual y el escenario 3. **Fuente:** Autores

	2020	2031	2040	2050	consumo acumulado
Escenario Actual	1,845 TWh/año	2,309 TWh/año	3,012 TWh/año	3,558 TWh/año	10,724 TWh/año
Escenario 3	1,602 TWh/año	1,83 TWh/año	2,197 TWh/año	2,852 TWh/año	8,481 TWh/año
Ahorro energético	0,243 TWh/año	0,479 TWh/año	0,815 TWh/año	0,706 TWh/año	2,243 TWh/año
Porcentaje de ahorro	13%	21%	27%	20%	20%

Tabla 32: Análisis comparativo del consumo energético entre el escenario actual y el escenario 3. **Fuente:** Autores

En este caso los ahorros energéticos oscilan entre un 13% y 27% cumpliendo con lo que establece embraco con la introducción de su compresor Wisemotion que genera ahorros energéticos alrededor del 20% en el consumo y también libera 20 litros en la capacidad del refrigerador lo que influye favorablemente en el etiquetado energético.

La implementación de esta tecnología no incrementara de manera considerable en el costo final del producto debido a que las empresas locales mantienen convenios laborales con los proveedores de la marca embraco. Tomando en cuenta que este compresor está diseñado específicamente para el refrigerante R600a.

Escenario 4: este escenario es una propuesta con las variables tecnológicas que menos consumo generan, usando variables muy optimistas que se determinó en el caso 5, teniendo las mismas variables endógenas del caso 4 y con la suposición de que las variables exógenas impacten de manera positiva al consumo energético.

- Resultados obtenidos

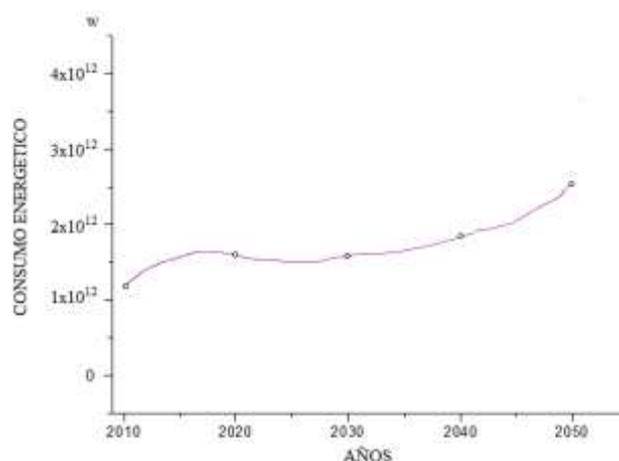


Figura: 79 Consumo energético en TWh/año ara la tecnología del escenario 4 **Fuente:** Autores

Los resultados del escenario 4 son muy optimistas y nos indica que para el año 2031 en donde se estima tener un refrigerador por hogar el consumo energético se encuentra alrededor de 1,50 TWh/año y para año 2050 un valor cerca de los 2,50 TWh/año.

- Consumo energético en TWh/año para la tecnología del Escenario 4.
- Consumo energético en TWh/año para la tecnología del Escenario actual.

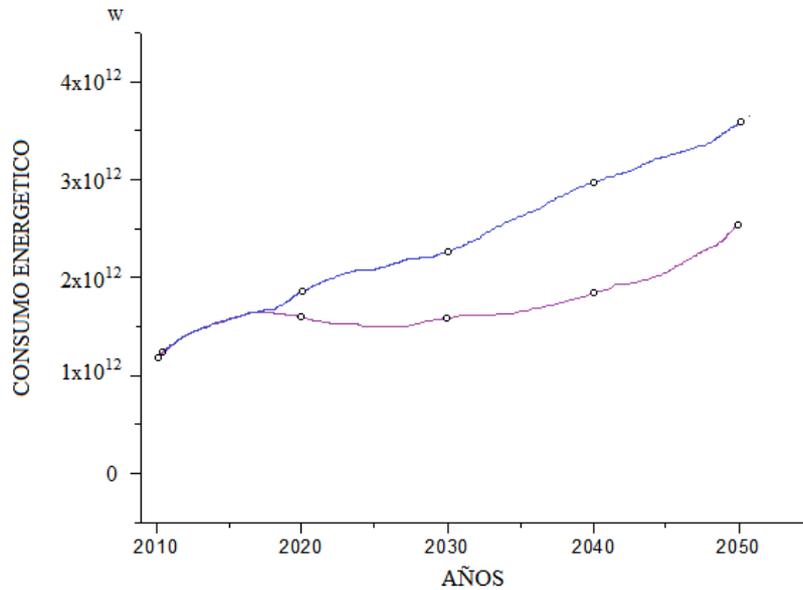


Figura 80: Grafica comparativa del Consumo energético entre el escenario actual y el escenario 4. **Fuente:** Autores

