UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESTUDIO EXPLORATORIO DE SISTEMAS DE CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS PARA LA ETAPA DE DISEÑO CONCEPTUAL DE UN NUEVO PRODUCTO

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA

INGENIERÍA MECÁNICA – DISEÑO MECÁNICO

P R E S E N T A:

JOSÉ DE JESÚS MARTÍNEZ LÓPEZ

TUTOR:

Ph. D. ALEJANDRO C. RAMÍREZ REIVICH

2011

Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM
Biblioteca Central
Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Resumen

Este trabajo muestra un estudio exploratorio mediante el desarrollo de diagramas comparativos para identificar el desempeño de un sistema técnico. El proceso tiene como objetivo ser utilizado dentro de las etapas iniciales del proceso de diseño (diseño conceptual). El proceso muestra información sobre los principios funcionales de cada sistema analizado hasta llegar a representar datos útiles como precios, costos, complejidad, etc., esto en forma de diagramas y evaluar su efecto en la posibilidad de encontrar relaciones que muestren el comportamiento de un parámetro en función de otro. Todo esto manteniéndose simple para poder ser entendido en las etapas tempranas de diseño donde no existe información suficiente para tomar decisiones y que sea entendido por cualquier persona dentro o fuera de un equipo de diseño y sin necesidad de conocimientos técnicos específicos.

Resume

This work shows an exploratory study thru the development of comparative diagrams to identifying the performance of a technical system. The goal of the process is to be used into the early stages of a design process (conceptual design). El process shows information about the functional principles of each analyzed system until the representation of useful data like prices, complexity, etc., all in diagrams form and to evaluate its effects in order to find relations that show the behavior of a parameter as function of another. All of this maintained simple for a better comprehension at early stages when there is a lack of information to take decisions therefore to be easy to understand by any people inside or outside of the design team without any specific knowledge required.

Índice

Introducción - Antecedentes 6

Hipótesis – Objetivos – Metodología – Propuesta 8

Capítulo 1: Estudios de diseño comparativo 9

Estudios comparativos de ingeniería de diseño 10

Capítulo 2: Modelado estático 13

IDEFØ 13
Modelado de un sistema de conservación de alimentos operado por ciclo de compresión de vapor utilizando el método IDEFØ 15

Capítulo 3: Exploración de regiones comparativas de la tecnología fotovoltaica 21

La tecnología fotovoltaica 22
Tipos de celdas solares 24
Diagramas comparativos de paneles fotovoltaicos 26

Capítulo 4: Proceso de estudio comparativo y exploración de regiones funcionales 31

Paso 1. Definición del sistema a analizar 33
Paso 2. Análisis de la estructura funcional del sistema 33
Paso 3. Desarrollo del diagrama funcional del sistema 35
Paso 4. Análisis de soluciones empleadas 36
Paso 5. Selección de la muestra de equipos a analizar 36
Paso 6. Definición de parámetros y desarrollo de la tabla comparativa 37
Paso 7. Desarrollo de diagramas comparativos 37
Paso 8. Análisis de resultados y conclusiones 38

Capítulo 5: Proceso de Estudio Comparativo y Exploración de Regiones Funcionales de Sistemas de Conservación de Alimentos 39

Caso de estudio 39
Paso 1. Definición del sistema a analizar 40
Paso 2. Análisis de la estructura funcional del sistema 40
Paso 3. Desarrollo del diagrama funcional del sistema 44
Paso 4. Análisis de soluciones empleadas 47

Paso 5. Selección de la muestra de equipos a analizar 52
Paso 6. Definición de parámetros y desarrollo de la tabla comparativa 60
Paso 7. Desarrollo de diagramas comparativos 65

Capítulo 6: Diagramas Comparativos 71

Volumen interior [L] Vs. Consumo energético diario [kW] 73
Eficiencia Volumétrica (VC) [cu.ft./usd] Vs. Volumen interior [L] 74
Eficiencia Energética (PC) [usd/kW] Vs. Volumen interior [L] 75
Precio [usd] Vs. Complejidad de manufactura [1] 76
Materiales [1] Vs. Relación de volúmenes (RV)[cu.ft./cu.ft.] 77
Eficiencia Volumétrica (VC) [cu.ft/usd] Vs. Complejidad de diseño (MC) [1] . . . 78
Consumo diario [L] Vs. Precio [usd] 79
Volumen interior [L] Vs. Precio [usd] 80
Funciones [1] Vs. Precio [usd] 81

Capítulo 7: Evaluación de los Costos de Operación y Mantenimiento para un Nuevo Sistema de Refrigeración 85

Objetivo particular de la evaluación. 85
Sistema referencia 86
Equipo alimentado por un arreglo fotovoltaico 86
Equipo con compresor DC alimentado por un arreglo fotovoltaico 87
Equipo hibrido con compresor DC alimentado por un arreglo fotovoltaico y REC . . 87
Método de evaluación 88

Capítulo 8: Resultados 99

Análisis de sensibilidad 101

Capítulo 9: Conclusiones 111

Anexos 115

Referencias bibliográficas 131

Introducción

Esta tesis presenta el trabajo desarrollado paralelamente al diseño de un sistema de conservación de alimentos, algunas de las actividades que se llevaron a cabo fueron realizadas por un equipo multidisciplinario y que sirvieron para lograr un entendimiento entre todos los miembros del equipo teniendo presente que no todos tenían los mismos conocimientos técnicos por lo que antes de desarrollar esta serie de pasos no todos usaban un mismo lenguaje de comunicación técnica.

Partiendo de un fin común que fue el objetivo de diseñar y desarrollar un nuevo prototipo funcional de un sistema de conservación de alimentos, se realizaron estudios de diseño comparativo sobre las tecnologías antes empleadas, la identificación e integración de componentes y funciones principales que llego a la implementación y uso de métodos de modelado estático como IDEF0 y conceptos de diseño funcional que se muestran en los capítulos 3, 5 y 6 de este trabajo en.

Un análisis posterior sobre el uso de la energía fotovoltaica y paneles fotovoltaicos sumado a los conceptos de diseño comparativo y una técnica empleada por Michael Ashby dieron como resultado un primer ejercicio de diagramas comparativos entre paneles fotovoltaicos (capitulo 4). Aplicando conceptos de diseño funcional y diseño comparativo al primer proceso se tiene la serie de pasos mostrados en el proceso del capítulo 5 que se aplicó al análisis de sistemas de conservación de alimentos. Los datos obtenidos para los sistemas de conservación de alimentos se comparan contra los generados por el prototipo desarrollado por equipo de diseño además de que desarrolló un comparativo económico entre tres equipos distintos; finalmente, esta información se detalla en el capítulo 8 y en los resultados finales de este trabajo que presentan en el capítulo 9.

Antecedentes

Al iniciarse las actividades del semestre 2009-01 en el Posgrado de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería; una empresa desarrolladora y manufacturera de enseres domésticos mostró interés en vincular un proyecto para crear un nuevo sistema de conservación de alimentos que redujera el consumo energético y que pudiera emplear tecnologías sustentables usando energía solar. Se formó un grupo de trabajo con cuatro estudiantes de la maestría en ingeniería mecánica en el área de diseño mecánico; tres ingenieros mecánicos y un ingeniero mecatrónico [54, 55, 56].

El proyecto se centró en desarrollar un nuevo equipo empleando la tecnología de compresión de vapor y termoeléctrica que son las de mayor aplicación en los sistemas de conservación de alimentos. El equipo de diseño también aplicaría la tecnología fotovoltaica para cubrir el requerimiento de disminución de consumo energético de la red eléctrica comercial.

El equipo de diseño decidió optar por la siguiente propuesta que supone el diseño de un sistema que puede ser alimentado utilizando paneles fotovoltaicos y/o electricidad de la red comercial. Este sistema emplea un control que de control que sólo consumirá energía de la red comercial cuando la energía disponible del sol no sea suficiente para arrancar el compresor (figura 1).

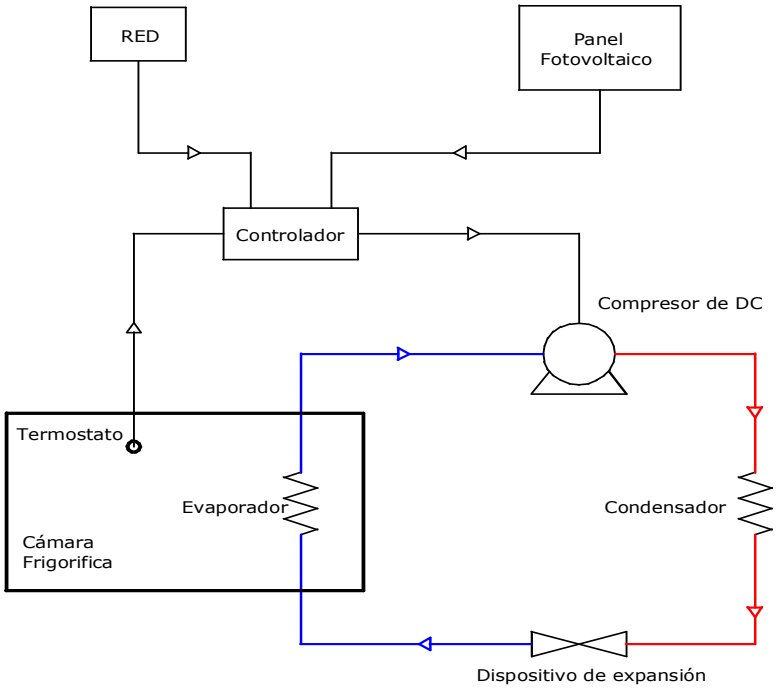

Figura 1. Diagrama de sistema hibrido de refrigeración por compresión DC sin el uso de controladores de carga y baterías.

Teniendo una propuesta en equipo de diseño la siguiente etapa, la principal para el presente trabajo escrito fue la de Diseño conceptual y es en la que se enfoca el proceso aquí propuesto.

Figura 2. Vista del sistema de conservación de alimentos prototipo.

Hipótesis

Es posible representar el comportamiento en forma de diagramas de parámetros de interés de sistemas de conservación de alimentos dentro etapas de diseño conceptual tal que los parámetros o conceptos mostrados sean fáciles de entender por cualquier integrante de un equipo de diseño sin necesidad de conocimientos técnicos específicos.

Objetivos

- Analizar un sistema técnico, sus diferentes principios de operación desde un punto de vista funcional identificando las funciones principales y los parámetros representativos.
- Representar por medio de diagramas el desempeño, las capacidades y/o comportamiento de los parámetros de interés de una muestra representativa de equipos comerciales de conservación de alimentos, identificando regiones de operación según sus principios de operación

Metodología

Proceso de estudio comparativo y exploración de regiones funcionales

Este trabajo muestra un estudio de diseño comparativo que tiene como finalidad la comparación de distintas características de desempeño y atributos secundarios de equipos o sistemas técnicos, calificando o cualificando dichos atributos de tal forma que sean medibles mediante una escala adecuada tal que se obtengan datos numéricos que puedan ser computados y analizados en busca de patrones o comportamientos similares; finalmente se pretende representar a todos los valores obtenidos de forma gráfica a para que los resultados puedan ser claros y entendibles. Este proceso de análisis se plantea para que los resultados sean usados por equipos de diseño, la información sea utilizada en etapas de diseño conceptual.

Propuesta

Se plantea el uso de este proceso dentro del desarrollo de nuevos productos o sistemas técnicos, para ser empleado y evaluado por equipos de diseño multidisciplinarios.
No necesariamente dentro de equipos de diseño, pero la información de un trabajo como este puede ser utilizada por cualquiera que esté en continuo uso de sistemas técnicos, como el caso de una empresa de electrodomésticos, que específicamente utilice este trabajo para visualizar el comportamiento de sistemas de conservación de alimentos y busque nuevas oportunidades para el desarrollo de nuevos productos que logren un desempeño dentro de las regiones descritas y tengan claros los aspectos a mejorar o a tener en cuenta dentro del nuevo diseño.

Capítulo 1

Estudios de diseño comparativo

Se ha dicho que sin una base científica, la práctica del diseño en ingeniería o el hablar de ingeniería de diseño y su enseñanza seguirán siendo dirigidas por la intuición y la experiencia (Gregory 1978; Hubka 1987; Dixon 1988; French 1990; Ramírez 1995). Pero desde hace décadas se han desarrollado muchos proyectos de investigación con objeto de generar una fundamentación científica para la ingeniería de diseño y ciertamente se han tenido avances (Yoshikawa 1981; Rodenacker 1985; Suh 1990; Anddresen 1991; Aguirre 1992). Se han hecho considerables esfuerzos, publicado trabajos y se ha invertido en investigación en pro de la ingeniería de diseño (Finger 1989). Sin embargo muy poco de esos esfuerzos se ha enfocado a lo que debería ser visto como el inicio de la cimentación del diseño y generalmente se ha despreciado.

Una forma de estudiar este tipo de conocimientos, además de diseñar, es mediante estudios de diseño comparativo. Se selecciona alguna categoría de objetos diseñados y se realiza un estudio de sus diferentes tipos o familias, comparando sus méritos y debilidades; y si es posible, observando su desarrollo a través del tiempo y los cambios que puedan presentarse en cuanto a uso, formas, materiales y tecnologías de manufactura. A partir de estos estudios y de trabajo conjunto con diseñadores o usuarios, pueden saltar a un primer plano los atributos principales que influencian la evolución de los nuevos diseños, ideas ingeniosas u originales y las filosofías de diseño que se emplean (que en ocasiones son aplicables en otras disciplinas), además de que se hace evidente la existencia de nichos, lo que sucesivamente favorece la diversidad de tipos de equipos o sistemas en estudio.

Por lo menos otras dos áreas de investigación intelectual tienen cierta semejanza con los estudios de diseño comparativo; las artes y la ecología; el caso de la ecología es el más sonado. Existe una extensa correspondencia entre las especies clasificadas, las emergentes y la aparición de variaciones en las mismas; esto puede ser trasladado como analógicamente a productos en el mercado. En ambos casos, en el mundo viviente y en el mercado, los efectos de la competencia son en ocasiones mitigados por la diferenciación de nichos. Esto se vuelve más claro comprendiendo por ejemplo la estructura de un grupo de organismos que su vez nos permite revelar de manera más simple la estructura de otro grupo. Las comparaciones que se pueden hacer son muy fructíferas y lo mismo se aplica a productos de ingeniería dentro de un mercado (French 1999).

Estudios comparativos de ingeniería de diseño

Algunos ejemplos de estudios comparativos realizados en el mundo son:

Petra (1981) estudió la fuerza de balance en múltiples flechas de cajas de transmisión de potencia y todas las formas en las que este problema había sido analizado. Él listó las ventajas y desventajas, además de que cuantifico algunos aspectos. Ahora existe gran cantidad de información sobre un número considerable de cajas de transmisión de diseños particulares.

Chen (1982) describe de manera resumida una variedad de dispositivos convencionales de agarre y sujeción usados en robots industriales. Él los clasifica de acuerdo a sus pares cinemáticos. Varios tipos de sujetadores y/o mordazas ingeniosas basadas en mecanismos, engranes, levas, tornillos y bandas flexibles son presentados y descritos.

White (1987) describe y compara diferentes, viejas y modernas máquinas que tienen una acción epicicloide y que utilizan movimientos generados por piñones libres. Estudiando su evolución y simplificación; él explica las razones que han provocado su desuso. Algunos ejemplos de las máquinas registradas son: máquinas para enrollar cuerdas o cables para ciertos procesos de manufactura, para su uso en grúas o para enrolladoras de fibras textiles; en su estudio, además de ser descritas, son comparadas.

Koyoma (1988) revisa y discute varios tipos de transmisiones que utilizan bandas dentadas así como información técnica referente a la distribución de cargas, vida útil, ruido transmisión de errores y características de salto y desgaste. La historia, estructura, procesos de producción, estándares y mecanismos de medición son esbozados.

White (1988) describe las bases de dos trenes de engranes epicíclicos (1781) estos engranes son de transmisión de potencia y convierten el empuje lineal de una máquina de vapor en movimiento rotatorio. Se desarrollan las expresiones generales para la relación de movimiento y eficiencias de estos trenes y se comparan. Así los usos modernos más adecuados para estos trenes de engranes pueden ser identificados.

Bedewy (1989) aplica conceptos de confiabilidad y mantenimiento con el objetivo de comparar tres diferentes diseños de vehículos de transporte público que se encontraban en operación. Se manipularon estadísticamente datos sobre fallas recolectados durante cuatro años. La confiabilidad y mantenimiento medidos fueron entonces analizados para cada tipo de autobús. Finalmente los resultados se analizaron e interpretaron de forma comparativa.

Prem (1989) mostró los resultados de un estudio comparativo de dos máquinas pavimentadoras automáticas usadas durante la construcción de una sección de una carretera. Él comparó las diferencias primarias en el perfil del camino construido y su relación con el diseño y el desempeño de esas máquinas.

White (1989) describió y comparó los primeros conocimientos sobre engranes reductores epicíclicos para la generación de altos torques. Estos primeros trenes de engranes fueron presentados por James White en el año de 1786. En su trabajo se comenta el fondo histórico de estos mecanismos y se desarrollan las expresiones matemáticas para velocidades y eficiencias además de que muestra y propone algunas aplicaciones modernas para estos mecanismos.

Dhuler (1993) reportó el desarrollo de un trabajo sobre bridas con rodamientos y chumaceras usados en los extremos de flechas para la transmisión de potencia y los resultados de un estudio comparativo sobre el desempeño de las mismas al usarse en distintos ambientes con micromotores.

McMahon (1994) presentó un esquema para la clasificación de modos de desarrollo histórico del diseño normal, y cómo trazar el desarrollo de productos mientras estos maduran. Estos modos de cambio se ilustran al considerar el de desarrollo del diseño de los pistones de un motor automotriz.

Peter J. Alvarado (1996) presentó un trabajo mostrando las ventajas y desventajas de utilizar tanques de gasolina y diesel de plástico y de acero. Comparó los dos materiales en cuanto a sus características de manufactura, ventajas de diseño de cada tipo y peso, seguridad, corrosión y reciclabilidad. A partir de sus resultados realizó una proyección para el uso de tanques plásticos hasta el año de 2003 y las tendencias que él percibió no estaban tan fuera de la realidad.

Earl C, et al. 2005, desarrollaron un estudio exploratorio para examinar diferentes procesos de diseño a través de sus dominios y los comparó. Esto se logró a través de una serie de talleres de participación interdisciplinaria. Se utilizó un esquema de trabajo sistemático para recolectar datos de testigos expertos, diseñadores activos en dominios como la ingeniería, la arquitectura, el diseño de productos y de modas, incluyendo productores de películas, de drogas farmacéuticas, comida, embalaje, diseñadores gráficos, de multimedia y de software. Ellos describieron las similitudes a través de los diferentes dominios indicando el tipo de análisis comparativo que se realizó. El trabajo va más allá de especular sobre posibles lecciones aplicables a áreas específicas del diseño en ingeniería lo que resulta de comparaciones con otros dominios. Este estudio de diseño comparativo ofrece el potencial de mejorar los procesos de diseño en ingeniería y debe considerarse, según los autores, como una primera etapa en la creación de una disciplina de diseño comparativo que ayude a ampliar el panorama de los procesos de diseño.

En 2006 la empresa Battelle desarrolló un estudio comparativo para identificar materiales alternativos al acero para la fabricación de tanques subterráneos para combustibles ya que debido a la alta demanda de acero en Asia los costos incrementaron significativamente hasta en un 325% de 2001 a 2006, lo que motivó el desarrollo de nuevos materiales y/o recubrimientos que redujeran la corrosión prematura. Se analizaron tanques de materiales metálicos, poliméricos y materiales compuestos, comparando pesos, costos, procesos de manufactura, vida útil; y comparándolos bajo normas como las de ASME y NFPA.

En 2007 el Departamento de Transportes de EUA y la Federal Aviation Administration desarrollaron un análisis comparativo sobre diferentes resultados obtenidos para la construcción de pavimentos mediante distintos métodos de diseño empleados al utilizar nuevos concretos en pistas de aeropuertos en los Estados unidos. Se compararon nuevos concretos flexibles y concretos rígidos así como sus métodos de construcción. Los especialistas utilizaron métodos computacionales como el de elementos finitos además de pruebas reales. Los resultados mostraron datos reales y datos teóricos idealizados que sirvieron para identificar cuál sería el mejor material a emplear de acuerdo a las características de trafico aeroportuario y tipo de aviones que llegan a cada destino.

A pesar de que la mayoría de estos estudios se restringen de acuerdo al alcance de algunos aspectos de interés especial; algunos de los tópicos que se resaltan son procedimientos de evaluación y uso sistemático de principios de diseño, comparaciones del desempeño funcional de los diseños, el significado de cada clasificación de diseños y la evolución y desarrollo histórico de los mismos.

Hasta la fecha, muchos de los trabajos publicados se han enfocado en generar observaciones sobre el desempeño de los productos o en las actividades que los diseñadores y empresas realizan. Muy pocos trabajos han estudiado las características especiales que contienen los mejores productos y menos son los trabajos enfocados en experimentos para validar las comparaciones.

Capítulo 2

Modelado estático

Los modelos estáticos intentan representar sistemas dinámicos sin considerar su variación en el tiempo. Estos en general, presentan las posibles secuencias o procesos que siguen los flujos de información, materias, objetos, etc., a través de un sistema. Esta información es muy útil para determinar qué objetos o actividades participan en un proceso y las funciones desempeñadas por el sistema. Dentro de los métodos para modelar procesos, uno de los más empleados en por su capacidad de definir procesos a través sus entradas, salidas y operaciones es el modelado IDEF.