	2020	2031	2040	2050	consumo acumulado
Escenario actual	1,845 TWh/año	2,309 TWh/año	3,012 TWh/año	3,558 TWh/año	10,724 TWh/año
Escenario 4	1,573 TWh/año	1,586 TWh/año	2,197 TWh/año	2,576 TWh/año	7,932 TWh/año
Ahorro energético	0,272 TWh/año	0,723 TWh/año	0,815 TWh/año	0,982 TWh/año	2,792 TWh/año
Porcentaje de ahorro	15%	31%	27%	28%	25%

Tabla 33: Análisis comparativo del consumo energético entre el escenario actual y escenario 4. **Fuente:** Autores

En este caso se tiene a la tecnología 1 que es de donde se partió el estudio ya que es el escenario que vivimos día a día versus un escenario optimista se puede observar los ahorros energéticos oscila entre 15% y 31%, esto nos demuestra que si seguimos el manual de uso del refrigerador domestico al 100%, teniendo una cultura energética, una ubicación correcta en la cocina se tendría un ahorro significativo en el consumo energético, es por eso que se necesita de campañas de concientización y educación en el uso del refrigerador doméstico.

7. Conclusiones.

Al analizar la situación actual de los diversos países de Latinoamérica, se observó que antes de implementarse ciertas políticas, programas, normativas y estándares de

eficiencia energética se tenían grandes consumo de energía eléctrica y dentro los hogares el refrigerador domestico llegaba a obtener consumos de hasta el 30% de energía respecto al consumo total del hogar en la planilla mensual, y consumos de hasta el 60% con refrigeradores existentes con más de 15 años de vida útil, por este motivo se estableció un estudio y análisis de las tecnologías utilizadas en busca de las variables tecnológicas que nos brinden mejorar considerables para disminuir el consumo energético.

En nuestro país, la mayoría de los usuarios de refrigeradores domésticos, los adquieren tomando en cuenta únicamente el precio y el modelo de equipo, sin dar importancia a la eficiencia energética que posee, identificada en la etiqueta energética.

El consumo eléctrico excesivo de los refrigeradores domésticos, sean estos por haber superado su vida útil o por mala utilización, ha sido motivo de discusión a nivel mundial, por lo que se ha podido identificar que varios países, sobre todo de Latinoamérica, como Ecuador, Colombia y México, están implementado políticas de eficiencia energética que están llevando a conseguir ahorros eléctricos significativos.

En la revisión de las tecnologías utilizadas en los tipos de refrigeradores más vendidos, se ha podido observar que son comunes en gran parte de países de Latinoamérica, únicamente se ha identificado cambios tecnológicos en marcas de refrigeradores como LG, SAMSUNG y ELECTROLUX, que por su precio más elevado es notable una mejor calidad en el producto y una mayor eficiencia.

Con la variación en los componentes de los refrigeradores más eficientes se pudo establecer que las variables tecnológicas que influyen en el consumo energético, son el compresor y el refrigerante, ya que ambos están ligados directamente al consumo energético.

Para los fabricantes de refrigeradores domésticos, el impacto que se puede generar al implementar un compresor más eficiente podría ser significativo en términos de eficiencia energética de los equipos producidos, además que no requiere una mayor inversión en la línea de producción.

Para la fabricación de equipos de refrigeración doméstica que utilicen refrigerante R600a, exige a los fabricantes implementar cambios en sus instalaciones, lo que significaría una gran inversión inicial, tomando en cuenta que al tratarse de un hidrocarburo, mismo que tiene una alto índice de inflamabilidad.