IDEF (Integration DEFinition) fue desarrollado dentro del proyecto de Manufactura Integrada Asistida por Computadora (ICAM) por el departamento de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos a finales de los años 80.

Existen diferentes métodos IDEF. Cada método sirve para describir una tarea específica. El principal método IDEF para modelar funciones o actividades es IDEFØ; para modelar información, IDEF1; modelado de datos, IDEFx; descripción y captura de procesos, IDEF 3; diseño orientado a objetos, IDEF4; y captura ontológica, IDEF5 (Mayer, Painter, deWitte 1992). IDEF2 se planeó como un método para modelar *sistemas dinámicos* pero debido a la gran cantidad de herramientas disponibles comercialmente, quedo suprimido dicho método.

IDEFØ

IDEFØ es un método diseñado para modelar las decisiones, acciones y actividades de una organización o sistema. Fue derivado de un lenguaje gráfico bien establecido, la Técnica de Análisis y Diseño Técnico (SADT). La Fuerza Aérea de los Estados Unidos comisionó a los desarrolladores de SADT para que desarrollaran un método para analizar y modelar funciones y poder describir o comunicar la perspectiva funcional de un sistema. Los modelos eficaces de IDEFØ ayudan a organizar el análisis de un sistema y a promover una buena comunicación entre el analista y el usuario o cliente. También ayuda a establecer el ámbito de un análisis, especialmente en un análisis funcional para identificar que funciones son llevadas a cabo, qué se necesita para realizar dichas funciones, si es que el sistema lo hace bien o si lo hace mal por esto el uso de IDEFØ es comúnmente una de las primeras tareas dentro del desarrollo de un sistema.

IDEFØ emplea la representación gráfica mediante diagrama de "cajas y flechas"; las cajas muestran funciones y las líneas indican el flujo del proceso, señalan las entradas, mecanismos, controles y las salidas del sistema.

Los conceptos de IDEFØ se diseñaron para incrementar la comunicación incluyendo lo siguiente:

- Diagramas basados en simples cajas y flechas.
- Etiquetas en las cajas, flechas, glosarios y textos para definir el significado preciso de los elementos de los diagramas.
- La exposición gradual de detalles mostrando una estructura jerárquica, teniendo a la función principal hasta arriba y con niveles sucesivos de sub-funciones revelando las relaciones entre funciones.
- Un diagrama nodal que da referencia para localizar ciertos detalles en el diagrama de estructura jerárquica.
- Limitación a un máximo de seis sub-funciones por cada función.

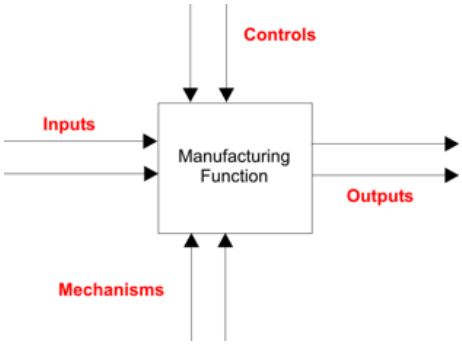

Figura 2.1 Diagrama de caja y flechas de IDEFØ.

Las reglas de IDEFØ requieren suficiente orden y precisión para satisfacer las necesidades sin olvidar las restricciones del análisis. Las reglas incluyen:

- Control de los conceptos conectados en cada nivel (de tres a seis cajas de función en cada nivel).
- Contexto de conexión (no omitir ni incluir datos fuera de contexto)
- Diagrama de conectividad de interfaces (números de nodo, cajas numeradas y expresiones de referencia detalladas).
- Datos de conectividad estructurados (códigos ICOM – I-entradas, C-controles/restricciones, O-salidas, M-mecanismos –).
- Etiquetas y títulos únicos.
- Reglas de sintaxis para cajas y flechas.
- Todas las funciones requieren por lo menos un control.
- Datos en las flechas ramales (etiquetas que restrinjan el flujo de información en las ramas).
- Claridad entre entradas y controles (una regla para determinar el papel de los datos.
- Etiquetas de requerimientos en las flechas (reglas mínimas de etiquetado).
- Pocos controles por función (todas las funciones requieren por lo menos un control).
- Propósito y objetivo (todos los modelos tienen un propósito y un objeto establecido).

La aplicación del método IDEFØ resulta en la representación organizada de las actividades y las relaciones de importancia entre estas actividades de una forma atemporal. Este método no alcanza a identificar las especificaciones de una ficha o proceso, para ello existe el método de captura de IDEF3.

Modelado de un sistema de conservación de alimentos operado por ciclo de compresión de vapor utilizando el método IDEFØ.

El caso en estudio es el diseño y desarrollo de un sistema de conservación de alimentos. En este caso el prototipo emplea el ciclo de compresión de vapor y éste opera según el siguiente diagrama:

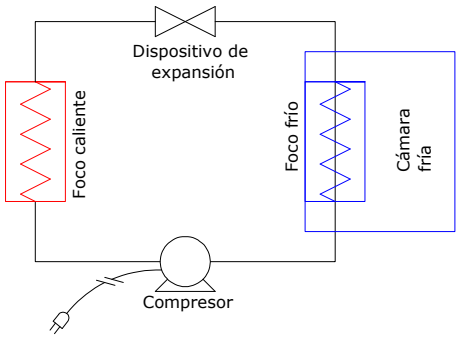

Figura 2.2 Diagrama de componentes principales de un sistema de refrigeración por compresión de vapor.

El gas refrigerante que está dentro del circuito identificado en la figura 2.2 como la línea que une los diferentes componentes del sistema, pasa por el compresor donde es comprimido y sale como un vapor sobrecalentado para entrar al condensador en donde absorbe el calor de los alimentos dentro del gabinete; aquí el refrigerante sale como liquido saturado para entrar en el dispositivo de expansión, que en el caso de refrigeradores comerciales, utilizan válvulas de expansión o tubos capilares. A la entrada del evaporador se tiene una mezcla saturada de gas y líquido que se evapora completamente debido a la cedencia de calor al ambiente, y el gas está listo para entrar de nuevo al compresor.

De acuerdo con el método IDEFØ, un primer paso para el modelado es la identificación de los ICOMs del sistema. A continuación se muestran las principales entradas, salidas, controles y mecanismos identificados que afectan el funcionamiento de un sistema de conservación, ahora denominado "Refrigerador" por compresión de vapor:

I – Entradas
- Energía eléctrica

C – Controles
- Temperatura deseada de refrigeración
- Temperatura ambiente
- Normas de refrigeración
- Aislante térmico

O – Salidas
- Condiciones de almacenamiento
- Calor por perdidas
- Calor eliminado de lo almacenado

M – Mecanismos o restricciones
- Ciclo de compresión de vapor
- Aislamiento térmico

Los ICOMs del sistema ahora se representan en un diagrama de cuadros y flechas.

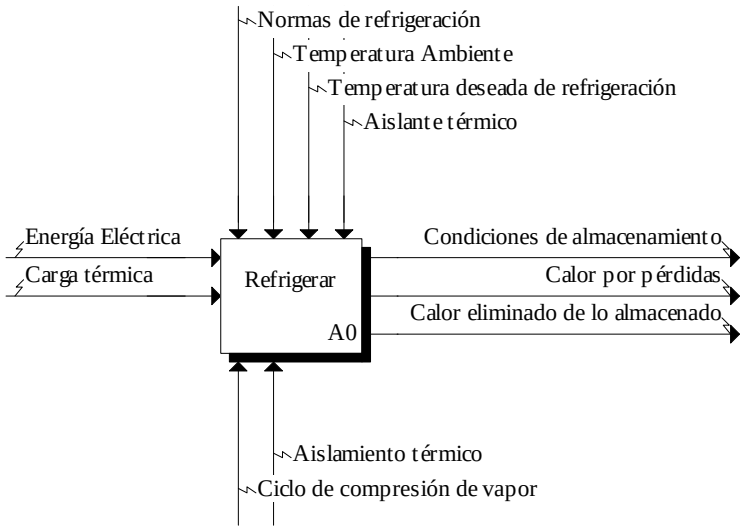

Figura 2.3 Diagrama del sistema de refrigeración y sus ICOMs.

Enumerando las actividades o funciones principales donde la función del sistema es "Refrigerar" (A0). Sus subfunciones se denominan A1, A2 y A3:

A0: Refrigerar
- A1: Controlar del sistema
  - A11: Regular alimentación eléctrica
  - A12: Sensar temperatura en gabinete
  - A13: Switchear alimentación del compresor
- A2: Operar ciclo de compresión de vapor
  - A21: Operar compresor
  - A22: Comprimir refrigerante
  - A23: Condensar refrigerante
  - A24: Expandir refrigerante
  - A25: Evaporar refrigerante
- A3: Almacenar de frio

El diagrama anterior representa las funciones y subfunciones que debe realizar el sistema y se vale de tres subfunciones. A continuación se observa el esquema de funciones con los respectivos INCOMs:

Función "Conservar alimentos":

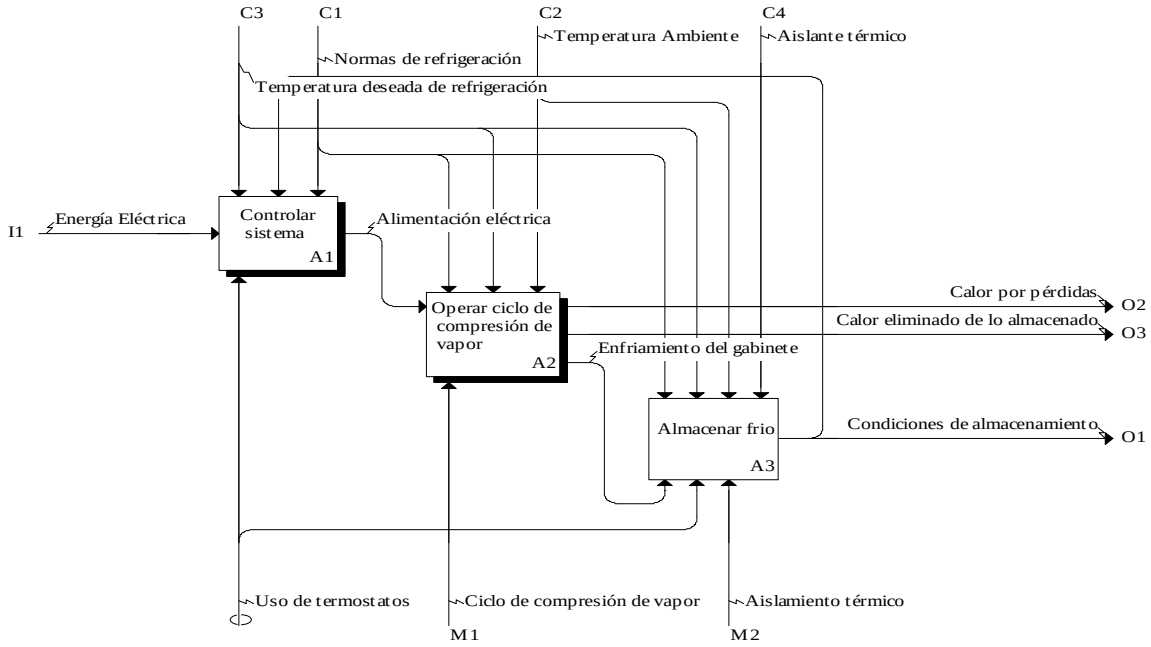

Figura 2.4. Principales funciones del sistema de conservación de alimentos; se observan los diferentes ICOMs del sistema.

El diagrama de la figura 2.4 muestra esquemáticamente las tres subfunciones del sistema analizado. Es de notarse que la Energía eléctrica es una principal entrada del sistema que provee al control y éste a su vez genera la entrada para la operación del ciclo de compresión de vapor. Sin embargo la salida más importante de la operación de éste ciclo, que es la de eliminar calor de un medio se vuelve un mecanismo para la función "Aislamiento del frío" y no una entrada.

Los controles "Temperatura deseada de refrigeración" y "Normas de refrigeración" afectan a todas las funciones; el control "temperatura ambiente" afecta la operación del ciclo de compresión y a la función "Almacenamiento del frío". Por último los principales medios o mecanismos son el "Uso de termostatos", "Ciclo de compresión de vapor" y "Aislamiento térmico".

Función "Controlar del sistema"

Esta función requiere de tres subfunciones.

A11: Regular alimentación eléctrica
A12: Sensar temperatura en gabinete
A13: Switchear alimentación del compresor

A continuación se observa en el diagra de la figura 2.5 las subfunciones y sus respectivos INCOMs.

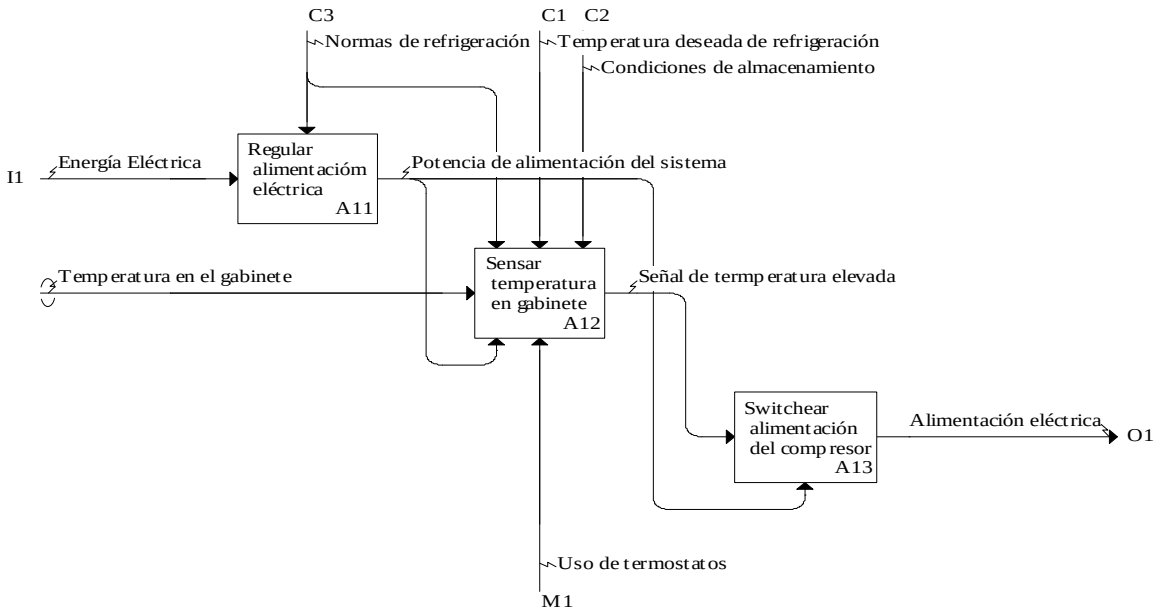

Figura 2.5 Diagrama de las actividades de la función "Controlar el sistema" y sus INCOMs.

Función "Operación del ciclo de vapor"

En este caso la función consiste en cinco sub-funciones.

A21: Operar ciclo
A22: Comprimir gas refrigerante
A23: Condensar refrigerante
A24: Expandir refrigerante
A25: Evaporar refrigerante

En la figura 2.6 se presentan los diferentes INCOMs de la finción que "genera" el frio.

La última función del sistema es la de almacenar el frío que es una muy importante. El ciclo de compresión de vapor elimina parte del calor contenido en los alimentos u objetos a refrigerar y cuando se llega a la temperatura deseada, el gabinete o cámara frigorífica es la encargada de evitar que los objetos en su interior ganen o recuperen calor del medio exterior con el objetivo de mantener una temperatura interna menor a la del exterior. Esta función, sin embargo, depende de los materiales aislantes que es un mecanismo y no depende de alguna entrada en especial.

En el caso de un sistema de refrigeración alimentado por energía fotovoltaica. Generalmente se utiliza un refrigerador convencional y la alimentación eléctrica de RED (Red eléctrica comercial) se sustituye por un arreglo fotovoltaico (FV) que consta de paneles FV, un regulador de carga, banco de baterías e inversor de corriente. Este sistema "solar" al ser modelado utilizando IDEFØ requiere del uso de una nueva función denominada "Generación FV".

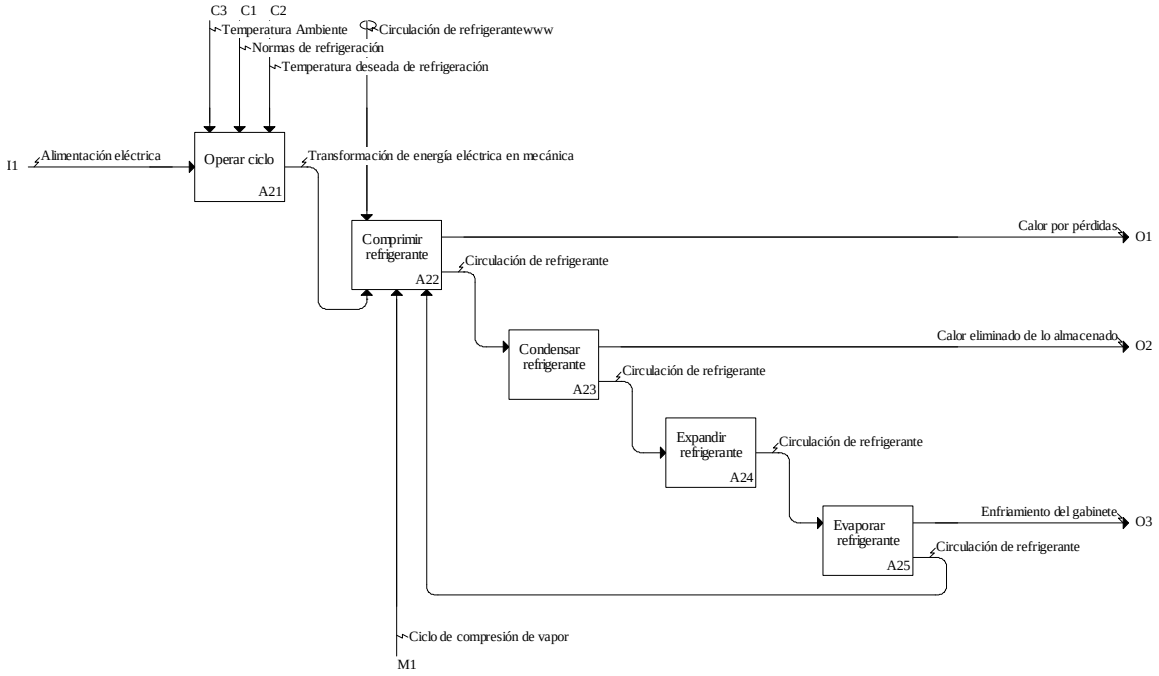

Figura 2.6 Diagrama de la "Operación del ciclo de vapor" y sus INCOMs.

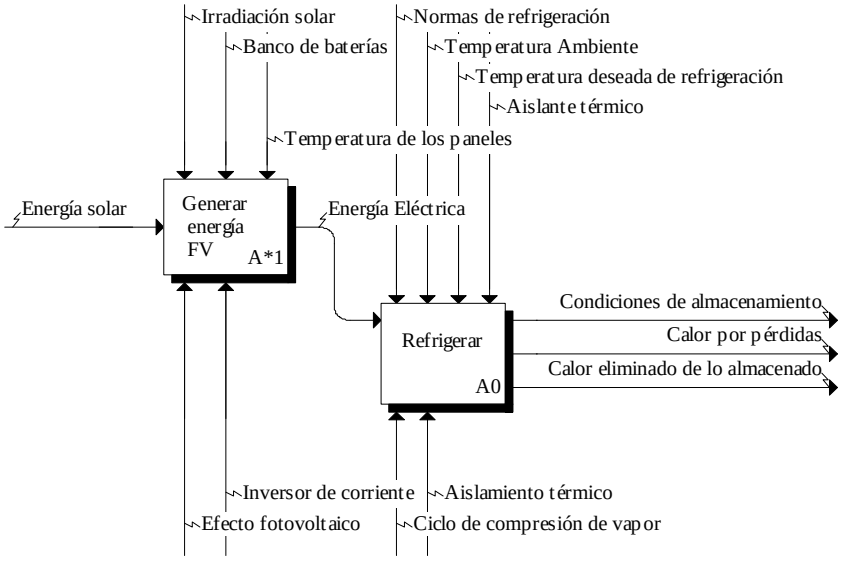

Figura 2.7 Sistema de refrigeración alimentado por energía fotovoltaica.

De acuerdo al diagrama de la nueva función, "Generación FV", la única entrada del sistema completo es la energía solar; la salida de esta función continúa siendo la energía eléctrica que el sistema de refrigeración requiere. La generación FV tiene como controles: la Irradiación solar, el banco de baterías y la temperatura de los paneles. Y como mecanismos: el Efecto fotovoltaico y el uso de un inversor de corriente.

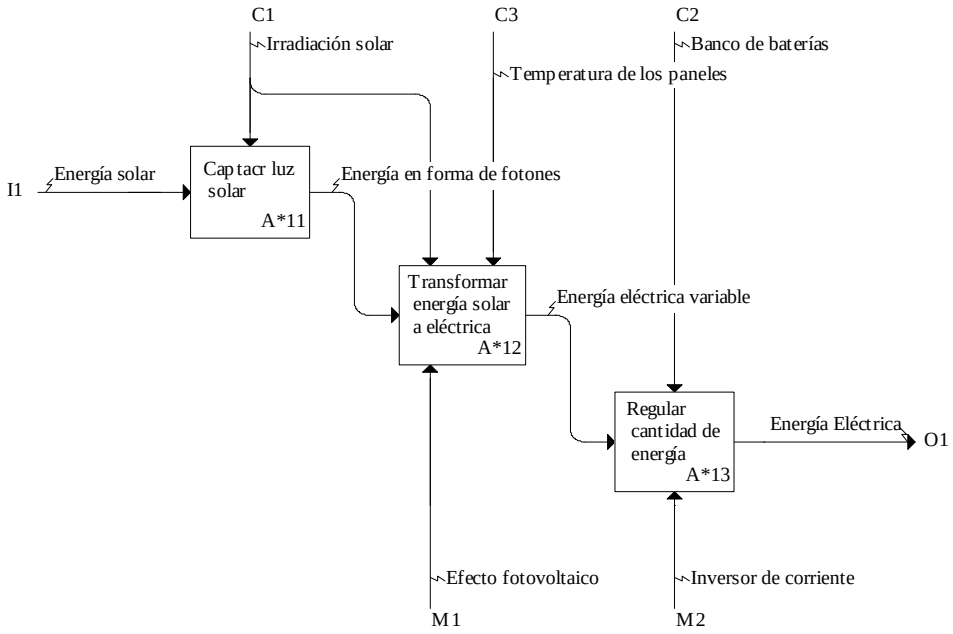

Figura 2.8 Diagrama de la función "Generación FV" y sus ICOMs.

Conclusión del modelado estático aplicado al caso de estudio

El modelado estático no se diseñó específicamente para utilizarse en procesos de diseño, sin embargo su uso ha sido ampliamente usado y ha mostrado ser una buena opción para este fin. En el caso del modelado mediante la metodología IDEF0 es simple y ofrece grandes ventajas para representar sistemas técnicos desarrollados en procesos de diseño generales y de ahí, fácilmente empleado en etapas de diseño conceptual para de una forma clara siempre dependiendo del punto de vista seleccionado para realizar el modelo. Es de considerarse que el desarrollo de los diagramas aunque simple, requiere de conocimientos técnicos dependiendo del tipo de sistema en desarrollo.

Capítulo 3

Exploración de regiones comparativas de la tecnología fotovoltaica

La tecnología fotovoltaica ayuda a evitar la mayoría de los males asociados con las técnicas presentes para producir electricidad y tiene muchos otros beneficios. Esta tecnología ha demostrado generar electricidad para una gran variedad de aplicaciones, de todo tipo de capacidades y necesidades, útil en diversos climas y locaciones geográficas.

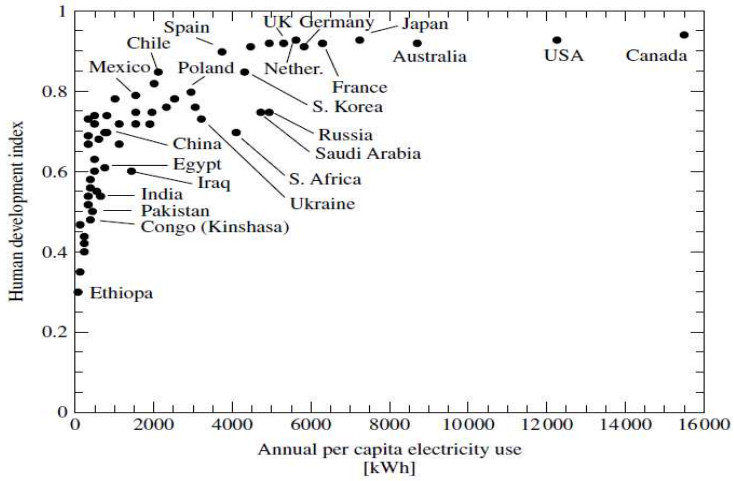

Figura 3.1 Índice de desarrollo humano (HDI) vs. Consumo per cápita kW [38]

El acceso y el consumo de la electricidad están íntimamente relacionados con la calidad de vida. La figura 3.1 muestra el Índice de Desarrollo Humano (IDH o HDI por sus siglas en inglés) de más de 60 países, que incluyen a más del 90% de la población del planeta, contra el consumo anual per cápita. El HID es compilado por las Naciones Unidas y calculado con base en la esperanza de vida, nivel de estudios y Producto Interno Bruto. Para mejorar la calidad de vida en muchos países, se requiere incrementar su consumo eléctrico por un factor de 10 o más. Las alternativas son seguir aplicando las mismas soluciones de los últimos siglos como quemar combustibles fósiles (y seguir liberando al ambiente toneladas de CO2, SO2, y NO2) o construir más plantas nucleares (aunque no se cuente con los métodos de seguridad y de una correcta disposición de los desperdicios altamente radioactivos) o aplicar las soluciones del nuevo milenio, como la tecnología fotovoltaica y eólica que generan energía limpia, renovable, sustentable y no contaminante. (Actualmente el viento genera más de mil veces la energía producida por celdas fotovoltaicas, pero es muy específica de algunos sitios, considerando que la tecnología fotovoltaica es aplicable a la mayoría de locaciones.). [38].

La tecnología fotovoltaica

Es la tecnología que genera potencia eléctrica de corriente directa (DC) medida en Watts (W) o kilowatts (kW) a partir de semiconductores cuando éstos son iluminados por fotones. Mientras la luz del sol esté brillando sobre la celda solar (el nombre del elemento individual de los paneles fotovoltaicos), éste generará electricidad. Cuando la luz del sol ya no es visible, la generación de electricidad se detiene. Las celdas solares no necesitan recargarse como las baterías, algunas han entrado en operación a la intemperie en la Tierra y en el espacio por más de 30 años. La Tabla 3.1 muestra algunas de las ventajas y desventajas de la tecnología fotovoltaica, ahí se incluyen aspectos técnicos y no técnicos. Comúnmente las ventajas y desventajas son casi por completo opuestas a las de las plantas generadoras que usan combustibles fósiles. Por ejemplo, las plantas de combustible tienen como desventaja una amplia gama de emisiones contaminantes, partes y componentes que sufren desgaste, el continuo aumento en los precios de los combustibles, no son modulares (escalables en pequeños incrementos), y sufren de poco apoyo público (nadie quiere una planta que queme carbón en su vecindario). Los sistemas fotovoltaicos (FV) no sufren de ninguno de estos problemas. Las dos propuestas, la fotovoltaica y la planta de combustible fósil son muy confiables pero les falta un apartado para almacenaje de energía. Es de notarse que varias de las desventajas no son técnicas pero si relacionadas con aspectos económicos y de infraestructura. Esto se compensa parcialmente por una alta aceptación pública y por una mayor conciencia de los beneficios ambientales. Al final de la década de los 90's, el promedio de la producción fotovoltaica fue mayor a 33% cada año. [38].

Tabla 3.1 Ventajas y desventajas de la energía fotovoltaica.

Ventajas	Desventajas
La fuente de energía es vasta y esencialmente infinita	La fuente de energía es difusa (la luz solar es relativamente una energía de baja densidad)
No hay emisiones, no hay combustión o combustible radioactivo (no contribuye de manera perceptible en el cambio climático o contaminación)	
Bajos costos de operación (no necesita combustible)	Altos costos de iniciales
No partes móviles (no desgaste)	
Temperatura de operación ambiente (no corrosión por altas temperaturas o aspectos de seguridad)	
Alta confiabilidad en los módulos (> 20 años)	Pobre confiabilidad de auxiliares (balance del sistema) incluyendo elementos de almacenamiento
Modular (incrementos pequeños o grandes)	
Rápida instalación	
Puede ser integrado en la estructura de edificios nuevos o existentes	
Puede ser instalado cerca de cualquier punto de uso	Falta de diversidad de sistemas de integración e instalación disponibles comercialmente
La generación pico diaria puede satisfacer las demandas locales	Falta de dispositivos de almacenamiento económicamente eficientes
Amplia aceptación social	
Record de excelente seguridad	

Fundamento físico de la operación de las celdas solares fotovoltaicas (FV)

Las celdas solares están hechas de materiales llamados semiconductores que tienen electrones débilmente unidos ocupando una banda de energía llamada *banda de valencia*. Cuando se tiene energía excediendo cierto límite, llamado *banda de umbral*

energético (band gap energy), ésta libera un electrón al romper sus enlaces y el electrón se mueve hacia una nueva banda de energía llamada *banda de conducción* que puede conducir electricidad a través del material. Entonces los electrones libres en la banda de conducción están separados de la banda de valencia por la banda umbral (o simplemente gap; medida en unidades de electrónvolts [eV]). Esta energía necesaria para liberarlos electrones puede ser administrada por fotones que son partículas de luz. La figura 3.2 muestra una idealización de la relación entre energía (eje vertical) y las fronteras espaciales (eje horizontal). Cuando la celda solar se expone a la luz solar, los fotones chocan con los electrones de valencia rompiendo sus enlaces y empujándolos hacia la banda de conducción. Existe un contacto especial, selectivo que conduce los electrones en la banda de conducción a un circuito exterior. Los electrones pierden su energía haciendo trabajar al circuito externo, por ejemplo, bombeando agua, haciendo girar un ventilador, alimentando un motor de una máquina de coser, una bombilla, o una computadora. Después son restaurados en la celda solar de forma cíclica por un segundo contacto selectivo que regresa los electrones a la banda de valencia con la misma energía que tenían en un inicio. El movimiento de estos electrones en un circuito externo y sus contactos es conocido como corriente eléctrica. El potencial con el que los electrones se mueven fuera de la celda es menor que el que los excitó; esta es la banda umbral. Entonces, en un material con un umbral de 1 eV, los electrones son excitados por un fotón de 2 eV o por uno de 3 eV, pero los electrones se liberan con un potencial de 1 eV. La potencia eléctrica conducida es el producto de la corriente por el voltaje; esto significa que la potencia es el número de electrones libres por su potencial.

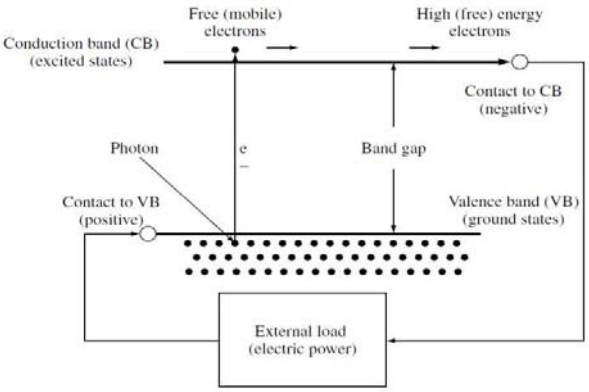

Figura 3.2. Esquema de una celda solar. Los electrones son empujados por los fotones de la banda de valencia hacia la banda de conducción. Ahí son atraídos por un contacto selectivo a la banda conductora (un semiconductor dopado-n, o negativo) con una alta energía (libre) y son enviados fuera de la celda por medio de cables, para realizar algún trabajo, después regresan a la banda de valencia con una baja energía (libre) mediante contacto selectivo (un semiconductor dopado-p, o positivo). [38].

La luz solar es un espectro de fotones sobre un rango de energía. Los fotones, cuya energía es mayor a la de la banda umbral de energía y por eso pueden activar los electrones en la celda solar para producir electricidad. Fotones con menor energía que la del umbral, fallan en excitar electrones. En este caso, la energía viaja a través de la celda solar y es absorbida por la placa posterior como calor. Las celda solares bajo la luz del sol pueden encontrarse a mayor temperatura que la ambiente (20-30°C). Así, las celdas solares generan electricidad sin operar a gran temperatura y sin partes móviles. Esta es

una característica de la tecnología fotovoltaica que explica su seguridad, poca complejidad y confiabilidad de operación.

En el corazón de cualquier celda solar existe una junta *pn*. Ésta junta *pn* resulta del proceso de "dopado" que genera los contactos selectivos de las banda de conducción y de valencias con una convirtiéndose en el lado *n* (muchas cargas negativas), y la otra en el lado p (muchas cargas positivas). El silicio (Si), uno de los materiales más abundantes en la corteza terrestre, es el semiconductor utilizado en forma cristalina (c-Si) por el 90% de las aplicaciones fotovoltaicas hoy en día. Sorprendentemente otros semiconductores son mejores para absorber el espectro de la energía solar. Sin embargo estos materiales aún se encuentran en experimentación o en una comercialización inicial. Algunos son conocidos como semiconductores de película delgada, de los cuales, el *silicio amorfo* (a-Si), *cobre indio di selenio* ($Cu(InGa)Se_2$ o CIGS), y *telururo de cadmio* son los que están recibiendo mayor atención. Las celdas solares pueden operar bajo luz solar concentrada usando lentes o espejos como concentradores permitiendo que una celda de poca superficie pueda ser iluminada con la luz de una mayor área. Esto ahorra cantidades del costoso semiconductor pero aumenta la complejidad del sistema, dado que se requieren sistemas de seguimiento para mantener la luz enfocada sobre la celda solar cuando el sol se mueva en el cielo. El silicio y los semiconductores III-V, hechos de compuestos como el *arseniuro de galio* (GaAs) y el *fosfato de galio indio* (GaInP) son materiales usados en tecnologías de concentradores que se encuentran aún en fases experimentales.

Para aplicaciones prácticas, un gran número de celdas solares interconectadas y encapsuladas dentro de una unidad se conoce como módulo fotovoltaico (o módulo FV), que es el producto vendido usualmente a los compradores. Éstos producen corriente eléctrica que es típicamente transformada a corriente AC por un dispositivo electrónico llamado *inversor*. El inversor, las baterías recargables (cuando se necesita almacenar energía), la estructura mecánica para montar y reparar los módulos, y cualquier otro elemento necesario para construir un sistema FV se denomina *balance del sistema* (BOS por sus siglas en inglés).

Tipos de celdas solares

Celdas solares cristalinas

Este tipo de celdas han dominado la tecnología fotovoltaica desde sus inicios, constituyen el 85% del mercado hoy en día y aunque se han anunciado distintas tecnologías, no se han desplazado del lugar que ocupan. Una de las razones para tal dominio ha sido la evolución de la tecnología del silicio debido a la microelectrónica. Por varias décadas el mercado FV ha empleado sustratos de silicio denominados como del tipo *p* Czochralski, se utilizan obleas cortadas de grandes cristales de silicio y se conocen también como obleas monocristalinas y las celdas y paneles donde se emplean también se conocen como monocristalinas.

Una mejora continua en el desempeño, mayores ventajas y confiabilidad han permitido una reducción importante en los costos y una subsecuente expansión del mercado FV. Debido a los bajos costos del silicio multicristalino (MC, Si-mc) dado a conocer en los años 80 como una alternativa al silicio monocristalino que era el más empleado hasta entonces. A pesar de su menor calidad se han obtenido eficiencias similares a las de Cz, pero lo principal ha sido un costo menor y en general una reducción de precios en ambas tecnologías. Ver tabla 3.2.

Tabla 3.2 Desglose de los costos de fabricación de celdas monocristalinas (SX) y multicristalinas (MC) (correspondientes al año 1990. [39].

	SX	MC
Si puro	38	38
Formación de lingotes	115	35
Cortes	77	77
Costo de obleas	**230**	**150**
Fabricación de celdas	80	80
Componentes totales	310	230
Costo por celda	**0.95**	**0.9**
Rendimiento	326	256
Ensamble del modulo	75	75
Laminación	75	75
Costo del módulo (Euro m^{-2})	**476**	**406**
Eficiencia	0.14	0.12
Costo del módulo (Euro Wp^{-1})	**3.40**	**3.38**

Un mejor entendimiento de la física y óptica del Si-mc significa un mejor diseño de equipos lo que permite una mayor aplicación de esta tecnología. Una combinación entre mejor calidad de material y mejor procesamiento del mismo han permitido mayores eficiencias a todavía menores costos. Una evolución reciente del mercado se puede ver en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Mercado compartido entre celdas solares monocristalinas y multicristalinas. [39].

Año	Celdas solares Cz-Si		Celdas solares MC-Si	
	Salida [MW]	Mercado [%]	Salida [MW]	Mercado [%]
1996	48.7	55	28.4	32
2000	92.0	32	146.7	51

Celdas amorfas y/o de película delgada

La industria FV tradicionalmente ha tomado conocimiento tecnológico prestado de la industria de semiconductores sobre el manejo de dispositivos y su procesamiento, que generalmente usa obleas de mayores espesores para prevenir su rompimiento debido a comportamiento mecánico o fatiga térmica por una alta temperatura de procesamiento, al mismo tiempo, la comunidad FV encontró irresistible el uso de obleas de espesores similares para las celdas solares. Esto les permitió enfocarse en asuntos sobre manejo de material y manufactura de los equipos que ayudo a desarrollar la ciencia y tecnología de las celdas solares de silicio hasta los niveles actuales.

Recientemente, aunque han habido grandes avances en el manejo de obleas y en el desarrollo de mejores métodos de procesamiento y manufactura. Estos avances se han enfocado en el uso de sustratos más delgados por dos razones: (1) Para reducir la cantidad de Si por cada watt de energía FV generada. Porque la industria FV ha pasado por etapas de escases de este material, un uso eficiente del Si puede minimizar los efectos de estas carencias; (2) Para mejorar la eficiencia de las celdas fabricadas con sustratos de bajo costo pero con mejores diseños.

Las celdas de película delgada fueron previstas durante los inicios de la tecnología de las celdas solares como un candidato potencial para reducir la cantidad de Si requerido

para una celda eficiente. Aunque se reconoció que la calidad del material para una celda de silicio de película delgada (Si-TF) no tenía que ser muy alta además de que el interés por este material en otras áreas tecnológicas hizo que emergieran nuevos procesos de producción y manufactura. Recientemente el uso de microcistales de silicio (Si-µc) parece tener un gran potencial para utilizarse como una verdadera tecnología de película delgada. Dentro de las ventajas operacionales están el que se pueden conseguir altas corrientes y mayores voltajes; esto se ha obtenido utilizando también mezclas de silicio amorfo (Si-a) y Si-µc debido a las similitudes mostradas en celdas de cada material por separado.

La tecnología de las celdas amorfas o de película delgada de silicio eventualmente competirá con otras tecnologías de película delgada basadas en películas policristalinas de CdTe o CIGS (Cu(UnGa)Se2). Ya que el uso del silicio significa el empleo de sistemas de producción más simples y más económicos comparados a los de compuestos semiconductores.

Diagramas comparativos de paneles fotovoltaicos

Se realizó un estudio sobre distintos parámetros de paneles solares que utilizan celdas monocristalinas, policristalinas y amorfas a fin de conocer su comportamiento representando parámetros comerciales como la potencia máxima de generación (Pm), el voltaje de potencia máxima (Vmp), corriente de potencia máxima (Imp), el voltaje de circuito abierto (Voc) y la corriente de corto circuito (Isc).
A partir de una investigación de mercado se analizaron las características de 269 panes solares, de los cuales 173 son paneles policristalinos de 11 fabricantes diferentes; 47 son amorfos de 5 fabricantes; y 49 paneles monocristalinos de 5 fabricantes distintos.

Los datos recolectados se registraron en tres tablas de acuerdo a los tipos de paneles ordenando los valores según los distintos parámetros antes mencionados. A partir de estas tablas se generaron diagramas relacionando tres variables distintas; una en el eje de las abscisas, otra en el eje de las ordenadas, la tercera variable se representa mediante una "burbuja", justo en el punto de intersección de las otras dos variables. El tamaño de la burbuja representa el valor de la última variable. Todas las burbujas o círculos de los paneles de un mismo tipo se muestran del mismo color; de esta forma se tienen tres colores diferentes.

A partir de los datos sobre paneles en el mercado y que se puede ver en las tablas A-1 a A5 en el apartado de Anexos. A continuación se presentan las tres tablas respectivas a cada tipo de paneles y después las consecuentes gráficas donde se representan los valores de las tablas. Las gráficas se hacen relacionando un parámetro en el eje de las abscisas, otro en el eje de las ordenadas y uno más en el punto de localización quedando representado el último valor por el tamaño de la circunferencia o burbuja de dicho punto.

Gráfica Corriente máxima Vs. Potencia máxima Vs. Voltaje máxima

La gráfica de la figura 3.3 muestra todos los valores de corriente y potencia; cada circunferencia representa el voltaje de potencia máxima de cada panel. Es de notarse que la mayoría de las burbujas azules, las de paneles policristalinos tienen tamaños muy similares lo que indica que casi todos manejan voltajes similares, aun cuando la corriente y

potencias aumentan, primero en forma aparentemente lineal y después los valores se vuelven dispersos. Las burbujas de los paneles monocristalinos también aparentan tener tamaños semejantes unas con otras aunque no muestran valores de voltajes tan pequeños como la de algún panel monocristalino. Las corrientes que estos manejan se encuentra dentro de dos intervalos entre 4 y 6 [A] y valores próximos a 8 [A]; lo interesante es que los valores de los voltajes se mantienen cercanos y se distinguen dos grupos de paneles en el primer intervalo de corrientes y un grupo más con corrientes cercanas a 8 [A]. Los paneles amorfos forman un grupo grande con corrientes relativamente bajas y potencias medias entre 25 y 200 [W], en un primer grupo; un segundo grupo de paneles con corrientes entre 3 y 6 [A] y potencias entre 125 y 250 [W], además de un panel que ofrece condiciones operativas similares a las de los paneles policristalinos.