Con el análisis termodinámico en los cuatro casos establecidos, además de lo que se mencionan en varias investigaciones, se concluye que los sistemas con refrigerante R600a alcanza un nivel de eficiencia mayor que aquellos que utilizan el refrigerante R134a; lo que indica que el compresor realiza menos trabajo para comprimir el fluido generando un COP más alto. En este sentido se determinó que el uso de compresores lineales, se puede conseguir mejoras en la eficiencia energética, además de que son silenciosos, compactos y con mayor capacidad de control.

Para tener un modelo dinámico que identifique con mayor exactitud la realidad de un sistema es importante la determinación de las variables endógenas y exógenas, ya que de ellas dependen los resultados.

Los ahorros energéticos que se pueden conseguir por el cambio del compresor en el refrigerador doméstico, resultaron alrededor del 12% al 20%. Es importante puntualizar que el compresor más eficiente comercializado solo trabaja con el refrigerante R600a.

8. Recomendaciones.

Se recomienda a los gobiernos establecer programas de publicidad de los procesos normativos y de etiquetado energético a fin de motivar a la población a consumir electrodomésticos eficientes, buenas prácticas de uso, además de conocer la ubicación correcta dentro del hogar, todas con el objetivo de conseguir un ahorro en el consumo eléctrico; en definitiva generar una conciencia cultural sobre eficiencia energética.

De igual manera se recomienda a las entidades gubernamentales de control, que sigan trabajando en los procesos normativos pertinentes a fin de que en el país se comercialicen equipos de refrigeración doméstica eficientes.

Este trabajo puede aportar de alguna manera a las empresas fabricantes de refrigeradores domésticos, ya que se ha desarrollado un análisis de distintos tipos de compresores y su incidencia en el consumo eléctrico en el refrigerador, lo que permite contar con algunos detalles de las nuevas tecnologías disponibles en el mercado.

Para la implementación del refrigerante R600a en el refrigerador doméstico, se recomienda analizar la posibilidad de colocar algún químico que lo olorce, ya que en posibles fugas puede representar algún riesgo para la integridad de los usuarios.

9. Bibliografía y referencias.

- [1] N. G. Jara, I. Sánchez, H. Pérez, C. Isaza-Roldan, L. Gallón, y D. P. Giraldo, *Assessment of energy savings by use of domestic refrigerators in Mexico*. ResearchGate, 2016.
- [2] M. T. Sánchez y Pineda de las Infantas, M. T. Sánchez, y P. de las Infantas, “Ingeniería del frío: Teoría y Práctica”, *Ediciones Madr. Vicente*, 2001.
- [3] L. A. Horta Nogueira y others, “Indicadores de políticas públicas en materia de eficiencia energética en América Latina y el Caribe”, 2010.
- [4] Naciones Unidas, “Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente”, 2014.
- [5] C. Sheinbaum, M. Martinez, y L. Rodriguez, “Trends and prospects in Mexican residential energy use”, *Energy*, vol. 21, núm. 6, pp. 493–504, 1996.
- [6] C. J. Hermes y C. Melo, “A first-principles simulation model for the start-up and cycling transients of household refrigerators”, *Int. J. Refrig.*, vol. 31, núm. 8, pp. 1341–1357, 2008.
- [7] H. P. Morocho Campos, J. I. Ortiz González, y N. G. Jara Cobos, «Modelo dinámico para el estudio de la implementación de índices de eficiencia energética en refrigeración doméstica, caso Ecuador», B.S. thesis, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2017.
- [8] E. C. Corte Juela, C. A. Flores Suqui, y N. G. Jara Cobos, «Estudio de los parámetros de operación de un refrigerador doméstico que opera con refrigerantes R600a», B.S. thesis, Universidad Politécnica Salesiana, 2015.
- [9] D. M. Álvarez Abad y N. G. Jara Cobos, «Evaluación de los impactos en el consumo de energía eléctrica asociados al uso de refrigeradores eficientes en el Ecuador: Programa Renova Refrigerador», B.S. thesis, Universidad Politécnica Salesiana, 2015.
- [10] Banco Mundial Departamento de Desarrollo Sostenible, “Resumen del documento del Proyecto sobre una propuesta de donación del fondo FIDUCIARIO del FMAM por valor de US\$ 15,155 millones a la República Argentina para un proyecto de Eficiencia Energética”, 29-may-2008. .
- [11] Ministerio de Energía y Minas, “Programa Nacional De Uso Racional y Eficiente de la Energía”, 2007. .
- [12] Tecnología de la Información-Ministerio de Energía y Minería, “Secretaría de Energía - República Argentina”, 2013. [En línea]. Disponible en: <http://www.energia.gob.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3464>. [Consultado: 24-may-2017].
- [13] “Proyecto de Eficiencia Energética en la República Argentina – Programa de Etiquetado y Normalización de Eficiencia Energética | Aes”, 2008. .
- [14] “Ing. Pablo PAISAN, ‘Eficiencia Energética en Argentina Etiquetado’, Seminario Latinoamericano y del caribe de Eficiencia Energética, Montevideo, Uruguay, Abril 2016”. .
- [15] “C. G. Tanides, ‘PRIMERA EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA ETIQUETA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LOS REFRIGERADORES Y CONGELADORES DE LA ARGENTINA’, Departamento de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, 2007”. .
- [16] FRIMETAL S.A., “La Marca | Gafa - Siempre presentes en tu hogar”, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://www.gafa.com.ar/la-marca/>. [Consultado: 31-may-2017].
- [17] “Gafa Electrodomésticos, ‘GAFA MANUAL DE INSTRUCCIONES-REFRIGERADOR MODELO HFG357WS’, Argentina, Febrero 2017”. .
- [18] C. E. para A. L. y el Caribe, “Informe nacional de monitoreo de la eficiencia energética del Brasil”, 14-ago-2015. [En línea]. Disponible en:

- <http://www.cepal.org/es/publicaciones/38863-informe-nacional-monitoreo-la-eficiencia-energetica-brasil>. [Consultado: 22-may-2017].
- [19] CAF, “Energía: Una visión sobre los retos y oportunidades en América Latina y el Caribe. Eficiencia energética”, 2013.
- [20] Oscar M. Guzmán, “Eficiencia energética. Un panorama regional.” Enero-2009.
- [21] Fernando Pinto Dias Perrone, “Projetos e Políticas Públicas de Eficiência Energética no Brasil O PROCEL.”, 19-abr-2013. [En línea]. Disponible en: <http://docplayer.com.br/13269075-Projetos-e-politicas-publicas-de-eficiencia-energetica-no-brasil-o-procel-fernando-pinto-dias-perrone.html>. [Consultado: 02-jun-2017].
- [22] Esmaltec Eletrodomésticos S.A., “VENDE MAIS PORQUE É BOM. PONTO.” [En línea]. Disponible en: <http://www.esmaltec.com.br/>. [Consultado: 01-jun-2017].
- [23] “Esmaltec Electrodomésticos, ‘MANUAL DE INSTRUCCIONES RCD34_RCD38’, Brasil, 2014”. .
- [24] ANESCO CHILE, “La Asociación Nacional de Empresas de Eficiencia Energética”, *Anesco Chile*, 2017. .
- [25] Anesco Chile, “Eficiencia Energética en Chile”, 2017. .
- [26] “Ministerio de Energía, ‘PLAN DE ACCION DE EFICIENCIA ENERGETICA 2020’, Gobierno de Chile, 2014” . .
- [27] “Ministerio de Energía, ‘MANUAL DE ETIQUETADO ENERGETICO’, Programa Pais de Eficiencia Energetica, 2017.” .
- [28] “Marcelo Padilla, “Etiquetado y Estandares Minimios de EE en Chile”, 2016” . .
- [29] Mademsa, “Historia Mademsa”, 2017. [En línea]. Disponible en: <http://mademsa.cl/la-marca/historia>. [Consultado: 06-jun-2017].
- [30] Mademsa, “Refrigerador No Frost ALTUS 970 INOX”, 2016. [En línea]. Disponible en: http://mademsa.cl/tienda/product/164_refrigerador-no-frost-altus-970-inox#ficha-tecnica. [Consultado: 06-jun-2017].
- [31] Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, “Eficiencia Energética Sector Residencial”, 2014. .
- [32] Servicio de Acreditación Ecuatoriano, “Nuevo esquema de acreditación promueve la eficiencia energética.”, 03-sep-2017. .
- [33] Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, “Plan de Normalización y Etiquetado”, 2017. .
- [34] “Ministerio de Relaciones Exteriores, ProEcuador, “BOLETIN DE ANALISIS DE MERCADOS INTERNACIONALES”.2013. Guayaquil” . .
- [35] Indurama, “CERTIFICACIONES Y NORMATIVAS”, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.indurama.com/content/certificaciones-y-normativas>. [Consultado: 07-jun-2017].
- [36] José Ignacio Briano, María Jesús Báez, y Rocío Moya Morales, “Eficiencia energética en Colombia: identificación de oportunidades”, CAF, Caracas, workingPaper, may 2016.
- [37] N. G. Jara Cobos y C. A. Isaza Roldan, «Influencia de las condiciones socioeconómicas y geográficas en la aplicación de políticas energéticas para la sustitución de refrigeradores domésticas», Tesis, Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín, 2015.
- [38] Haceb, “NEVERA HIMALAYA 375 SE DA TI”, 2017. [En línea]. Disponible en: <http://www.haceb.com/Detalle/rvdsfpid/nevera-himalaya-f-375l-se-2p-da-ti-422/rvdsfcetid/neveras-7>. [Consultado: 07-jun-2017].
- [39] INDUSTRIAS HACEB S.A. (último), “MANUAL DE USUARIO REFRIGERADOR SIN ESCARCHA HIMALAYA 375 SE DA TI”. 05-sep-2017.
- [40] Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica, “Quiénes Somos”, 2017. [En línea]. Disponible en: <http://www.corpoelec.gob.ve/qui%C3%A9nes-somos>. [Consultado: 12-jun-2017].
- [41] CORPORACIÓN ELÉCTRICA NACIONAL, “Uso Racional y Eficiente de la Energía Eléctrica”, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://www.corpoelec.gob.ve/uso-racional-y-eficiente-de-la-energia-electrica>. [Consultado: 12-jun-2017].