La figura 3.4 es una representación de las regiones operativas que se hace a partir de la gráfica de la figura 3.3, en esta nueva gráfica se pueden identificar claramente las regiones de los grupos de paneles antes mencionadas.

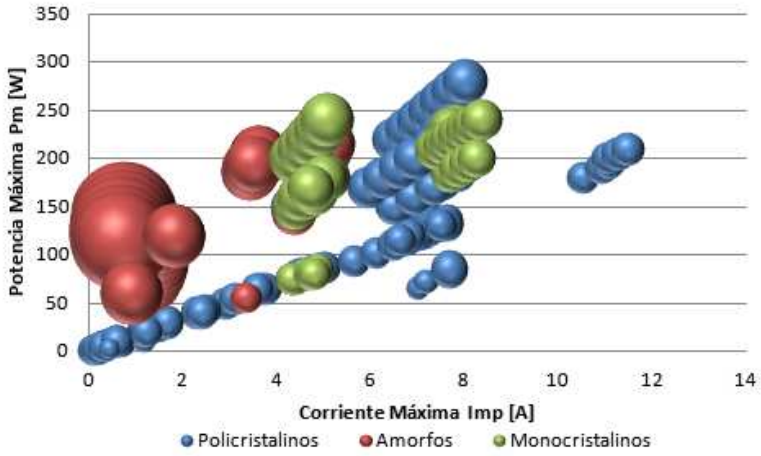

Figura 3.3 Gráfica de burbujas, Corriente máxima Vs. Potencia máxima Vs. Voltaje máxima (tamaño de la burbuja).

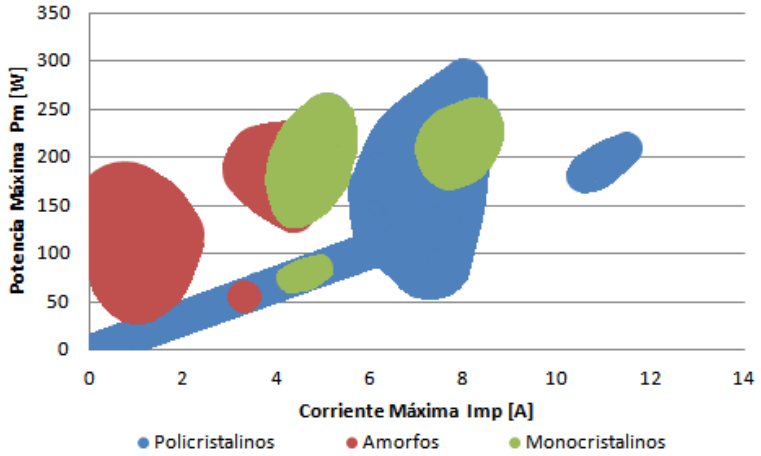

Figura 3.4 Gráfica de regiones, Corriente máxima Vs. Potencia máxima Vs. Voltaje máxima (área de la región).

Gráfica Voltaje máxima Vs. Potencia máxima Vs. Voltaje máxima

Ahora la gráfica de la figura 3.4 muestra el comportamiento de la potencia en función del voltaje de los paneles y el tamaño de las burbujas representa el valor de la corriente de los mismos. En este caso, los panes policristalinos se engloban nuevamente en una sola región que comprende voltajes no mayores a 50 [V] y potencias máximas de casi los 300 [W]. Los paneles monocristalinos se muestran en dos regiones pero el número de paneles analizados en pequeño así tentativamente podría estimarse que existan otros paneles a fin de que se engloben dentro de una misma región con voltajes un tanto superiores a los entregados por los paneles policristalinos y potencias pueden ser superadas por estos últimos. Finalmente los paneles amorfos muestran un comportamiento disperso, existiendo paneles de similares características a las de los policristalinos y/o monocristalinos pero con voltajes que pueden superar por mucho a los que entregan las otras tecnologías, sin embargo las corrientes que entregan, no llegan a los valores de los otros paneles. La figura 3.6 muestra las regiones idealizadas para el comportamiento de los paneles mostrados en la gráfica de la figura 3.5.

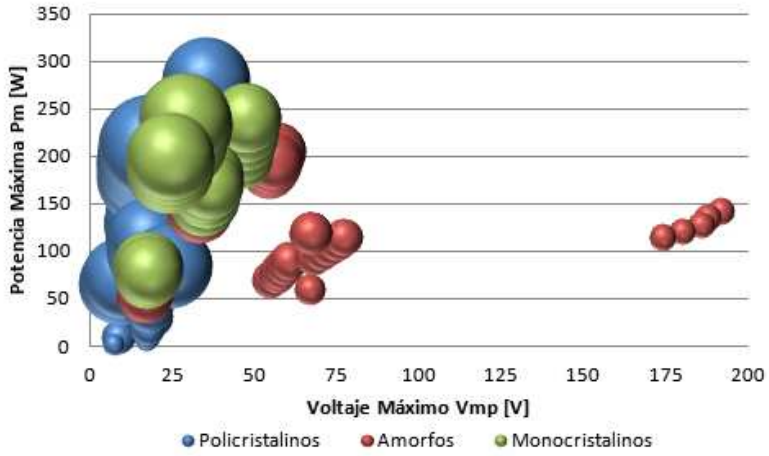

Figura 3.5 Gráfica de regiones, Voltaje máximo Vs. Potencia máxima Vs. Voltaje máxima (área de las burbujas).

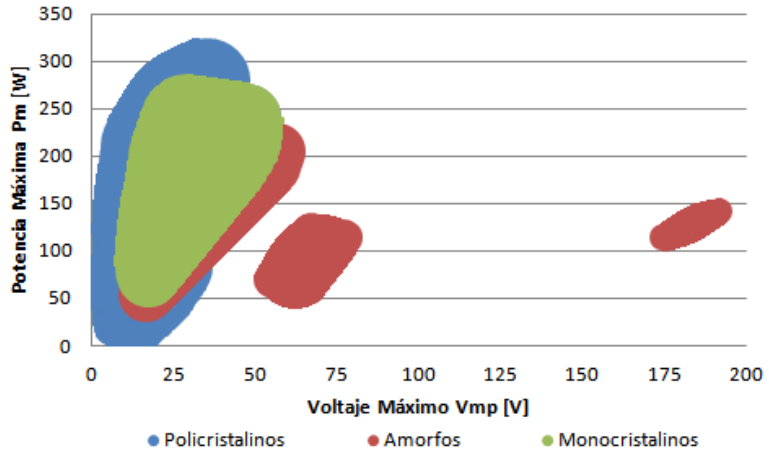

Figura 3.6 Gráfica de regiones, Voltaje máximo Vs. Potencia máxima Vs. Voltaje máxima (área de la región).

En resumen, Ta tecnología de la generación de energía fotovoltaico mediante celdas y paneles solares se rige por el uso del silicio como materia prima para estos; principalmente se usa el silicio en estado cristalino (monocristalino, policristalino, y en estado amorfo); con este material se fabrican obleas para las celdas solares "estándar" (moocristalinas o policristalinas), y obleas de material amorfo para celdas de película delgada.

Son muchas las características que distinguen las ventajas o desventajas de un panel, pero los parámetros que principalmente se consideran son: la potencia máxima que entrega (Pm); los voltajes de máxima potencia y de circuito abierto (Vmp y Voc, respectivamente); y las corrientes de máxima potencia y de corto circuito (Imp y Isc, respectivamente).

La representación de los valores para los diferentes parámetros de los paneles monocristalinos, policristalinos y amorfos son mucho más fáciles de identificar en gráficas de burbujas o de regiones. Esto hace evidente la posibilidad de encontrar un panel de cierto tipo que cumpla las características de otro panel de diferente tecnología y sólo quedaría la diferencia principal en cuanto a costo y área o tamaño de la instalación FV necesaria para generar la misma potencia.

Capítulo 4

Proceso de estudio comparativo y exploración de regiones funcionales

En 1971, Michael French presentó un diagrama tratando de representar el proceso de diseño y desde entonces se ha empleado en varios trabajos de diseño en los que una parte fundamental es el desarrollo e identificación de esquemas; un esquema es un bosquejo de solución a un problema, llevado a un punto en el que las funciones principales a realizar se satisfacen, aclarando las relaciones espaciales y estructurales de los componentes principales, este esquema debe haberse trabajado lo suficiente como para poder estimar costos, pesos y dimensiones, y su factibilidad ha de estar asegurada mientras que las circunstancias así lo permitan (French 1992).

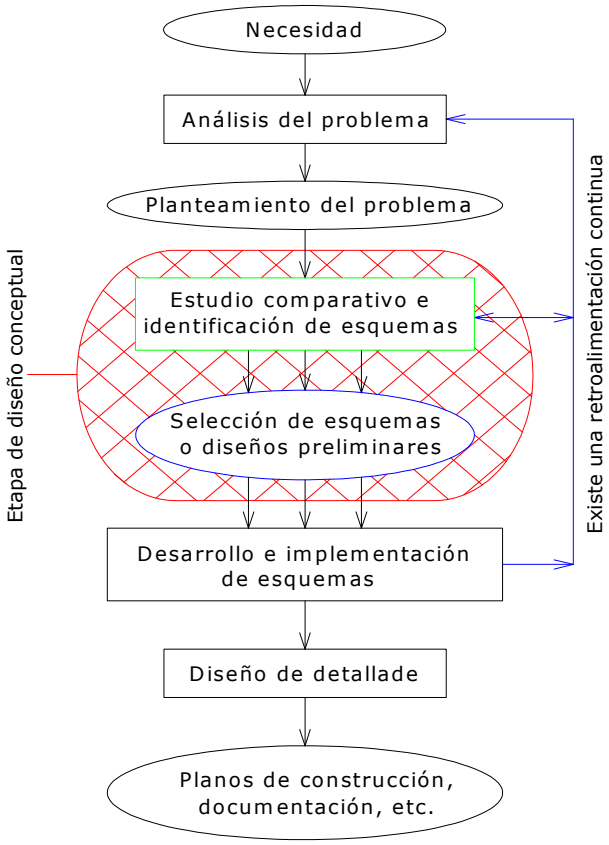

Figura 4.1 Diagrama de bloques del proceso de diseño [5].

Al desarrollarse un nuevo producto se plantean esquemas y de estos, se selecciona al mejor de acuerdo con el equipo de diseño, ese esquema será un nuevo producto que competirá con otros ya existentes. Por ello es que el diseño de cualquier producto debe considerar a la etapa de diseño conceptual como la más importante y en donde se han de enfocar todos los esfuerzos porque las malas decisiones que tomen aquí pueden repercutir en el costo final del mismo, en los procesos de manufactura necesarios y en el éxito general de éste (Pahl & Beitz, 1986; French 1992).

El presente trabajo es un estudio de diseño comparativo que tiene como finalidad la comparación de distintas características de desempeño y atributos secundarios de equipos o sistemas técnicos, calificando o cualificando dichos atributos de tal forma que sean medibles mediante una escala adecuada tal que se obtengan datos numéricos que puedan ser computados y analizados en busca de patrones o comportamientos similares; finalmente se pretende representar a todos los valores obtenidos de forma gráfica para que los resultados puedan ser claros y entendibles por cualquier persona. Este proceso de análisis se plantea para que los resultados sean usados por equipos de diseño o rediseño y la información sea utilizada en etapas de diseño conceptual, figura 4.1.

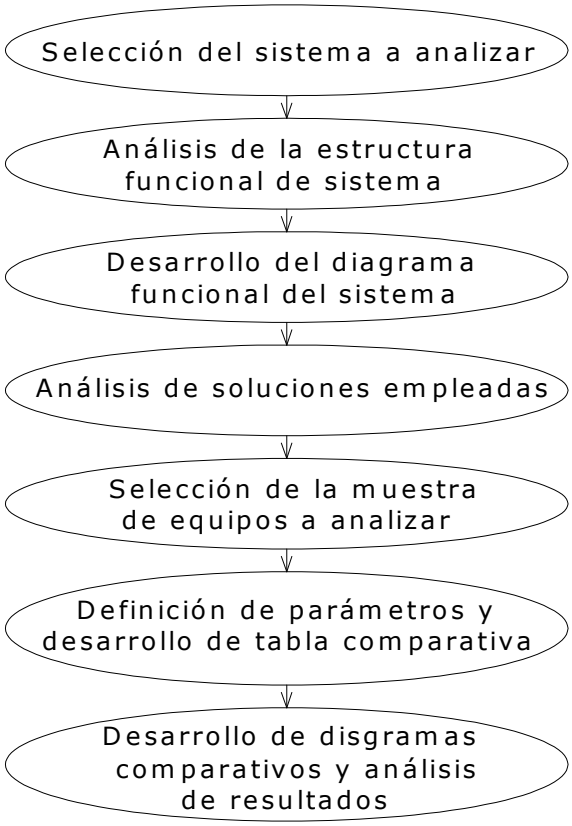

Figura 4.2 Diagrama del proceso para el análisis exploratorio de regiones funcionales.

Las tendencias de diseño se enfocan a que los grupos de diseño se conformen por expertos de diferentes disciplinas, lo que representa una ventaja cuando todos hablan un mismo lenguaje; pero en ocasiones no todos los integrantes del equipo comprenden fácilmente algunos conceptos técnicos que se manejan dentro del proceso de diseño por lo que esta alternativa se muestra como una ayuda para que la información técnica

pueda ser entendible para desarrollar un proceso simple que no requiera de un alto nivel de sofisticación. La aplicación de un estudio de este tipo pretende ser empleada como una solución que permite un entendimiento de aspectos ingenieriles por parte de expertos de otras áreas sin conocimientos estrictamente técnicos. Más bien es una herramienta que ayuda a los técnicos y a los experto pero de tal forma que simplifica el proceso al involucrar medios de visualización de las funciones.

El proceso se desarrolla mediante una serie de pasos que se muestran en el diagrama de la figura 4.2. Previo a cualquier proceso es necesario identificar el tipo de artefactos o sistemas técnicos que se analizaran. Esto es algo simple ya que desde el inicio del proceso de diseño se establece el tipo de sistema que se ha desarrollar. Hecho esto se inicia con la serie de pasos que se detallan a continuación:

Paso 1. Definición del sistema a analizar

Este paso se da casi como un hecho dentro del proceso de diseño o rediseño. Pero en ocasiones el método de diseño empleado o la forma en que es llevado dirige a un diseño completamente diferente; no necesariamente a un nivel de innovación total pero sí a emplear tecnologías, materiales o procesos de manufactura diferentes a los que pueden presentar productos en el mercado. Por ello es importe definir claramente que es lo que se pretende analizar; si serán las diferentes familias de una misma clase de artefactos o si el estudio se enfocará más por uno componente o componentes del sistema.

Paso 2. Análisis de la estructura funcional del sistema:

Pahl y Beitz describen en "Engineering Design; a systematic approach, 1986" ([2]) como los artefactos tecnológicos, incluyendo los productos de ingeniería para la industria ligera y pesada, son artificiales, concretos y la mayoría son sistemas dinámicos conformados por varios ensambles o sub-ensambles de elementos ordenados; interrelacionados de acuerdo a de sus propiedades. Un sistema también se caracteriza por el hecho de tener un límite en virtud de sus relaciones con el medio. Estas relaciones determinan el comportamiento del sistema, de tal manera que es posible definir una ***función*** que exprese la relación entre las entradas y las salidas y por lo tanto los cambios en magnitud de las variables del sistema.

A partir de la idea de que los artefactos técnicos pueden ser representados como sistemas. El aproximamiento sistemático refleja la apreciación general de que un problema complejo puede ser atacado de mejor manera a partir de pasos o procesos concretos, cada uno involucrando un análisis y una síntesis. Y para ello, estos autores definen los siguientes conceptos:

- Un ***sistema*** es un artefacto artificial, concreto y consistente de elementos ordenados que conforman ensambles de acuerdo a sus propiedades.
- Una ***función*** expresa la relación entre las entradas y las salidas, y por lo tanto los cambios en magnitud de las variables del sistema.

De acuerdo con Pahl y Beitz [2], cualquier sistema técnico puede ser representado por medio de diagramas simples, en su forma más básica como una caja negra en donde se identifican las entradas y salidas del sistema de tal forma que funciones y subfunciones se

rigen de acuerdo a un flujo de energía, materia e información, figura 4.3. Definiendo entonces el término *función* como la relación de entradas y salidas de un sistema cuyo propósito es el de realizar una tarea; las *subfunciones* o funciones secundarias son funciones que se deben realizar para satisfacer una "función principal" [2].

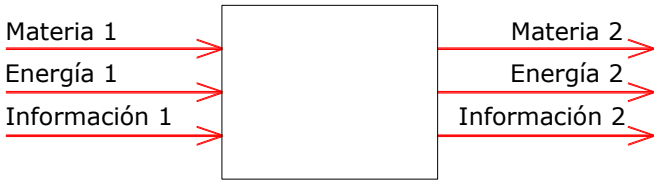

Figura 4.3 Diagrama de caja negra de un sistema técnico [2].

Esta etapa busca la definición clara de las funciones y subfunciones que realiza el sistema en estudio. En la etapa de diseño conceptual para la cual se desarrolle el mismo, se han de especificar las metas o los objetivos que se persiguen en todo el proceso y que también son aplicables en el estudio. Los puntos importantes se obtienen de manera simple respondiendo tres cuestionamientos simples:

¿Qué hace el sistema?
(Función principal)

¿Cuál es la tarea o la función principal para la que fue diseñado o se diseña el sistema? las respuestas deben ser lo más concretas, se busca la o las funciones más básicas; así por ejemplo, la principal función de una báscula es cuantificar la masa de un objeto o sustancia de acuerdo a una escala dada.

¿Cómo lo hace el sistema?
(Mecanismo de operación)

Esta cuestión pretende encontrar los mecanismos, herramientas o los procesos que sigue un sistema técnico para desarrollar las funciones principales. Estos procesos o mecanismos son subfunciones que también se evidencian al identificar cómo es que se lleva a cabo la tarea principal.

¿Cuáles son las entradas y salidas del sistema?
(Entradas y salidas de operación)

Lo que se busca en este apartado resulta de un análisis más abstracto. Se requiere identificar las entradas y salidas de materia, energía e información; para lo cual se necesitan conocimientos ciertamente técnicos. Por ejemplo: al calentar un alimento en un horno microondas, el alimento se convierte en una entrada material para el sistema; el horno es alimentado por energía eléctrica; y para realizar la tarea de "calentar", el usuario da entradas de información al indicar un tiempo de calentamiento. Al realizar la tarea, el sistema emplea energía en forma de microondas que calientan los alimentos a la vez que libera energía en forma de calor que es perceptible en la parte trasera del horno; generalmente estos equipos tienen un dispositivo que indica el tiempo restante lo que se puede entender como una salida de información del sistema.

Cuando se recopila toda esta información y se tiene de manera ordenada existe la posibilidad de representarla en forma de un diagrama funcional. La función principal es la representativa del sistema pero para concretarla es necesario realizar previamente funciones secundarias y estás se realizan de acuerdo a flujos de materia, energía e información:

Flujo de materia

Es el curso que sigue la materia necesaria para la operación de un sistema. Un ejemplo claro de esto está en la gasolina que es materia líquida que se introduce en el sistema "automóvil" en donde sigue un flujo desde que se introduce en el depósito, se dirige al motor, se mezcla y se convierte en humo que sale del sistema por los conductos de escape.

Flujo de energía

Un ejemplo del flujo de energía de un sistema se puede ejemplificar con la operación de un motor eléctrico. Por ejemplo si el motor se conecta a la "toma eléctrica de la pared", existe un flujo de energía de la red eléctrica comercial hacía el motor y ya en el motor, el flujo de electrones crea un campo electromagnético que transforma la energía eléctrica en energía electromotriz a la vez que la fricción de los componentes generan calor disipado por la carcasa del motor. Entonces las funciones relacionadas con energía son:

Flujo de información

Para ejemplificar el flujo de información, algo simple es una máquina despachadora de bebidas. La máquina, recibe un flujo de materia siendo el dinero para comprar la bebida; el valor de la moneda es información de entrada al sistema, cuando cierto valor se alcanza existe la posibilidad de seleccionar el sabor o tamaño de la bebida que es un salida de información y entonces la selección del usuario es una entrada más al sistema. Finalmente toda esa información fluye dentro del sistema hasta activar algún mecanismo electromecánico que despacha la bebida según la selección del usuario.
Aquí algunas de las funciones relacionadas con información son:

Paso 3. Desarrollo del diagrama funcional del sistema:

A partir de los datos obtenidos en el paso anterior, se propone el desarrollo de un diagrama funcional del sistema. La información conocida sobre qué hace, cómo lo hace y cuáles son las entradas y salidas del sistema, además de sus flujos de información, materia y energía, y las funciones involucradas hacen que la representación gráfica del sistema se simplifique. Así entonces para un sistema de conservación de alimentos por ejemplo, se tiene un diagrama como el de la figura 4.4.

La figura 4.4 muestra un diagrama funcional simple de un sistema de conservación de alimentos en donde se muestran los diferentes flujos del mismo representados a través de líneas que unen las diferentes funciones involucradas además de que se hace evidente la relación de algunas sub-funciones con más de uno de los flujos, de esta manera la sub-función "poner en operación al sistema" se relaciona con el flujo de energía y con el flujo información. Esquemáticamente se representa una función principal que es la de

conservar alimentos, lo que se logra manteniendo los alimentos a una baja temperatura y un ambiente estable.

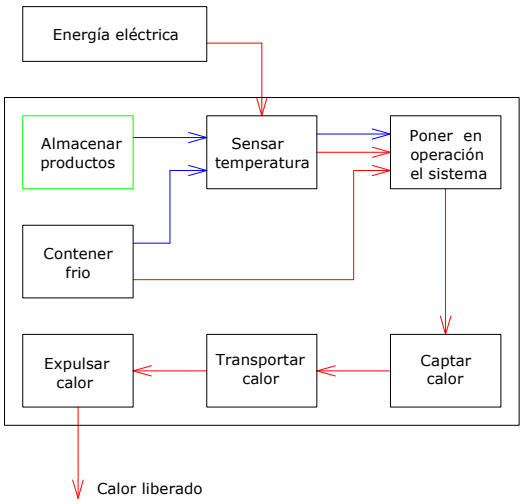

Figura 4.4 Diagrama funcional de un sistema de conservación de alimentos. Las líneas rojas representan "flujo de energía"; las azules, "flujo de información"; y las verdes, "flujo de materia".

Paso 4. Análisis de soluciones empleadas:

Realizadas las etapas anteriores se tiene claro lo que se busca en el proceso de diseño, se sabe cuál es la función principal que realizará el sistema además de identificar las posibles sub-funciones requeridas. Por lo que en esta etapa se buscan y analizan las soluciones que previamente se han utilizado para satisfacer las funciones principales o sub-funciones y conocer las tecnologías empleadas sin importar si son innovaciones o no, o si son viejas, el objetivo es conocer acerca de equipos o sistemas que realicen tareas semejantes limitando la búsqueda únicamente a equipos de características semejantes al sistema a diseñar.

Paso 5. Selección de la muestra de equipos a analizar:

En esta etapa se hace un análisis de mercado en busca de equipos que empleen las tecnologías o principios identificados en la etapa anterior. Dichas tecnologías o principios de funcionamiento a fin de identificar ventajas y desventajas y cómo es que se relaciona su desempeño con otras variables. Para esto se realiza un benchmarking de desempeño. El propósito de una investigación de benchmarking es identificar quién se desempeña mejor con base en mediciones de *productividad*, el *benchmarking de desempeño* es otro tipo de análisis que incluye todos los estudios basados en investigaciones, y datos provenientes tanto de competidores como de líderes funcionales [37].

Generalmente el objetivo de un benchmarking en procesos de diseño es identificar los mejores productos, las mayores prestaciones o las tendencias que lideran el mercado aunque para este estudio lo que se busca en concreto, es la identificación de las funciones desempeñadas, y cómo es su comportamiento en relación con otras funciones o parámetros. Los parámetros son características medibles consideradas como variables,

por ejemplo, el consumo energético, el volumen; pero también un parámetro puede ser la relación de dos o más variables.

El tamaño de la muestra dependerá de la precisión o exactitud que se espere del estudio y la información se conoce a partir de diversas fuentes como consultas con fabricantes de equipos, catálogos de los mismos, sitios de internet, vendedores especializados, etc., todo con tal de tener la mayor cantidad de información de cada equipo: color, dimensión, peso, materiales empleados, procesos de manufactura, número de componentes, etc.

Paso 6. Definición de parámetros y desarrollo de la tabla comparativa:

Con los datos y valores identificados en el paso 5 que se identificaron de acuerdo a las necesidades del proyecto, ahora se definen parámetros y algunas relaciones que vinculen a dos o más parámetros a fin de hacer evidentes ventajas o desventajas que tienen los productos analizados. Por ejemplo en el caso de un refrigerador, un parámetro es el "precio de venta" y otro el "volumen comercial" y una relación es la razón del primero sobre el segundo, por ejemplo. Definidos éstos, se realiza una tabla comparativa en la que se localicen todos los valores obtenidos de los diferentes parámetros de forma que sean más fáciles de manipular.

Paso 7. Desarrollo de diagramas comparativos:

Lo siguiente es mostrar todos los valores de los parámetros de interés de forma gráfica, utilizando líneas, puntos o cualquier representación gráfica que muestre claramente el comportamiento de los parámetros e indirectamente comparando productos logrando así un entendimiento objetivo del desempeño de los mismos.

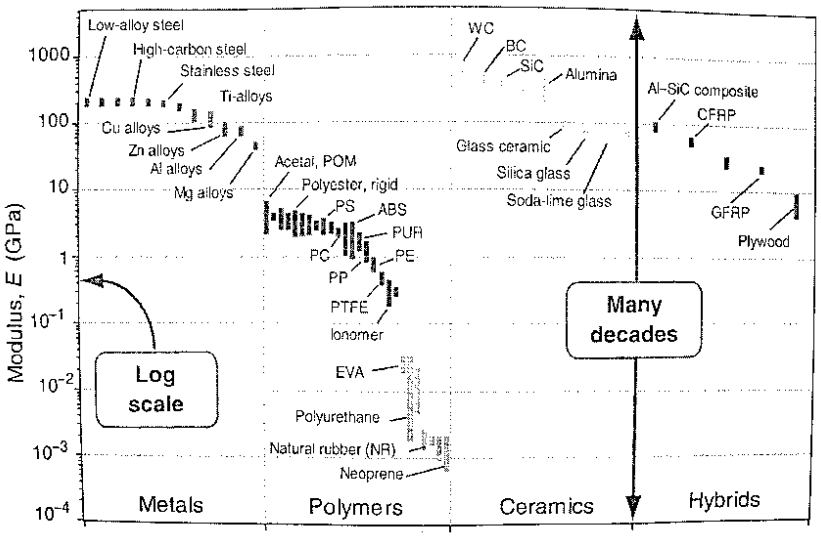

Figura 4.5 Diagrama creado por Michael Ashby para representar el comportamiento del módulo de elasticidad de diferentes materiales, [8].

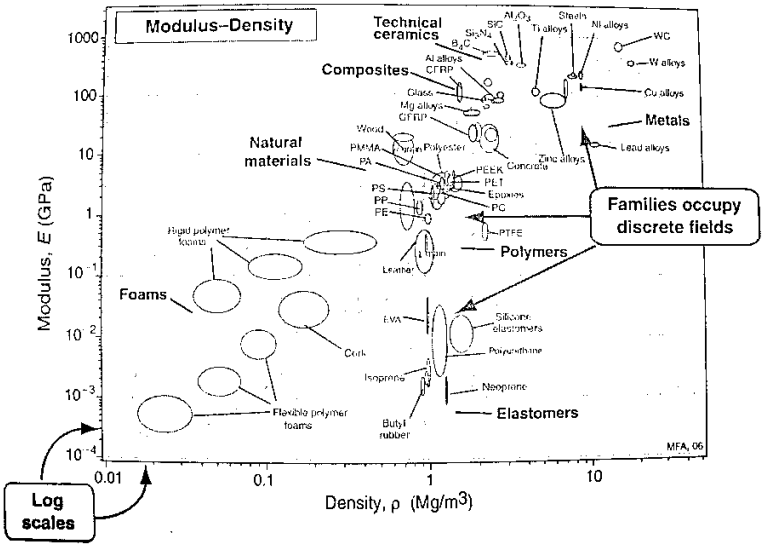

Figura 4.6 Diagrama creado por Michael Ashby que muestra el módulo de elasticidad contra la densidad para diferentes materiales, [8].

Este proceso de identificación de regiones no es nuevo, por ejemplo el profesor Michael Ashby, uno de los primeros en usarlo y posiblemente quien más los ha desarrollado dentro de la ingeniería mecánica, lo ha utilizado con mucho éxito en lo referente a la selección de materiales. Sin embargo este tipo de procesos no se ha utilizado para el diseño de un producto en específico. El proceso de Michael Ashby en "Material Selection in Mechanical Design" [8]; consiste en organizar los materiales de acuerdo a su naturaleza de metales, polímeros, cerámicos, etc. Después mide alguna propiedad como el módulo de elasticidad por ejemplo, y representa los valores de dicho parámetro en una gráfica, figura 4.5, en realidad esa gráfica no ofrece más información, pero cuando se relaciona con otra propiedad, por ejemplo comparando el módulo de elasticidad contra la densidad de cada material la información que puede ofrecer una gráfica similar es muy diferente y es mucho más útil porque es posible entonces, estimar o predecir de forma rápida el comportamiento de un material cuando se selecciona para un uso específico, figura 4.6.

Paso 8. Análisis de resultados y conclusiones:

Finalmente se analizan las diferentes gráficas, de acuerdo a los parámetros representados se busca identificar las características que hacen que un producto sea mejor o peor que otro y cómo esas características afectan el desempeño del mismo producto en otros apartados, si es que es el caso y si no lo es, identificar el porqué de su comportamiento.

La conclusión de este proceso se logra al reportar las características identificadas que condicionan el desarrollo de un mejor diseño. Ya que se visualizan los puntos que hacen que un producto tenga un mejor desempeño y lo que representa en repercusión a otras características como precio, peso, manufactura, etc. Es más fácil orientar el proceso de diseño en pro de las metas que se persiguen en el proyecto.

Capítulo 5

Proceso de Estudio Comparativo y Exploración de Regiones Funcionales de Sistemas de Conservación de Alimentos

En este capítulo se plantea el caso de estudio principal sobre el cual se desarrolla el proceso de estudio comparativo y la exploración de regiones funcionales a partir de la información y los datos que se pueden llegar a recolectar sobre sistemas de conservación de alimentos.

Caso de estudio

Todos los sistemas de conservación de alimentos cumplen con la tarea de prolongar la vida de los alimentos, algunos equipos tienen características adicionales; los hay en diversidad de dimensiones, precios y consumos variados ya que utilizan diferentes tecnologías, materiales y componentes en general. Como ya se ha mencionado este análisis parte del trabajo realizado por un equipo de diseño para un nuevo sistema de conservación de alimentos.

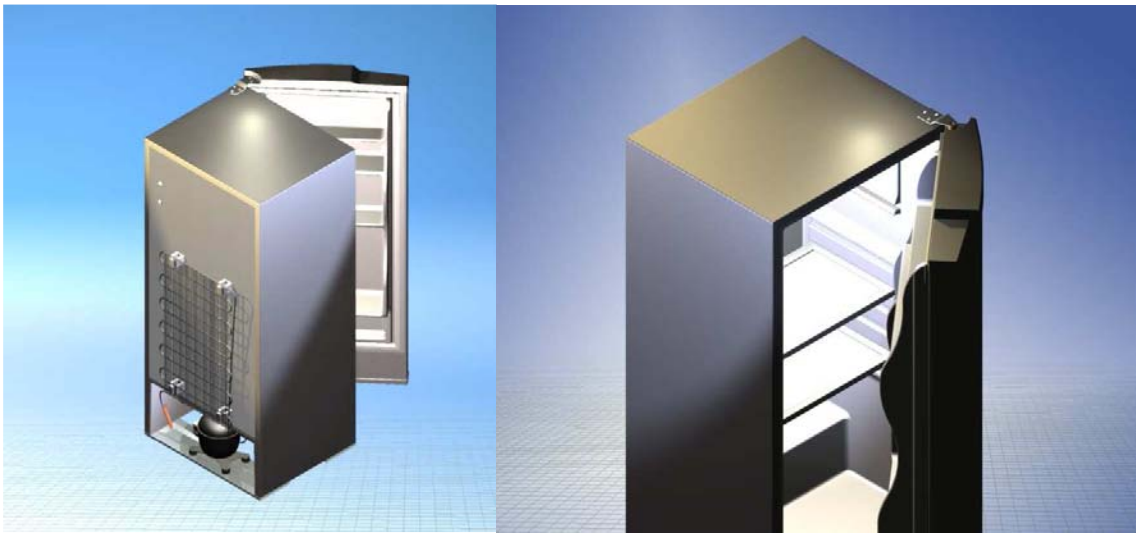

Figura 5.1. Modelado de un sistema de conservación de alimentos convencional de uso residencial.

Un primer acercamiento para el mencionado proceso de diseño fue el conocer el estado del arte en cuanto estos equipos encontrando varios principios de funcionamiento,

algunos más maduros que otros, algunos utilizados para aplicaciones especiales; y fue a partir de esto que el llevar a cabo el estudio comparativo y el proceso de exploración funcional creaba la posibilidad de identificar características específicas o principios de diseño que ofrecían un mejor desempeño y que por ello debían ser consideraros en pro de un mejor diseño y/o en el caso de que no fuera posible su aplicación en este diseño, sí quedara un documento con base en las características halladas en el mercado y de los conceptos hallados, el estudio prometía la obtención de información útil para futuros desarrollos sobre estos equipos.

1. Definición del sistema a analizar

El estudio se centra en la adquisición de información relacionada con sistemas de conservación de alimentos de uso doméstico y el análisis de la misma para encontrar las principales características en las que se puedan comparar equipos a fin de conocer su desempeño y por qué ciertos equipos son superiores a otros. Para el ejercicio no se han te tener restricciones sobre dimensiones o precios siempre que los equipos se comercialicen como residenciales. A su vez, se consideran como alimentos todos los productos sólidos o líquidos para consumo humano.

2. Análisis de la estructura funcional del sistema:

Es interesante antes de iniciar este apartado citando a los autores Pahl y Beitz para explicar que es un sistema, un artefacto tecnológico y que es una función:

"Los artefactos tecnológicos, incluyendo los productos de ingeniería para la industria ligera y pesada, son artificiales, concretos y la mayoría son sistemas dinámicos que consisten de varios conjuntos, ensambles o sub-ensambles de elementos ordenados, interrelacionados en virtud de sus propiedades. Un sistema también se caracteriza por el hecho de tener un límite debido a sus relaciones con el medio. Estas relaciones determinan el comportamiento del sistema, de tal manera que es posible definir una función que exprese la relación entre las entradas y las salidas y por lo tanto los cambios en magnitud de las variables del sistema (Pahl & Beitz, 1986)."

Por lo tanto:

Un ***sistema*** es un artefacto artificial, concreto y consistente de elementos ordenados que conforman ensambles de acuerdo a sus propiedades.

Una ***función*** expresa la relación entre las entradas y las salidas, y por lo tanto los cambios en magnitud de las variables del sistema.

Se especifica lo anterior porque la forma en que se definen dichos conceptos es muy oportuna dadas las circunstancias de este proyecto. También siguiendo con las ideas de Phal y Beitz, en lo consiguiente se expresarán las funciones utilizando un verbo en infinitivo y un sustantivo de tal forma que sea fácil de entender y comunicar.

La mayoría de los alimentos se descomponen o pudren debido a fenómenos vitales como las bacterias y/o microorganismo presentes en el medio ambiente, los parásitos de los propios alimentos y enzimas presentes en estos; y también se descomponen por

fenómenos no vitales como excesos de temperatura, humedad, luz o simplemente por el tiempo. Uno de los métodos más empleados para conservarlos es bajando su temperatura y así retrasar su descomposición evitando se desarrollen microorganismos y retardando la actividad enzimáticas que hace que los alimentos se echen a perder [20, 21].

Los equipos de conservación de alimentos son electrodomésticos con los que la mayoría de las personas están familiarizadas, sin embargo, los altos consumos energéticos de muchos de estos dispositivos han hecho que las tecnologías aplicadas evolucionen rápidamente. Además de considerar las aplicaciones pertinentes para el uso de energías alternas como la solar o la eólica; aunque los equipos en general, aparentemente no han evolucionado demasiado desde el siglo pasado.

Función principal

El dispositivo se encarga de conservar productos alimenticios manteniéndolos a bajas temperaturas y un ambiente relativamente limpio (dentro del compartimiento enfriador); y en otros casos los mantiene a temperatura de congelamiento también en un ambiente limpio (dentro del compartimiento congelador).

Mecanismo de operación

La mayoría de los equipos domésticos utilizan el ciclo de compresión de vapor. Este principio de operación les permite utilizar un mismo "circuito enfriador" para congelar y para enfriar. Otro principio no tan ampliamente utilizado por su falta de capacidad para congelar es el de las celdas peltier o celdas termoeléctricas y que mayormente se utiliza en enfriadores de bebidas o de productos que no necesitan mantenerse a muy bajas temperaturas pero sí constantes. Debido a la diferencia en cuanto a capacidad enfriadora, los equipos termoeléctricos no llegan a ser tan grandes como los equipos que utilizan el ciclo de compresión de vapor.

Entradas y salidas del sistema

Considerando que el sistema de conservación de alimentos es un electrodoméstico comercial y que no se necesita de ninguna instalación, aditamento o trabajo especial para operar. Entonces, para operar uno de estos equipos sólo se necesita de una fuente de energía eléctrica con ciertas características de corriente y voltaje constantes.

El equipo requiere energía eléctrica, es una entrada en el sistema y es necesaria para su operación. Los alimentos o productos entran en el sistema y son considerados como entradas para ser operadas dentro del sistema no necesariamente entradas para la operación del sistema. Durante la operación del sistema, las salidas son, además de productos a menores temperaturas que a las que entraron, la salida de energía en forma de calor, generalmente perceptible en la parte trasera de varios de estos equipos.

Un sistema de conservación de alimentos es un sistema técnico de acuerdo con Pahl y Beitz [2], por lo que puede ser representado por medio de diagramas en que se muestren las entradas y salidas del mismo, figura 5.2. Las entradas y salidas mencionadas

anteriormente son comunes para diferentes equipos y dispositivos ya que hasta el momento no se ha especificado sobre tecnologías o componentes de cada sistema.

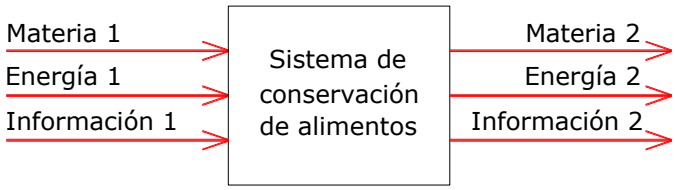

Figura 5.2. Diagrama de caja negra de un sistema técnico [2].

Los enfriadores son equipos que retiran el calor de los alimentos almacenados y los congeladores retiran tanto calor que los alimentos no sólo se enfrían sino que llegan a congelarse. Pero todos ellos utilizan flujos operativos de materia, energía e información.

La gran mayoría de los equipos de conservación de alimentos no son muy grandes; generalmente se conectan a una toma de energía eléctrica de pared, utilizan gabinetes que guardan y donde se retira calor de los alimentos o productos a conservar. El diagrama de la figura 5.3 muestra de una forma esquemática tres subfunciones que en teoría deben realizarse para que se cumpla la función principal representada mediante el rectángulo mayor; las subfunciones son: energizar el sistema, enfriar y guardar alimentos. Aparentemente sólo hay dos entradas, la energía eléctrica, y obviamente los alimentos; y sólo una salida, alimentos conservados; sin embargo desde un punto de vista técnico existen más entradas y más salidas en el sistema que quedan claras cuando se identifican los diferentes flujos operativos, sus entradas, salidas y funciones (subfunciones) relacionadas.

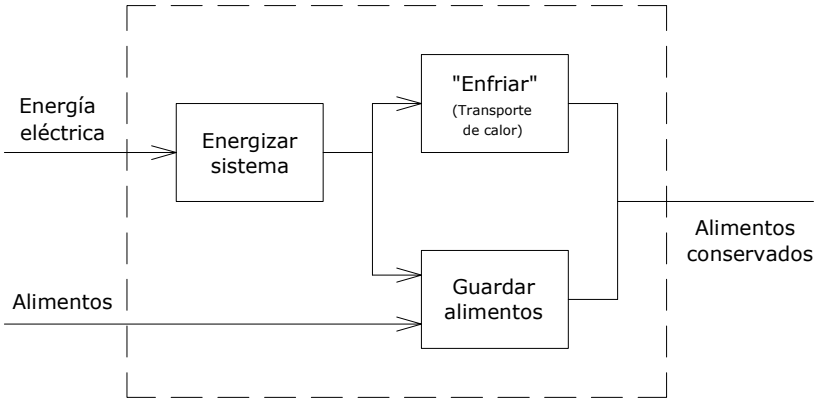

Figura 5.3. Diagrama esquemático de un sistema de conservación de alimentos.

Flujos operativos del sistema

Flujo de materia

En los sistemas de refrigeración considerándolos como completos, estos siguen un flujo de materia durante su operación que son los productos o alimentos que se almacenan dentro del equipo. Los alimentos entran en un estado inicial (1), dentro del sistema son

operados al retirárseles energía térmica para bajar su temperatura y que puedan ser conservados por más tiempo del que durarían estando fuera del sistema. Estos productos salen del sistema en un estado 2 (figura 5.2), ya con una menor temperatura y probablemente con algunas variaciones en sus propiedades o características originales.

Entradas:
- Alimentos o productos a ser conservados

Salidas:
- Alimentos o productos conservados

Funciones relacionadas:
- Guardar alimentos

Flujo de energía

Todos los sistemas de conservación de alimentos a analizar están diseñados para extraer energía en forma de calor de los alimentos (mediante un mecanismo "enfriador") y mantenerlos en un ambiente "controlado", porque esta es una forma de hacer que se conserven por más tiempo. Cuando un objeto se introduce en el gabinete de un equipo de conservación. El sistema absorbe calor del objeto y lo transportan fuera del dispositivo para liberarlo al ambiente.

Estrictamente existe un flujo de energía desde la toma de alimentación del sistema hacía el mismo; el flujo de energía que se sigue dentro del equipo para operar el mecanismo "enfriador" (no existe algo que enfrié o caliente. Al percibir que un objeto se enfría, lo que se sucede es que éste cedeío calor a otro cuerpo o fluido; en cambio cuando se calienta un objeto es porque éste está ganando o absorbiendo calor de alguna fuente). Los sistemas de conservación de alimentos absorben el calor de ellos, lo transporta y lo libera al ambiente en forma de energía térmica; y dado que no se puede tener un sistema completamente adiabático, existe un flujo de energía inevitable que es el flujo de calor del ambiente que entra en al sistema y que es contra el que trabajan los materiales aislantes.