- [42] “consumo-eficiente, REGLAMENTO TECNICO PARA EL ETIQUETADO DE EFICIENCIA ENERGETICA PARA APARATES DE REFRIGERACION Y CONGELACION.2013” . .
- [43] Cyberlux de Venezuela, “Empresa”, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.cyberlux.com.ve/?p=page&id=95>. [Consultado: 12-jun-2017].
- [44] Cyberlux de Venezuela, “Nevera 585S”, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.cyberlux.com.ve/?p=productos&id=416>. [Consultado: 12-jun-2017].
- [45] “Ing. Julián Adame Miranda, ‘Eficiencia energética en México’, Foro Panamericano sobre Contribuciones de la Ingeniería al Mejoramiento del Medio Ambiente, 29-09-2009” . .
- [46] CEMAER, “Etiqueta de Eficiencia Energética | Energías Renovables”, 2017. .
- [47] V. Letschert, M. A. McNeil, W. Lutz, y others, “Normas de Desempeño Energético Mínimo para Refrigeradores en México: Análisis de Impactos Financieros y Energéticos”, *Lawrence Berkeley Natl. Lab. LBNL Inst. Investig. Eléctricas Prep. Order Collab. Labeling Appl. Stand. Program CLASP Com. Nac. Para El Uso Efic. Energ. CONUEE*, 2011.
- [48] Mabe, “Mabe Corporativo”, 2017. [En línea]. Disponible en: <http://mabe.cc/>. [Consultado: 14-jun-2017].
- [49] Mabe, “Refrigerador automático 368.77 L Silver Mabe”, 2017. [En línea]. Disponible en: <http://www.mabe.com.mx/refrigeracion/refrigeradores/refrigerador-automatgico-2-368-82-l-silver-mabe-rme1436ymxs0>. [Consultado: 14-jun-2017].
- [50] “mabe, ‘Manual de usuario modelo RME1436’, México, 2016” . .
- [51] “Julio César Romaní Aguirre, Víctor Arroyo Chalco, ‘V. Eficiencia Energética: Políticas Publicas y Acciones Pendientes en el Perú’, Matriz Energética en el Perú y Energías Renovables, Lima- Perú, 2012” . .
- [52] “Dirección General de Eficiencia Energética Ministerio de Energía y Minas, ‘Política del Estado Peruano sobre la Eficiencia Energética’, Perú, Julio 2013” . .
- [53] “Ministerio de Energía y Minas, ‘Programas de eficiencia energética en el Perú’, Perú, 2009” . .
- [54] “Ing. Raúl del Rosario, Comité Técnico del Uso Racional de Energía y Eficiencia Energética, ‘Situación actual y perspectivas futuras sobre el desarrollo del Sector de Eficiencia Energética desde la Normalización’, Perú, 06-oct-2015” . .
- [55] Coldex Perú, “Nosotros”, 2015. [En línea]. Disponible en: <http://www.coldex.pe/nosotros>. [Consultado: 15-jun-2017].
- [56] Coldex Perú, “Refrigeradoras - 395NSteel”, 2015. [En línea]. Disponible en: <http://www.coldex.pe/producto?nombre=395NSteel>. [Consultado: 15-jun-2017].
- [57] “Coldex Perú, ‘Manual de Usuario Refrigeradores Cool Style N’, Perú, 20-may-2013” . .
- [58] LG, “Heladera Smart Inverter con Freezer 312lt | LG Argentina”, 2017. [En línea]. Disponible en: <http://www.lg.com/ar/heladeras/lg-GT32WPP>. [Consultado: 31-may-2017].
- [59] kelvinator, “refrigerator top mount”. [En línea]. Disponible en: <https://www.kelvinator.com.au/fridges/top-mount/ktb2802wa/>. [Consultado: 31-may-2017].
- [60] “Congelador superior Twin Cooling Plus™, 320 L | RT32K5730SL/CL”, *Samsung co*, 2017. [En línea]. Disponible en: <http://www.samsung.com/co/refrigerators/top-mount-freezer-rt32k5730sl/>. [Consultado: 21-jun-2017].
- [61] Indurama, “REFRIGERADORA RI-425BL”, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.indurama.com/contenido/refrigeradora-ri-425>. [Consultado: 21-jun-2017].
- [62] “Mabe, ‘Refrigerador automático 368.77 L Silver Mabe’, 2017” . .
- [63] Electrolux, “Refrigerador 2 Puertas No Frost 320L/9.4CuF”, 2017. [En línea]. Disponible en: http://www.la-electrolux.com/product_detail.cfm?brand_id=1&cat_id=6&product_id=5810&breadcrumb_cat=359. [Consultado: 21-jun-2017].
- [64] E. Corte, C. Flores, N. Jara, y C. Isaza, «Sistemas de refrigeración doméstica-Estado del arte de las mejoras en la eficiencia energética», *Rev. Fac. Cienc. Quím.*, n.º 9, 2014.

- [65] FisicaNet, "Ciclos Termodinámicos", 31-may-2017. [En línea]. Disponible en: http://www.fisicanet.com.ar/fisica/termodinamica/ap07_ciclos_termicos.php. [Consultado: 16-jun-2017].
- [66] "Compresores Embraco, 'Manual de aplicaciones de compresores', 2009". .
- [67] Thomas Joseph Ruiz, "Análisis comparativo de compresores frigoríficos para R-134a", 2016.
- [68] Club de la Refrigeración Embraco, "Refrigeración con ahorro de energía", *Club de La Refrigeracion*, 15-oct-2014. [En línea]. Disponible en: <http://refrigerationclub.com/es-es/refrigeracion-con-ahorro-de-energia/>. [Consultado: 21-jun-2017].
- [69] Embraco technology, "Embraco launches its most optimized compressor at important refrigeration fair in China", 2017. [En línea]. Disponible en: <http://www.embraco.com/FidNoticia>. [Consultado: 22-jun-2017].
- [70] Embraco, "Embraco Wisemotion Compact Oilless Compressor", 2017. [En línea]. Disponible en: <http://www.embraco.com/wisemotion/Default.aspx>. [Consultado: 22-jun-2017].
- [71] H. K. Lee, G. Y. Song, J. S. Park, E. P. Hong, W. H. Jung, y K. B. Park, "Development of the linear compressor for a household refrigerator", 2000.
- [72] Y. Jeun, "Device and method for controlling piston position in linear compressor", US20030129063 A1, 10-jul-2003.
- [73] J. Lorderman H. Quino, "Cambio Climatico, Desarrollo Economico y Energias Renovables: Estudio exploratorio de America Latina", *Clim. Technol. Cent. Netw.*, ene. 2015.
- [74] N. G. Jara Cobos y C. A. Isaza Roldan, «Análisis comparativo de sistemas de refrigeración doméstica utilizando refrigerantes R600a y R134a», *ITC Investig. Tecnol. Cienc.*, vol. 3, pp. 7-15, 2015.
- [75] "ac,Alcobre S.A., 'Ficha Técnica r-134a', Madrid, España, 2017". .
- [76] "REFECOL, Refrigerantes Ecologicos S.A, FichaTecnica-R134a, Guayaquil,Ecuador, 2017". .
- [77] Samsung, "¿Qué tipo de gas es el refrigerante R600a?", 11-mar-2017. [En línea]. Disponible en: <http://www.samsung.com/co/support/skp/faq/1070606>. [Consultado: 27-jun-2017].
- [78] "Informe Técnico, Embraco, ISOBUTANO (R600a) COMO REFRIGERANTES EN SISTEMAS HERMETICOS DE REFRIGERACION,1996". .
- [79] A. S. Dalkilic y S. Wongwises, "A performance comparison of vapour-compression refrigeration system using various alternative refrigerants", *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, vol. 37, núm. 9, pp. 1340–1349, 2010.
- [80] José Rodrigo Gómez y Miguel W. Quintero, "Aislante térmico HFC-245fa reemplazará al antiguo HCFC-141b", dic-2013. [En línea]. Disponible en: <http://www.plastico.com/temas/El-aislante-termico-HFC-245fa-reemplazara-antiguo-HCFC-141b,-como-solucion-al-Protocolo-de-Montreal+3029746>. [Consultado: 14-jun-2017].
- [81] Y. A. C. Michael A. Boles, *TERMODINAMICA*, QUINTA EDICION. McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A DE C.V.
- [82] "Embraco. 'Isobutano R600a como refrigerantes en sistemas hermeticos de refrigeracion'.1996". .
- [83] Ernesto A. y Lagarda L., "Introducción a la Dinámica de Sistemas", 2011.
- [84] Nelson G. Jara, "Influencia de las condiciones socioeconómicas y geográficas en la aplicación de políticas energéticas para la sustitución de refrigeradores domésticos", Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín - Colombia, 2015.
- [85] I. M. Santa Catalina, "Modelo de Dinámica de Sistemas para la Implantación de Tecnologías de la Información en la Gestión Estratégica Universitaria", Universidad del País Vasco, Donostia - San Sebastian, 2010.
- [86] Javier Torrealda, "Elementos y Estructura de Un Modelo - Documents", *Myslide.es*, 12-abr-2015. [En línea]. Disponible en: <http://myslide.es/documents/elementos-y-estructura-de-un-modelo.html>. [Consultado: 19-jun-2017].
- [87] "Arquetipos sistémicos. Una forma de verlos", *Ingenio Sistémico*, 17-sep-2012. .