Entradas:
- Energía eléctrica
- Calor de los alimentos
- Calor del medio ambiente

Salidas:
- Calor liberado de los alimentos
- Calor liberado por la operación del sistema

Funciones relacionadas:
- Energizar sistema
- Aislar frio
- Absorber calor
- Transportar calor
- Disipar calor

Flujo de información

Casi todos los sistemas de conservación de alimentos utilizan termostatos o sensores de temperatura y en ocasiones, sensores de humedad. Algunos equipos ofrecen la posibilidad de regular la temperatura, humedad, iluminación o algunas otras características específicas de cada equipo de acuerdo a las tareas requeridas o preferencias del usuario por lo que integran controles. Las condiciones de los productos almacenados y/o las condiciones de uso preferidas por el usuario son entradas de información para el sistema y las salidas de estas modifican el funcionamiento del sistema. Generalmente todas estas entradas se hacen mediante una interfaz humana o en el caso de algunos termostatos, mediante variaciones de los materiales de cada componente, lo que se considera como una entrada mecánica; varias de estas entradas se convierten en señales eléctricas y después en salidas también eléctricas, mecánicas o físicas.

Entradas:

- Características de alimentación
- Preferencias del usuario
- Temperatura interior del gabinete
- Condiciones de humedad

Salidas:

- Operación del sistema
- Operación del mecanismo enfriador
- Modificación de las condiciones de operación
- Información de las condiciones del sistema

Funciones relacionadas:

- Alimentar sistema
- Sensar temperatura
- Arrancar mecanismo enfriador
- Controlar operación

3. Desarrollo del diagrama funcional del sistema:

Con la información obtenida en el paso anterior, se continúa el proceso represando en un diagrama las subfunciones y su relación con otras de acuerdo a sus flujos operativos. En el diagrama de la figura 5.4 se muestran las 10 subfunciones identificadas en el paso anterior y se esquematizan las relaciones entre las mismas de acuerdo a los diferentes flujos de materia, energía e información; función principal se representa por medio del rectángulo mayor; las subfunciones con rectángulos pequeños y los flujos operativos mediante distintos tipos de línea. Es interesante notar que hay subfunciones que siguen más de un flujo relacionándose con otras subfunciones; la mayoría de las relaciones son unidireccionales, pero hay algunas bidireccionales, lo que significa que existe una retroalimentación según el flujo.

En seguida se mencionan y explican las diferentes entradas, salidas y funciones del sistema:

Función principal del sistema

1. *Conservar alimentos* – mantenerlos en un ambiente limpio y a bajas temperaturas.

Entradas del sistema

1. *Energía eléctrica* – energía necesaria para la operación del sistema.
2. *Alimentos* – productos o sustancias que necesitan conservarse para evitar su descomposición.
3. *Calor del ambiente* – energía térmica que inevitablemente entra en el sistema elevando su temperatura.

Salidas del sistema

1. *Alimentos conservados* – productos o sustancias a menor temperatura de la que entraron en el sistema retardando su periodo de descomposición.
2. *Calor liberado* – energía térmica sustraída de los alimentos y pérdidas energéticas debidas a la propia operación del sistema y que son liberadas al ambiente.

Subfunciones del sistema

1. *Energizar sistema* – suministrar la energía eléctrica necesaria para la operación del sistema.
2. *Alimentar sistema* – suministrar la energía eléctrica en las condiciones de operación que cada componente necesita (corriente, voltaje, etc.).
3. *Sensar temperatura* – detectar las condiciones de temperatura dentro del compartimiento de los alimentos.
4. *Controlar operación* – controlar y manejar las condiciones de temperatura y de operación del sistema de acuerdo a preferencias del usuario o ajustes de fábrica.
5. *Guardar alimentos* – almacenar alimentos guardándolos dentro de un compartimento especialmente dispuesto.
6. *Aislar frio* – evitar que el frio "generado" por el mecanismo enfriador se pierda por efecto del calor del ambiente que trata de entrar en el sistema.
7. *Arrancar mecanismo enfriador* – poner en operación o detener el mecanismo enfriador de acuerdo a la condiciones del compartimiento de alimentos.
8. *Absorber calor* – sustraer energía térmica en forma de calor de los alimentos entrantes en el sistema.
9. *Transportar calor* – permitir el flujo de calor proveniente de los alimentos dentro del compartimiento al exterior del sistema.
10. *Disipar calor* – expulsar el calor sustraído de los alimentos y el generado por la operación del sistema.

El diagrama de la figura 5.4 muestra el diagrama funcional de un sistema como el estudiado y es un diagrama generalizado ya que no se especifica ningún mecanismo de enfriamiento, el número de funciones o subfunciones puede variar dependiendo del tipo de mecanismo que se utilice. Lo que podría volver más complejo el sistema en cuanto a número de funciones y relaciones según los flujos operativos.

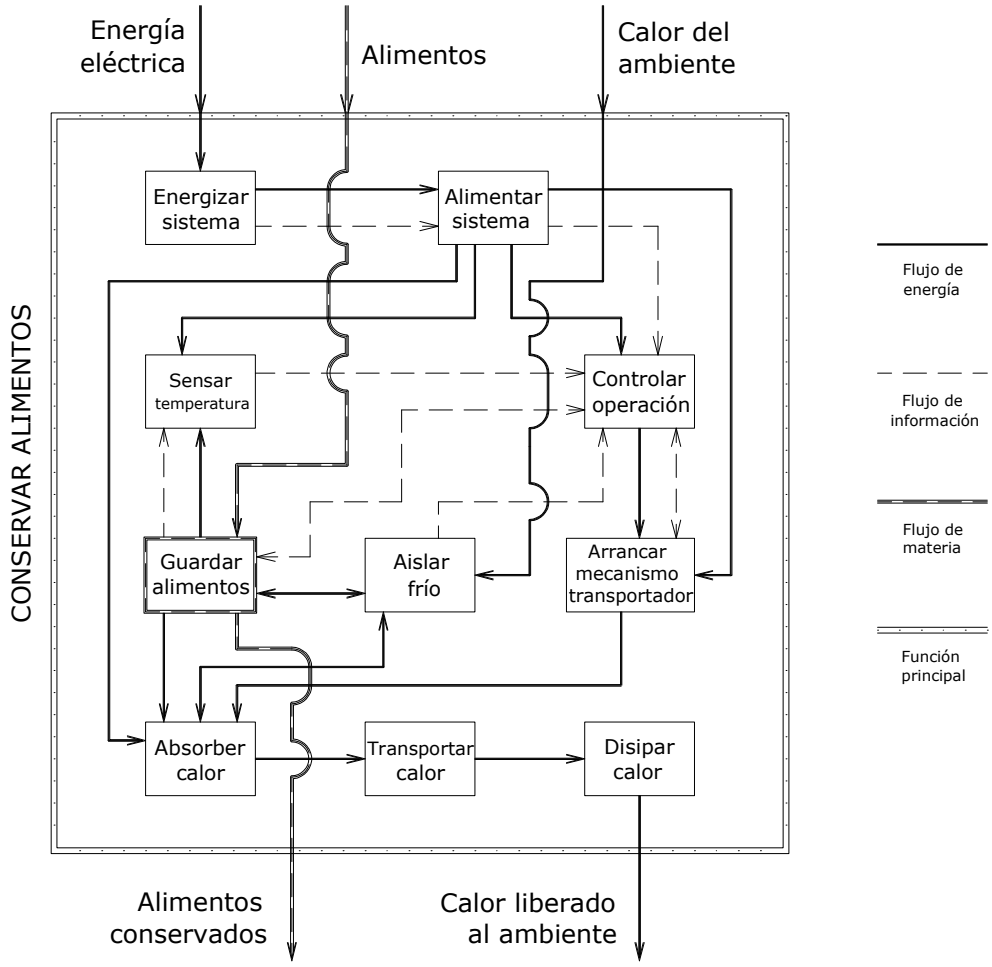

Figura 5.4. Diagrama funcional de un sistema de conservación de alimentos. Se muestran las diferentes subfunciones y sus relaciones de acuerdo a los flujos operacionales.

De acuerdo con el diagrama mostrado, las funciones que tienen mayor número de relaciones son:

- *Alimentar sistema*: 7 relaciones; 5 energéticas; 2 de información;
- *Guardar alimentos*: 7 relaciones; 2 de materia; 3 energéticas; 2 de información;
- *Controlar operación*: 7 relaciones; 2 energéticas; 5 de información;
- *Absorber calor*: 5 relaciones; 5 energéticas;
- *Aislar frio*: 4 relaciones; 3 energéticas; 1 de información;
- *Sensar temperatura*: 4 relaciones; 2 energéticas; 2 de información.

Ya que esas son las subfunciones con mayor número de relaciones se consideran como las mayor peso, no necesariamente fundamentales; el suministro de energía es

fundamental para la operación del sistema sin embargo, sólo presenta dos relaciones una de información y la otra de energía que es la principal.

Cabe señalar que la función *Absorber calor* se refiere a la primer etapa de lo que podría entenderse comúnmente como la "función enfriar". Al absorber calor de los alimentos, sucede una transferencia de energía térmica perceptible como una disminución en su temperatura, dicha subfunción junto con las de *Transportar calor* y *Liberar calor* son subfunciones del *Mecanismo transportador (figura 5.5)*. En el diagrama de la figura 5.4 se muestran las subfunciones por separado (Absorber, Transportar, Disipar) porque sirven también para transportar y liberar el calor generado por todo el sistema durante su operación.

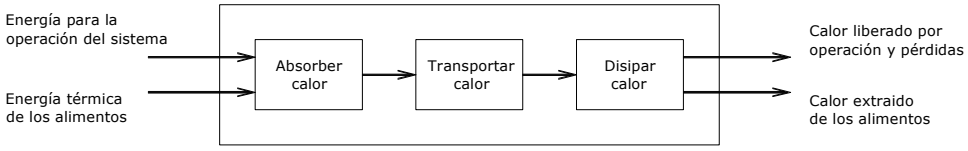

Figura 5.5. Diagrama general del mecanismo transportador de calor.

Este paso se desarrolla para conocer cuáles son las funciones o subfunciones importantes, las que tienen mayor relación con otras y por ello las de mayor consideración dentro del proceso de diseño del nuevo producto. Al definir las funciones sólo como un verbo y sustantivo es fácil identificar qué es lo que se requiere y en procesos posteriores o análisis más específicos se pueden detallar componentes que desempeñan dichas funciones o conjunto de funciones. Por esto es que no se especifica más a detalle si se trata de uno u otro sistema transportador de calor, llámese ciclo de compresión de vapor o efecto termoeléctrico, por ejemplo.

4. Análisis de soluciones empleadas:

Una vez identificadas las subfunciones que deben desempeñar los sistemas de conservación de alimentos, cuáles son sus entradas y cuáles sus salidas; se desarrolló el diagrama funcional.

En esta etapa se muestran y especifican las soluciones de sistemas de conservación de alimentos que se han empleado para satisfacer esta necesidad hasta la fecha. La función principal se puede satisfacer por distintos medios y obviamente también las subfunciones pueden variar por lo que se investiga sobre las tecnologías y arquitecturas utilizadas; entendiéndose por arquitectura, la disposición del equipo y sus características (posición de puertas, anaqueles, componentes, controles, forma, tamaño, etc.).

Generalmente la solución para conservar alimentos es el uso de un "refrigerador" o "frigorífico". Pero al paso del tiempo se han empleado distintas soluciones para esto y no fue sino hasta el siglo pasado cuando se desarrolló e implemento con gran éxito el ciclo de compresión de vapor en conservadores domésticos y desde entonces han surgido nuevas tecnologías pero ninguna ha logrado reemplazar este sistema.

- **Refrigeradores operados por ciclo de compresión de vapor**

Estos equipos son los más ampliamente usados por ser económicos y porque su mecanismo enfriador tiene la capacidad necesaria para enfriar equipos con gabinetes pequeños (3 – 4 ft^3) hasta equipos de gran volumen (> 20 ft^3).

Estos sistemas desplazan la energía térmica entre dos focos; creando zonas de alta y baja presión confinadas en intercambiadores de calor, lo que se logra al tener un fluido refrigerante que se encuentra en procesos de cambio de fase; de líquido a vapor, y viceversa. Dichos sistemas emplean un compresor, elemento que hace circular al gas refrigerante proveniente del evaporador (foco frío), donde ganó calor de los alimentos almacenados; después de pasar por el compresor, el refrigerante va al condensador (foco caliente), aquí se libera al ambiente el calor ganado en el foco frio, finalmente el gas pasa por el dispositivo de expansión y se cierra el circuito repitiéndose este proceso de manera cíclica.

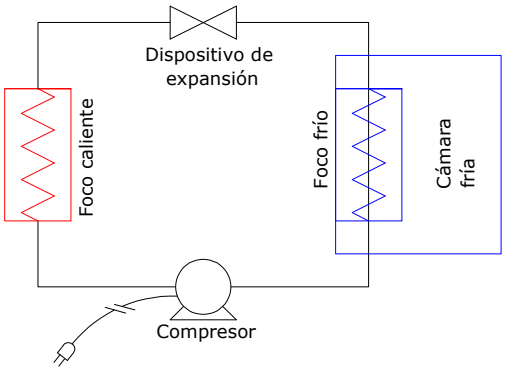

Figura 5.6. Diagrama de un equipo operado por el ciclo de compresión de vapor.

Aunque existe una infinidad de gases refrigerantes eso no diferencia de manera importante a los equipos, no así el uso de los compresores, por lo que hay:

a) Equipos con compresor de corriente alterna y;
b) Equipos con compresor de corriente directa

- **Refrigeradores operados por celdas termoeléctricas mediante efecto peltier**

Los dispositivos peltier, también conocidos como celdas termoeléctricas, son pequeños dispositivos de estado sólido que funcionan como bombas de calor. Una celda común tiene apenas unos milímetros de espesor y algunos centímetros de área. Es un "sándwich" formado por dos placas cerámicas con un arreglo de pequeños cubos de teluro de bismuto en el medio. Cuando se le aplica energía en corriente directa (DC), el calor es transportado de un lado al otro de la placa [3].

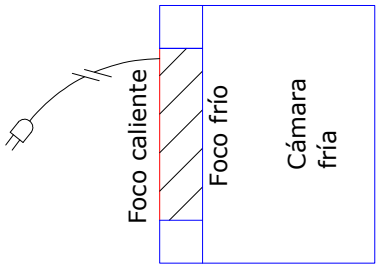

Figura 5.7. Diagrama de un equipo operado por dispositivos termoeléctricos.

Estas celdas se usan para enfriar elementos electrónicos pero también se han aplicado a pequeños y medianos enfriadores y tratándose de equipos grades, se han empleado exitosamente en conservadores para bebidas, principalmente para vino.

- **Arquitectura de los equipos**

Un producto se puede pensar en términos tanto funcionales como físicos. Los *elementos funcionales* de un producto son las operaciones y las transformaciones individuales que contribuyen al funcionamiento total del producto; por lo general se describen en forma esquemática antes de que sean reducidos a las tecnologías específicas, los componentes, o los principios de trabajo físico.

Los *elementos físicos* de un producto son las piezas, los componentes y subensambles parciales que en última instancia activan las funciones de los productos para su ejecución. Regularmente se organizan en varios *bloques constructivos* llamados *componentes*, cada componente está construido por un conjunto de elementos que accionan las funciones del producto. La arquitectura del producto es el esquema por el cual los elementos funcionales del producto se disponen en componentes físicos, y por medio de los cuales interactúan dichos componentes. El propósito de la arquitectura es definir los bloques constructivos físicos del producto en términos de lo que hacen, y de cuáles son sus interfaces para el resto del dispositivo. [26].

Desde los primeros equipos fabricados en escala masiva, se ha utilizado generalmente una arquitectura de configuración vertical en la que el gabinete principal está dispuesto verticalmente con puertas verticales, ver por ejemplo las figuras 5.8 (a, b, d, g) y el diagrama de la figura 5.9. Sin embargo también se ha empleado una configuración horizontal aunque no ha sido popular y generalmente se mantiene esta configuración para congeladores o equipos de conservación comerciales en los que no se almacena gran variedad de productos debido a que los productos se almacenan apilados unos sobre otros.

Figura 5.8. Diferentes equipos de conservación de alimentos. Desde la caja de hielo (a); los primeros equipos de compresión de vapor (b, c); los primeros equipos horizontales (e) y la evolución de estos equipos hasta tener más de una puerta (f, g), [28, 29, 30, 31, 32, 33, 34].

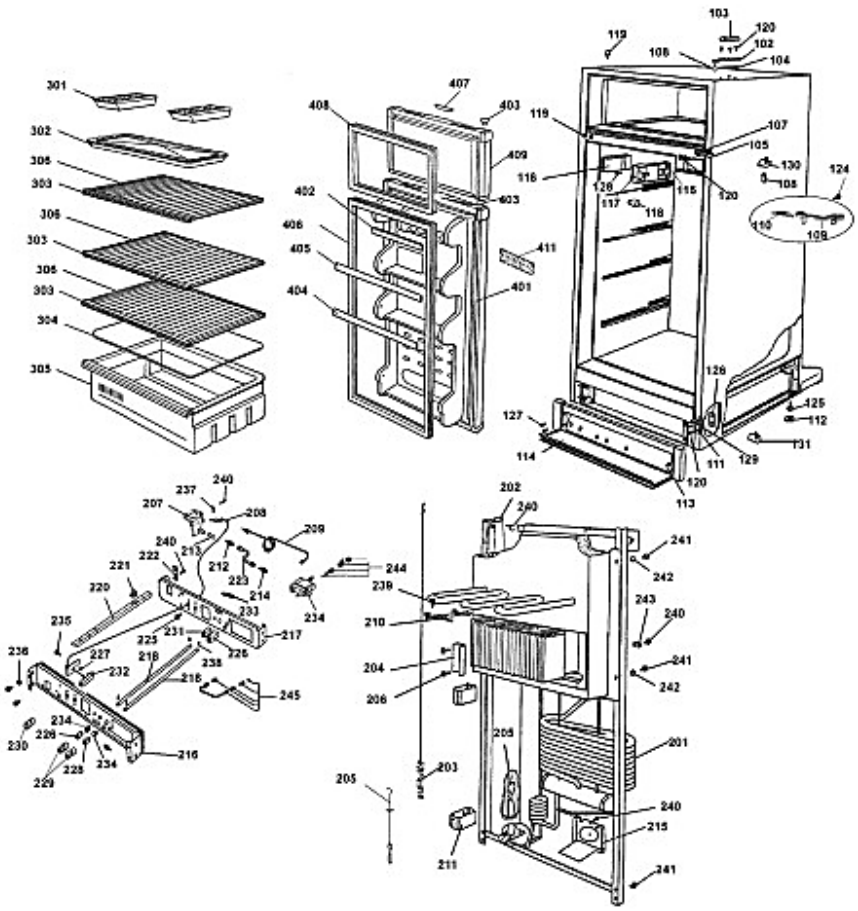

Figura 5.9 Diagrama explosivo de un equipo de conservación de alimentos de configuración vertical [35].

Los dos principios de funcionamiento o tecnologías empleadas actualmente son la del ciclo de compresión de vapor y la de las celdas termoeléctricas. Y las dos configuraciones más usadas respecto a la disposición del gabinete y puerta son la vertical y la horizontal sin importar que tecnología empleen. A continuación se mencionan las principales configuraciones empleadas actualmente referentes a la disposición del gabinete y a las funciones que utilicen.

a) *Equipos verticales con enfriador y congelador*: estos son los más usados, de una o más puertas. Este tipo de configuración es muy cómoda para el ordenamiento y manejo de los productos a almacenar; la mayoría de estos equipos tienen anaqueles dentro del gabinete y en las puertas. Además de que son los más populares lo que ha hecho que los fabricantes integren en ellos múltiples funciones adicionales a la conservación de alimentos, últimamente funciones relacionadas con el campo de las telecomunicaciones.

b) *Equipos verticales enfriadores*: de arquitectura similar a la de los equipos enfriadores/congeladores convencionales, pero sólo desempeñan una de estas funciones. Esta configuración es muy utilizada para enfriadores de bebidas. Generalmente sólo tienen anaqueles dentro de gabinete pero no siempre en las

puertas. Al no ser tan populares estos equipos, los fabricantes no añaden funciones adicionales.

c) *Equipos horizontales enfriadores*: esta configuración menos usada que la vertical por la disposición del gabinete y la aparente dificultad para disponer de los productos conservados. Es poco usada ya que carecen de anaqueles lo que hace que los productos queden apilados, haciendo incómodo el acceso a los mismos. A pesar de esto, nuevos sistemas que operan mediante *energías limpias* han utilizado esta configuración. Otro uso común para esta clase de equipos es la de conservación de vacunas y medicamentos, no necesariamente de uso residencial.

d) *Equipos horizontales congeladores*: esta configuración es, al igual que los enfriadores verticales, una de las menos utilizadas residencialmente, aunque sí empleada de manera comercial. Cada vez menos usados en hogares debido a la tendencia de utilizar equipos con múltiples funciones que principalmente enfrían y congelas tal que estos equipos son más usados por quienes acostumbran guardar provisiones congeladas. La mayoría de los equipos emplean puertas de acción vertical (figura 5.10 c), pero los equipos para uso comercial emplean puertas corredizas también (figura 5.10 d).

a. b. c. d.