- [88] Adriana Ortiz, Jose Maria Sarriegi, y Javier Santos, "Modelización de variables soft", *Rev. Dinámica Sist.*, vol. 2, núm. 1, pp. 67–101, 2006.
- [89] Iñaki Morlán Santa Catalina, *Modelo de Dinámica de Sistemas para la implantación de Tecnologías de la Información en la Gestión Estratégica Universitaria*. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatearen Argitalpen Zerbitzua, 2010.
- [90] Yaman Barlas y Korhan Kanar, "Structure-oriented behavior tests in model validation", en *18th international conference of the system dynamics society, Bergen, Norway*, 2000, pp. 33–34.
- [91] Shirley Contreras Ulloa, "DIAGRAMAS CAUSALES", La Libertad - Perú, 20-ago-2010.
- [92] Jonathan Ali Ordóñez Espinoza, "Modelo de dinámica de sistemas para determinar la influencia de la implementación de planes de renovación de refrigeradores domésticos en los procesos de oferta y demanda-caso Ecuador", B.S. thesis, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca - Ecuador, 2016.
- [93] Instituto Nacional de Estadística y Censos, "Proyecciones Poblacionales", *Instituto Nacional de Estadística y Censos*, 17-jun-2017. [En línea]. Disponible en: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/vdatos/>. [Consultado: 11-jul-2017].