Figura 5.10. Arquitectura de equipos de conservación de alimentos: a. Configuración vertical de enfriador y congelador; b. Enfriador vertical; c. Enfriador horizontal; d. Congelador comercial horizontal. [26, 36]

5. Selección de muestra a analizar:

Para este ejercicio se analizó una muestra de 101 equipos de conservación de alimentos entre sistemas de compresión de vapor y sistemas termoeléctricos. No hubo restricciones para la búsqueda en cuanto a la procedencia de la información de los equipos, mientras esta tuviera una fuente real. Los equipos que se analizaron fueron seleccionados por ser los que ofrecían más información; cabe aclarar que el tamaño de la muestra se había fijado para tener datos de 50 equipos de compresión de vapor y 50 termoeléctricos. Aun cuando fácilmente se ubicaron tal cantidad de equipos, no había la información suficiente de todos ellos, por lo que finalmente la muestra resultante fue de 101 equipos analizados y sólo16 fueron termoeléctricos. La ubicación de equipos fue fácil en comparación con la adquisición de datos y valores técnicos que se volvió complicada ya que no todos los fabricantes ofrecen suficiente información. La información provino de diferentes fuentes como: catálogos de productos, sitios de internet, visitas a tiendas,

entrevistas con vendedores y técnicos especializados; en otros casos, algunos equipos fueron facilitados para su análisis por parte de particulares y en el mejor de los casos, se tuvo contacto con un fabricante de electrodomésticos, que facilitó ciertos equipos para un análisis profundo además de proveer suficiente información que facilitaron este estudio. Queda claro también que sí existe presencia de equipos termoeléctricos disponibles en el mercado pero no ofrecen suficiente información a los consumidores y por ello no se consideran más equipos en el estudio; los equipos termoeléctricos son relativamente nuevos, no así los de compresión de vapor, y tal vez por ellos, estos últimos ofrecen más información los usuarios.

Dentro de la muestra se identificaron algunas características importantes de mencionar como la posibilidad de ciertos equipos para ser alimentados directamente por medio del uso de instalaciones fotovoltaicas lo que indirectamente implica que son equipos alimentados por corriente directa y que soportan variaciones en las condiciones de alimentación, en cuanto a voltaje y/o corriente, también podría aplicarse el denominativo de "equipos solares". Sin embargo lo que comúnmente se encuentra son los equipos que desempeñan varias funciones adicionales a las de conservar alimentos, funciones de alarma, aseguramiento de puertas, despachadores de agua y/o hielo, calentamiento de alimentos, etc.

Tabla 5.1. Muestra de equipos.

Equipos totales	**101**
Fabricantes de equipos analizados	14 (13.9%)
Equipos de compresión de vapor	85 (86.1%)
Equipos termoeléctricos	16
Equipos operados por corriente alterna (AC)	84
Equipos operados por corriente continua (DC)	17
Equipos solares	17
Volumen mínimo de los equipos [cu.ft.]	0.15
Volumen máximo de los equipos [cu.ft.]	28.5
Precio mínimo de los equipos [USD]	$ 31.00
Precio máximo de los equipos [USD]	$ 8149.00
Funciones mínimas del equipo (funciones principales)	1
Funciones máximas del equipo (funciones principales + adicionales)	14

De acuerdo con la tabla 5.1, a partir de una muestra de 101 equipos, aproximadamente el 86% utilizan el ciclo de compresión de vapor y el otro14% restante utilizan el efecto termoeléctrico.

Ya que algunos equipos desempeñan más de una función, se consideran tres ramas características para la conservación de alimentos y los equipos específicos:

- Equipos para conservar alimentos o sustancias varias refrigeradas
  - Equipos con compartimiento solamente refrigerado
  - Equipos con compartimientos refrigerado y congelado
- Equipos para conservar alimentos o sustancias varias congeladas
- Equipos para conservar bebidas a temperaturas bajas (no congelados)

De acuerdo a la NORMA Oficial Mexicana NOM-015-ENER-2002 [51], referente a la Eficiencia energética de los equipos de conservación de alimentos: refrigeradores y congeladores electrodomésticos "Límites, métodos de prueba y etiquetado", emitida por la Secretaria de Energía, los equipos que comúnmente se conocen como "*refrigeradores*" y que tienen dos compartimientos, uno enfriador y otro congelador tienen intervalos de temperaturas de operación dentro de los cuales se puede hablar de un equipo enfriador o congelador. Los equipos termoeléctricos operan dentro del intervalo de temperaturas de los enfriadores, o sobre este y los equipos con mayor desarrollo han sido los conservadores de bebidas, por ello es que se consideran dentro de la muestra. Estos equipos generalmente son los de menor capacidad volumétrica y/o de menor capacidad enfriadora, pero tienen la característica de mantener una temperatura estable, característica que los diferencia marcadamente de los equipos que utilizan el ciclo de compresión de vapor.

Tabla 5.2. Principales funciones de los equipos analizados.

Funciones principales
1. Enfriar (conservar alimentos periodos cortos de tiempo)
2. Congelar (conservar alimentos periodos largos de tiempo)
3. Despachar agua
4. Despachar hielo
5. Alarma
6. Mostrar información en pantalla digital
7. Iluminar interior
8. Seguro para niños
9. Reducción de consumo
10. Fabricar hielo
11. Filtrar agua
12. Filtrar aire
13. Despachador de hielo triturado
14. Control de humedad
15. Calentar (Microondas o celda termoeléctrica)

Los datos a considerar de cada equipo se clasifican de acuerdo a siete apartados distintos en donde se enumeran características medibles de tal forma que después de procesar dichos datos, se pueda obtener un valor numérico para los fines de este método. Los apartados son los siguientes:

- *Diseño:* datos relacionados a los atributos del equipo, componentes, principales y sus características.
- *Funciones:* las funciones que desempeña el equipo, relacionadas a la conservación de alimentos y adicionales.
- *Temperaturas:* intervalos de temperatura en los que opera el equipo.
- *Volúmenes:* volúmenes interiores y exteriores del equipo
- *Consumos energéticos:* los consumos promedios diarios, anuales y durante el periodo de vida útil del equipo.
- Complejidad de manufactura: estimación de la complejidad de manufacturar el equipo de acuerdo con [1].
- Materiales: aproximación de los materiales empleados en la manufactura del equipo y sus componentes

A continuación se ejemplifican las tablas respectivas a cada apartado con los datos de cinco equipos diferentes; ya que se analizaron 101 equipos, resulta casi imposible mostrar todos los datos aunque todos ellos se ordenaron de la misma forma que los mostrados en seguida.

Tabla 5.3. Datos generales de los equipos.

Marca	Avanti	Summit	Sundanzer	UNAM	Avanti
Características	Refrigerador compacto 2 puertas 3.2ft	Refrigerador Convencional 2 puertas 15.9 ft	Enfriador solar 225lts.	Refrigerador Hibrido AC/DC/FV 8 ft	Enfriador termoeléctrico 1.7 ft
Componentes principales	1. Gabinete exterior 2. Base del gabinete 3. Gabinete enfriador 4. Aislante gabinete 5. Parrilla enfriador 6. Puerta enfriador 7. Tapa de puerta enf. 8. Aislante puerta 9. Bisagra de puerta enf. 10.Termostato 11.Sistema de control 12.Compresor AC 13.Tubo capilar 14.Evaporador 15.Condensador 16.Cajón legumbrero 17.Gabinete congelador 18.Puerta congelador 19.Tapa puerta cong. 20.Aislante puerta cong. 21.Refrigerante	1. Gabinete exterior 2. Base del gabinete 3. Gabinete enfriador 4. Aislante gabinete 5. Parrillas enfriador 6. Puerta enfriador 7. Tapa de puerta enf. 8. Aislante puerta 9. Bisagra de puerta enf. 10.Termostato 11.Sistema de control 12.Compresor AC 13.Tubo capilar 14.Evaporador 15.Condensador 16.Cajón legumbrero 17.Tapas anaqueles 18.Gabinete congelador 19.Puerta congelador 20.Tapa puerta cong. 21.Aislante puerta cong. 22.Parrillas congelador 23.Anaqueles cong. 24.Refrigerante	1. Gabinete exterior 2. Base del gabinete 3. Gabinete enfriador 4. Aislante gabinete 5. Parrillas enfriador 6. Puerta enfriador 7. Tapa de puerta enf. 8. Aislante puerta 9. Bisagra de puerta enf. 10.Termostato 11.Sistema de control 12.Compresor AC 13.Tubo capilar 14.Evaporador 15.Condensador 16.Refrigerante	1. Gabinete exterior 2. Base del gabinete 3. Gabinete enfriador 4. Aislante gabinete 5. Parrillas enfriador 6. Puerta enfriador 7. Tapa de puerta enf. 8. Aislante puerta 9. Bisagra de puerta enf. 10.Termostato 11.Sistema de control 12.Compresor AC 13.Tubo capilar 14.Evaporador 15.Condensador 16.Cajón legumbrero 17.Tapas anaqueles 18.Gabinete congelador 19.Puerta congelador 20.Bandeja deshielo 21.Refrigerante	1. Gabinete exterior 2. Base del gabinete 3. Gabinete enfriador 4. Aislante gabinete 5. Parrillas enfriador 6. Puerta enfriador 7. Tapa de puerta enf. 8. Aislante puerta 9. Bisagra de puerta enf. 10.Termostato 11.Sistema de control 12.Celda termoeléctrica
Número de puertas	2	2	1	1	2
Garantía [años]	1	1			1

La tabla 5.3 se enfoca al número y tipo de componentes empleados en el diseño del equipo, además del número de puertas. Aunque las dimensiones de cada equipo están relacionadas con su diseño, estas se indican en la tabla 5.4 en la que también se muestran los volúmenes interiores y exteriores, lo que particularmente es útil para estimar el volumen del sistema conservador, la relación de volumen útil, etc.

Tabla 5.4. Volúmenes de los equipos.

Marca	**Avanti** Refrigerador compacto 2 puertas 3.2ft	**Summit** Refrigerador Convencional 2 puertas 15.9 ft	**Sundanzer** Enfriador solar 225lts.	**UNAM** Refrigerador Hibrido AC/DC/FV	**Avanti** Enfriador termoeléctrico 1.7 ft
Volumen comercial [ft³]	3.2	15.9	8	7.7	4.5
Volumen interior [m³]	0.091	0.450	0.227	0.218	0.127
Volumen interior [l]	91	450	227	218	127
Alto [m]	0.8509	1.77165	0.876	1.33	0.8255
Ancho [m]	0.4826	0.74295	1.19	0.59	0.524933
Fondo [m]	0.50165	0.682752	0.665	0.68	0.51435
Volumen exterior [m³]	0.206	0.899	0.693	0.534	0.223
Volumen exterior [l]	206	899	693	534	223
Espesor aislante [m}	0.03	0.03	0.10	0.03	0.03
Vol. aislante [m³]	0.006	0.025	0.056	0.015	0.006
Vol. aislante [l]	**5.591**	**25.43**	**56.25**	**14.85**	**6.08**

Otro apartado importante es el de las funciones adicionales que desempeña cada equipo ya que esto se puede observar como una ventaja dentro del mercado.

Tabla 5.5. Funciones adicionales de los equipos.

Marca	**Avanti** Refrigerador compacto 2 puertas 3.2ft	**Summit** Refrigerador Convencional 2 puertas 15.9 ft	**Sundanzer** Enfriador solar 225lts.	**UNAM** Refrigerador Hibrido AC/DC/FV	**Avanti** Enfriador termoeléctrico 1.7 ft
Enfriar	1	1	1	1	1
Congelar	1	1		1	
Despachar agua					
Despachar hielo					
Alarma					
Pantalla digital					
Iluminar interior	1	1		1	
Seguro para niños					
Reducción de consumo					
Fabricar hielo					
Filtrar agua					
Filtrar aire					
Despachador de frapé					
Control de humedad					
Calentar (Microondas)					
Número de funciones	**3**	**3**	**1**	**3**	**1**

Tabla 5.6. Temperaturas de los equipos.

Marca	**Avanti** Refrigerador compacto 2 puertas 3.2ft	**Summit** Refrigerador Convencional 2 puertas 15.9 ft	**Sundanzer** Enfriador solar 225lts.	**UNAM** Refrigerador Hibrido AC/DC/FV	**Avanti** Enfriador termoeléctrico 1.7 ft
Temp. mín enfriador [°C]	0	2	-1	2	7
Temp. máx enfriador [°C]	10	5	9	5	19
Temp. mín congelador [°C]	-17	-9.4		-9.4	
Temp. máx congelador [°C]	0	0		0	

Tabla 5.7. Consumo energético de los equipos.

Marca	**Avanti** Refrigerador compacto 2 puertas 3.2ft	**Summit** Refrigerador Convencional 2 puertas 15.9 ft	**Sundanzer** Enfriador solar 225lts.	**UNAM** Refrigerador Hibrido AC/DC/FV	**Avanti** Enfriador termoeléctrico 1.7 ft
Límite de consumo energético anual [kW/año]	438	457	73	260	548
Consumo energético promedio anual [kW]	438	457	73	260	547.5
Consumo energético diario [kW]	1.200	1.252	0.200	0.712	1.500
Consumo promedio anual de la red comercial [kW]	438.0	457.0	0.0	85.0	547.5
Consumo energético FV [kW]	0.0	0.0	73.0	165.0	0.0
Costo operación anual [usd] (0.20usd/kWh RED)	87.6	91.4	0	17	109.5
Costo instalación FV [usd]	0	0	510	608	0
Vida útil [años]	8	8	8	8	8
Costo mantenimiento anual [usd]	10	10	20	20	10
Costo operación y mantenimiento anual [usd]	95.6	99.4	8	25	117.5
Potencia requerida FV	0	0	80	50	
Consumo energético a 25 años [kW]	10950	11425	1825	6500	13687.5
Consumo eléctrico a 25 años [kW]	10950	11425	1825	2125	13687.5
Costo electricidad 25 años [kW]	2190	2285	0	425	2737.5
Costo electricidad vida útil años [kW]	700.8	731.2	0	136	876

Tabla 5.8. Complejidad de manufactura de los equipos. (De acuerdo con los criterios de George Dieter [1])

Marca	Avanti Refrigerador compacto 2 puertas 3.2ft	Summit Refrigerador Convencional 2 puertas 15.9 ft	Sundanzer Enfriador solar 225lts.	UNAM Refrigerador Hibrido AC/DC/FV	Avanti Enfriador termoeléctrico 1.7 ft
Compresor hermético					
Pistón	2	2	2	2	
Cilindro	0	0	0	0	
Depósito de aceite	5	5	5	5	
Depósito hermético	5	5	5	5	
Celdas termoeléctricas					
Placa fría					0
Placa caliente					0
Disipadores de calor					7
Ventilador					7
Almacenamiento térmico					
Depósito de gel					0
Gel refrigerante					0
Evaporador					
Serpentín	3	3	3	3	
Soporte del serpentín	2	2	2	2	
Aletas	1	1	1	1	
Condensador					
Serpentín	3	3	3	3	
Soporte del serpentín	1	1	1	6	
Aletas	3	3	3	0	
Dispositivo de expansión					
Tubo capilar	0	0	0	0	
Gabinete					
Gabinete exterior	1	1	1	1	1
Base	6	7	7	7	7
Gabinete enfriador	4	4	4	4	4
Anaqueles enfriador	6	0	6	6	6
Gabinete congelador	0	4		0	0
Anaqueles congelador	0	2		0	0
Aislante	0	0	0	0	0
Tapa trasera	0	0	0	0	0
Congelador	0			4	0
Puerta enfriador					
Puerta	4	4	4	4	4
Bisagras	2	2	2	2	2
Tapa	4	4	1	4	0
Aislante	0	0	0	0	0
Anaqueles	3	4		3	0
Puerta enfriador 2					
Puerta					
Bisagras					
Tapa					
Aislante					
Anaqueles					
Puerta congelador					
Puerta	1	1		2	4
Bisagras	2	2		0	2
Tapa	0	4		0	
Aislante	0	0		0	
Anaqueles	0	4		3	
Complejidad de manufactura	58	68	50	67	44

Tabla 5.9. Materiales empleados en la manufactura de los equipos. (Estimación sobre los materiales empleados en manufactura)

Marca	**Avanti** Refrigerador compacto 2 puertas 3.2ft	**Summit** Refrigerador Convencional 2 puertas 15.9 ft	**Sundanzer** Enfriador solar 225lts.	**UNAM** Refrigerador Hibrido AC/DC/FV	**Avanti** Enfriador termoeléctrico 1.7 ft
Compresor hermético					
Pistón	Aluminio	Aluminio	Aluminio	Aluminio	
Cilindro	Aluminio	Aluminio	Aluminio	Aluminio	
Depósito de aceite	Acero	Acero	Acero	Acero	
Depósito hermético	Acero	Acero	Acero	Acero	
Soldadura	Bronce	Bronce	Bronce	Bronce	
Lubricante	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	
Celdas termoeléctricas					
Placa fria					Acero
Placa caliente					Aluminio
Disipadores de calor					Aluminio
Ventilador					Nylon
Soldadura					Bronce
Tarjetas de circuitos					Resina fenolica
Semiconductor					Teluro de bismuto
Placa enfriadora					
Depósito de gel					Aluminio
Gel refrigerante					PCM
Evaporador					
Serpentín	Cobre	Aluminio	Aluminio	Cobre	
Soporte del serpentín	Cobre	Aluminio	Aluminio	Cobre	
Aletas	Aluminio	Aluminio	Aluminio	Aluminio	
Soldadura	Bronce	Bronce	Bronce	Bronce	
Condensador					
Serpentín	Acero	Aluminio	Aluminio	Acero	
Soporte del serpentín	Acero	Aluminio	Aluminio	Acero	
Aletas		Aluminio	Aluminio		
Soldadura	Bronce	Bronce	Bronce	Bronce	
Dispositivo de expansión					
Tubo capilar	Cobre	Cobre	Cobre	Cobre	
Soldadura	Bronce	Bronce	Bronce	Bronce	
Gabinete					
Gabinete de lámina	Acero	Acero	Acero	Acero	Acero
Base	Acero	Acero	Acero	Acero	Acero
Gabinete enfriador	HIPS	HIPS	HIPS	HIPS	HIPS
Anaqueles enfriador	Vidrio	Vidrio	Acero	Vidrio	Acero
Gabinete congelador	HIPS	ABS	HIPS	HIPS	
Anaqueles congelador		PS			
Aislante	Poliuretano espumado	Poliuretano espumado	Poliuretano espumado	Poliuretano espumado	Poliuretano espumado
Tapa trasera	Polipropileno	Polipropileno	Polipropileno	Polipropileno	Polipropileno
Congelador	Aluminio	Aluminio	Aluminio	Aluminio	Aluminio
Jaladeras	Polipropileno	Polipropileno	Polipropileno	Polipropileno	Polipropileno
Puerta enfriador					
Puerta enfriador	Acero	Acero	Vidrio	Acero	Acero
Bisagras	Acero	Acero	Acero	Acero	Acero
Tapa	HIPS	HIPS	Vidrio	HIPS	Vidrio
Aislante	Aislante espumado	Aislante espumado	Compuesto aislante	Aislante espumado	Aislante espumado
Anaqueles	Acero	PS		Acero	0

Puerta congelador					
Puerta congelador		Acero			
Bisagras		Acero			
Tapa		ABS			
Aislante		Aislante espumado			
Anaqueles		PS			
Sistema de control					
Tarjetas de circuitos	Resina fenolica	Resina fenolica	Resina fenolica	Resina fenolica	Resina fenolica
Perillas	ABS	ABS	ABS	ABS	ABS
Botones	ABS	ABS	ABS	ABS	ABS
Pantallas		Vidrio			
Soldadura	Estaño	Estaño	Estaño	Estaño	Estaño
Conductor de calor					
Refrigerante	R134a	R134a	R134a	R134a	
Materiales diferentes	**11**	**13**	**12**	**11**	**9**

6. Definición de parámetros y desarrollo de la tabla comparativa

Cada una de las tablas de la etapa 5 comparte datos que representan un mismo concepto, de esta forma es posible obtener un valor que represente el desempeño de cada concepto a partir de los datos de cada uno. Para este fin se proponen parámetros que relacionan los datos de cada concepto analizado, estos parámetros sirven para comparar a los equipos de acuerdo a sólo ciertos criterios e indirectamente compararlos de acuerdo a los datos adquiridos.

Los conceptos y sub-conceptos identificados para definir los parámetros a comparar entre los equipos que se consideraron son los siguientes:

- Diseño / geometría
  - Volumen interior
  - Volumen exterior
- Manufactura
  - Número de componentes
  - Complejidad de manufactura [1]
  - Número de materiales empleados
- Desempeño
  - Número de funciones diferentes
  - Consumo energético diario
  - Consumo energético anual
  - Costo de operación anual
  - Costo de operación vida útil
- Precio
  - Precio de venta

El concepto de diseño trata de medir la arquitectura del producto, la disposición de los componentes y el aprovechamiento del espacio principalmente; ya que el concepto de "Arquitectura del producto" resulta complejo de medir, se decidió incluir dentro de los parámetros a los volúmenes interiores y exteriores de cada equipo que indirectamente representan el aprovechamiento del espacio, que puede depender de las tecnologías, funciones, materiales, etc. implementados en el mismo.

El concepto de manufactura es importante en el análisis de un producto; la estética de un producto es importante en la decisión de compra sin embargo la manufactura de un producto puede complicarse tanto como caprichosas sean sus formas o el número de procesos necesarios lo que repercute directamente en los costos y el precio final del producto y que obviamente puede representar un éxito o fracaso en el mercado. En lo referente a este apartado, se midieron; el número de componentes, el número estimado de materiales diferentes empleados y la complejidad de manufactura. Ciertamente el hablar de que un equipo o sistema tiene más componentes que otro, lo vuelve más complejo porque ha de requerir mayor número de operaciones para manufacturarse y/o ensamblarse; algo similar sucede cuando se utiliza un mayor número de materiales porque cada uno se debe de obtener por distintos medios, costos y procesos productivos; se especifica además, la complejidad de manufactura de acuerdo al método propuesto por George Dieter [1] es donde se valoriza a cada componente de acuerdo a su geometría final.

En cuanto al desempeño de los equipos, todos ellos cumplen con la tarea de conservar alimentos; una forma de medir este aspecto es mediante el número de funciones totales que realiza cada uno; los consumos energéticos promedios diarios y anuales, así como el costo de operación del equipo.

El último concepto y a la vez parámetro indicador, es el precio del equipo que se considera como independiente; obviamente no es así ya que depende de muchos factores, pero en la mayoría de los casos, ha sido previamente establecido por el fabricante.
Para cada uno de los conceptos restantes se propuso un parámetro que se analizó para todos los equipos de la muestra, esto simplificó la comparación puesto que los conceptos ya engloban a más datos de los adquiridos en el estudio anterior. Los parámetros restantes que se plantearon son los siguientes:

Eficiencia energética (desempeño)

"PC" muestra la relación existe entre el precio de venta y el consumo energético; un valor alto de PC indica una mayor conveniencia económica. Si un equipo es relativamente costoso, pero su consumo energético es bajo, probablemente a largo plazo sea un equipo que convenga comprar. En cambio si su precio es económico, pero su consumo energético es alto, el valor de PC será alto e indicará que probablemente sea un equipo que a largo plazo sea costoso mantener.

$$PC = \frac{Precio\ de\ venta}{Consumo\ promedio\ anual}\left[\frac{usd}{kW}\right] \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Eficiencia volumétrica (desempeño)

"VC" relaciona el volumen comercial del equipo y el costo promedio de su consumo energético anual. Una suposición podría ser que mientras más grande sea un equipo, éste consumirá más energía para su operación, pero esto no necesariamente debe ser así. Un mayor valor de VC indica una mayor eficiencia energética al tener un volumen alto respecto a su consumo energético.

$$VC = \left(\frac{Volumen\ comercial}{Consumo\ promedio\ anual}\right)\left[\frac{cu.ft.}{usd}\right] \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Relación de volúmenes (diseño)

"RV" es la relación en porcentaje de los volúmenes; indica el aprovechamiento del espacio en todo el equipo; qué porcentaje del volumen total del equipo es útil. Un valor mayor representa un mejor aprovechamiento del espacio.

$$RV = \left(\frac{Volumen\ interior\ útil}{Volumen\ exterior}\right) \times 100\% \left[\frac{cu.ft.}{cu.ft.}\right] \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Complejidad del diseño (y de manufactura)

"MC" es un parámetro que relaciona las variables, "Número de componentes" y "complejidad de manufactura", obteniendo su producto y dividiéndolo entre 100. Cada uno de ellos por separado representan la complejidad del equipo, al multiplicarse se obtiene un valor mayor lo que se compensa al dividirlo de tal forma que se tenga un valor menor y manejable. Un valor mayor de MC representa mayor complejidad del equipo (desde el punto de vista en el que un equipo con menos componentes es más simple y más aún, si sus componentes son fáciles de manufacturar).

$$MC = \left[\frac{(Número\ de\ componentes) \times (Complejidad\ de\ manufactura)}{100}\right] [1] \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Una vez definidos los parámetros a analizar y a comparar para los 101 equipos, se genera la tabla comparativa que sirve para depurar los datos generales de tal forma que se observan solamente los valores de los parámetros de interés para el análisis en proceso.

En el apartado de Anexos se presentan las tablas comparativas A5 a A12 fragmentada en distintos rubros, generada a partir de los datos anteriores.

Tabla 5.10 Valores promedios, máximos y mínimos de las variables analizados.

	Compresión de vapor AC			**Compresión de vapor DC**			**Termoeléctrico AC**			**Termoeléctrico DC**		
	Mín	**Prom**	Máx	Mín	**Prom**	Máx	Mín	**Prom**	Máx	Mín	**Prom**	Máx
Precio [usd]	$134.00	**$1,537.71**	$4,149.00	$43.30	**$1,039.33**	$1,799.00	$70.00	**$428.67**	$1,699.00	$31.00	**$50.75**	$74.00
Volumen interior [L]	28	**447**	807	12	**88**	227	14	**73**	180	4	**10**	18
Volumen exterior [L]	82	**876**	1911	15	**241**	693	41	**153**	446	44	**82**	111
Número de Componentes [1]	15	**29**	39	10	**18**	21	9	**12**	18	9	**10**	10
Número de Materiales [1]	8	**13**	15	7	**9**	12	7	**9**	11	6	**6**	7
Número de Funciones [1]	1	**7**	14	1	**3**	5	1	**2**	6	1	**1**	1
Complejidad de manufactura [1]	51	**70**	87	20	**47**	67	26	**38**	67	22	**26**	30
Consumo energético [kW/año]	195	**439**	580	29	**97**	260	183	**383**	1022	190	**193**	201

Tabla 5.11. Valores promedios, máximos y mínimos de los parámetros analizados.

Parámetro	Compresión de vapor AC			Compresión de vapor DC			Termoeléctrico AC			Termoeléctrico DC		
	Mín	**Prom**	Máx	Mín	**Prom**	Máx	Mín	**Prom**	Máx	Mín	**Prom**	Máx
PC	0.423	**3.132**	9.264	0.215	**20.426**	42.368	0.347	**1.011**	3.879	0.163	**0.265**	0.390
VC	0.000	**1.563**	2.850	0.042	**0.220**	0.400	0.049	**0.256**	0.635	0.015	**0.035**	0.065
RV	15.5%	**49.8%**	67.8%	19.3%	**41.6%**	81.9%	27.5%	**44.2%**	70.0%	3.8%	**15.3%**	28.4%
MC	7.650	**20.694**	33.150	2.000	**8.705**	14.070	2.340	**4.857**	12.060	1.980	**2.490**	3.000

Tabla 5.12. Valores unitarios promedios, máximos y mínimos de los parámetros analizados.

Parámetro	Compresión de vapor AC			Compresión de vapor DC			Termoeléctrico AC			Termoeléctrico DC		
	Mín	**Prom**	Máx	Mín	**Prom**	Máx	Mín	**Prom**	Máx	Mín	**Prom**	Máx
PC_U	0.01	**0.07**	0.22	0.01	**0.48**	1.00	0.01	**0.02**	0.09	0.00	**0.01**	0.01
VC_U	0.00	**0.55**	1.00	0.01	**0.08**	0.14	0.02	**0.09**	0.22	0.01	**0.01**	0.02
RV_U	0.19	**0.61**	0.83	0.24	**0.51**	1.00	0.34	**0.54**	0.86	0.05	**0.19**	0.35
MC_U	0.23	**0.62**	1.00	0.06	**0.26**	0.42	0.07	**0.15**	0.36	0.06	**0.08**	0.09
Calificación	0.43	**1.85**	3.05	0.32	**1.33**	2.56	0.43	**0.80**	1.53	0.12	**0.28**	0.47

Ya que entre los equipos analizados se destacan ciertos principios de operación similares; como puede notarse desde la tabla 5.12 y hasta la tabla 5.16, se muestran datos en cuatro apartados que son:

- Valores y parámetros de equipos con alimentación AC y ciclo de compresión de vapor.
- Valores y parámetros de equipos con alimentación DC y ciclo de compresión de vapor.
- Valores y parámetros de equipos con alimentación AC y funcionamiento termoeléctrico.
- Valores y parámetros de equipos con alimentación DC y funcionamiento termoeléctrico.

Dichas tablas, se ordenan de menor a mayor capacidad volumétrica de los equipos, esto también facilita la comparación entre equipos de similares capacidades y entre las diferentes tecnologías.

La tabla 5.13 muestra un recopilado de los valores promedios, máximos y mínimos de las variables medidas en los equipos que se consideraron para calcular los valores de los parámetros de comparación; así es fácil ver que los equipos tienen diferencias considerables de acuerdo a la tecnología que aplican.

Tabla 5.14. Valores promedios, máximos y mínimos de las principales variables analizadas.

	Compresión de vapor AC			Compresión de vapor DC			Termoeléctrico AC			Termoeléctrico DC		
	Mín	**Prom**	Máx	Mín	**Prom**	Máx	Mín	**Prom**	Máx	Mín	**Prom**	Máx
Precio [usd]	$134.00	**$1,537.71**	$4,149.00	$43.30	**$1,039.33**	$1,799.00	$70.00	**$428.67**	$1,699.00	$31.00	**$50.75**	$74.00
Volumen interior [L]	28	**447**	807	12	**88**	227	14	**73**	180	4	**10**	18
Volumen exterior [L]	82	**876**	1911	15	**241**	693	41	**153**	446	44	**82**	111
Número de Componentes [1]	15	**29**	39	10	**18**	21	9	**12**	18	9	**10**	10
Número de Materiales [1]	8	**13**	15	7	**9**	12	7	**9**	11	6	**6**	7
Número de Funciones [1]	1	**7**	14	1	**3**	5	1	**2**	6	1	**1**	1
Complejidad de manufactura [1]	51	**70**	87	20	**47**	67	26	**38**	67	22	**26**	30
Consumo energético [kW/año]	195	**439**	580	29	**97**	260	183	**383**	1022	190	**193**	201

Tabla 5.15. Resumen de la tabla comparativa para los equipos cuyos datos se muestran en las tablas 5.3 a 5.9.

Parámetro	Compresión de vapor AC			Compresión de vapor DC			Termoeléctrico AC			Termoeléctrico DC		
	Mín	**Prom**	Máx	Mín	**Prom**	Máx	Mín	**Prom**	Máx	Mín	**Prom**	Máx
PC	0.423	**3.132**	9.264	0.215	**20.426**	42.368	0.347	**1.011**	3.879	0.163	**0.265**	0.390
VC	0.000	**1.563**	2.850	0.042	**0.220**	0.400	0.049	**0.256**	0.635	0.015	**0.035**	0.065
RV	15.5%	**49.8%**	67.8%	19.3%	**41.6%**	81.9%	27.5%	**44.2%**	70.0%	3.8%	**15.3%**	28.4%
MC	7.650	**20.694**	33.150	2.000	**8.705**	14.070	2.340	**4.857**	12.060	1.980	**2.490**	3.000

Tanto la tabla 5.14 como la 5.15 muestran valores que representan comportamientos distintos de los equipos y las respectivas tecnologías que se aplican en ellos, aunque las tablas no siempre son la mejor forma para observar dichos comportamientos.

En la tabla 5.16 se muestran valores promedios, máximos y mínimos de los parámetros analizados pero en este caso, todos los valores de se dividieron entre el máximo valor que se obtuvo para cada uno de los parámetros; es decir, por ejemplo para el parámetro MC, cada uno de los 101 valores se dividió entre el máximo valor que se obtuvo. Esto tiene como objetivo que el máximo valor de cada parámetro sea 1 con lo cual se puede calificar cada equipo teniendo una máxima calificación de 4 y mínima de 0.

Tabla 5.17. Valores unitarios de los parámetros analizados y calificaciones de referencia para las diferentes tecnologías aplicadas en los equipos.

Parámetro	Compresión de vapor AC			Compresión de vapor DC			Termoeléctrico AC			Termoeléctrico DC		
	Mín	**Prom**	Máx	Mín	**Prom**	Máx	Mín	**Prom**	Máx	Mín	**Prom**	Máx
PC_U	0.01	**0.07**	0.22	0.01	**0.48**	1.00	0.01	**0.02**	0.09	0.00	**0.01**	0.01
VC_U	0.00	**0.55**	1.00	0.01	**0.08**	0.14	0.02	**0.09**	0.22	0.01	**0.01**	0.02
RV_U	0.19	**0.61**	0.83	0.24	**0.51**	1.00	0.34	**0.54**	0.86	0.05	**0.19**	0.35
MC_U	0.23	**0.62**	1.00	0.06	**0.26**	0.42	0.07	**0.15**	0.36	0.06	**0.08**	0.09
Calificación	0.43	**1.85**	3.05	0.32	**1.33**	2.56	0.43	**0.80**	1.53	0.12	**0.28**	0.47

En la siguiente etapa se representan los valores de la tabla comparativa en forma de diagramas, facilitando su visualización y la identificación de las diferencias entre los distintos equipos.

7. Desarrollo de diagramas comparativos:

El desarrollo de los diagramas comparativos se hizo a partir de los valores de todos los datos analizados al representarlos en forma gráfica. Los diagramas siguientes muestran los diferentes valores promedios que aparecen en la tablas A.4 a A.12 de los Anexos, cada uno de ellos con un color distinto y de acuerdo a la tecnología que emplean. En este caso los valores representan una parte proporcional a su valor en un cien por ciento de una franja de colores. Ciertamente las variables no comparten una misma escala pero tales diagramas sirven para visualizar los que tienen mayor peso en los equipos.

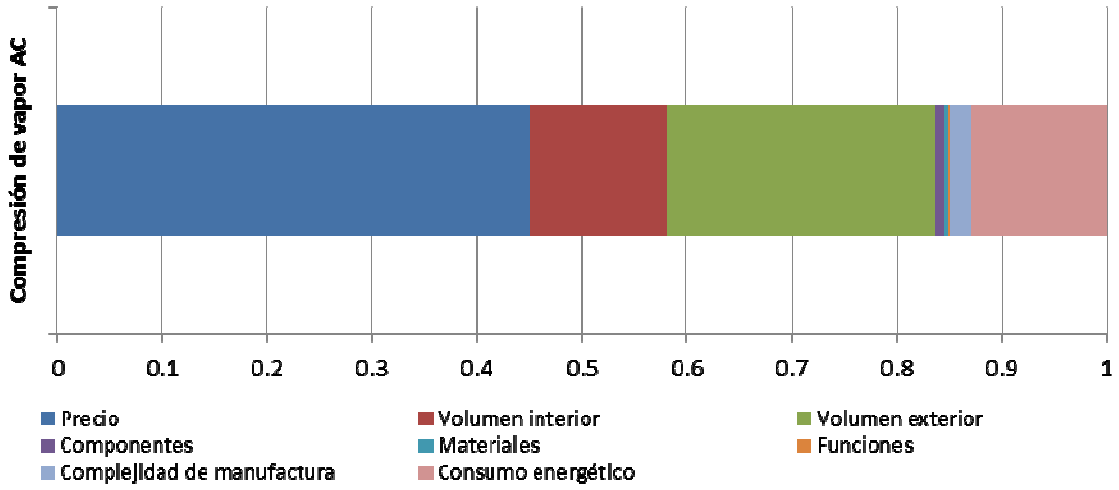

Figura 5.13. Diagrama de colores de valores promedios de las variables medidas de los equipos que utilizan el ciclo de compresión de vapor, alimentados por corriente alterna.

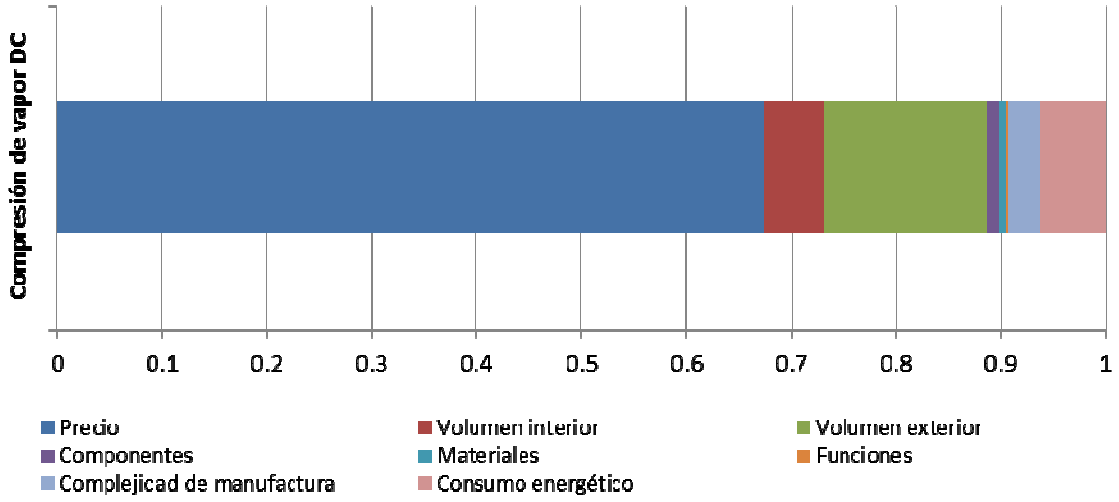

Figura 5.14. Diagrama de colores de los valores promedios de las variables medidas de los equipos que utilizan el ciclo de compresión de vapor, alimentados por corriente directa.

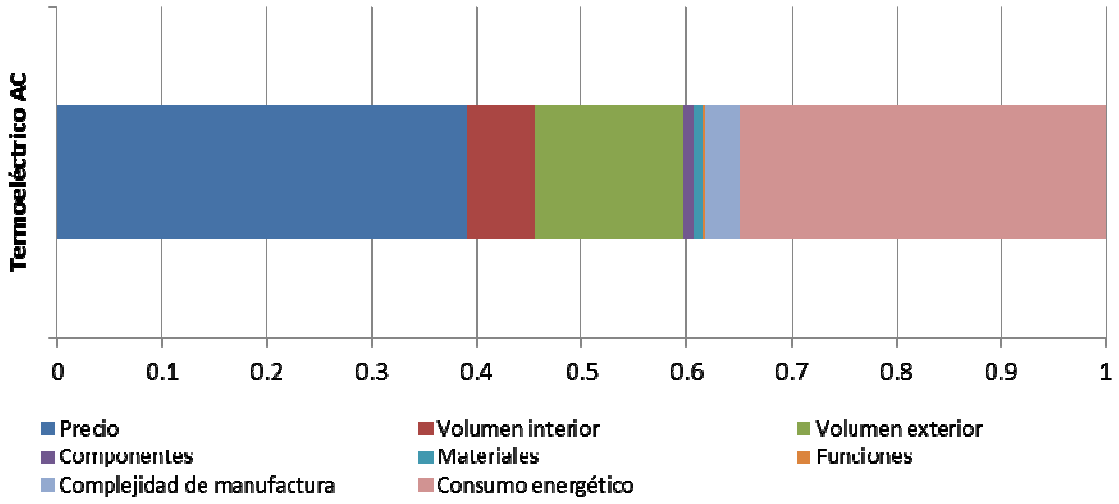

Figura 5.15. Diagrama de colores de los valores promedios de las variables medidas de los equipos que utilizan celdas termoeléctricas, alimentados por corriente alterna.

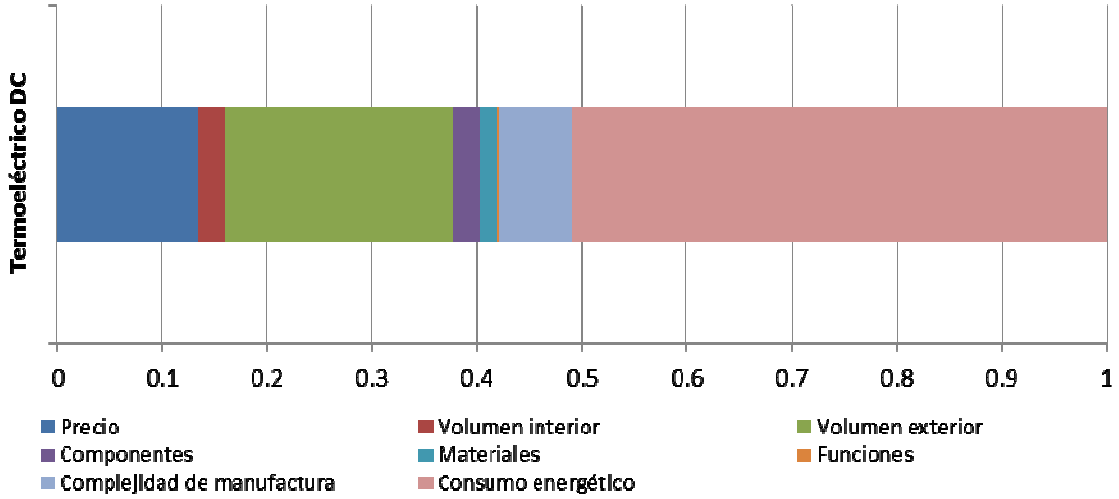

Figura 5.16. Diagrama de colores de los valores promedios de las variables medidas de los equipos que utilizan celdas termoeléctricas, alimentados por corriente directa.

En los diagramas anteriores se visualizan fácilmente las diferencias entre equipos pero existe un error dado que las regiones que indican cada variable no siguen una misma escala por lo que en los gráficos siguientes se comparan los valores de las gráficas 5.11 y 5.12; los parámetros de la tabla 5.10 siguen distintas escalas sin embargo, los de la 5.12 se han *normalizado* de tal forma que el máximo valor para cualquier parámetro es 1 y al sumar los valores de los distintos parámetros se puede obtener una calificación promediada.

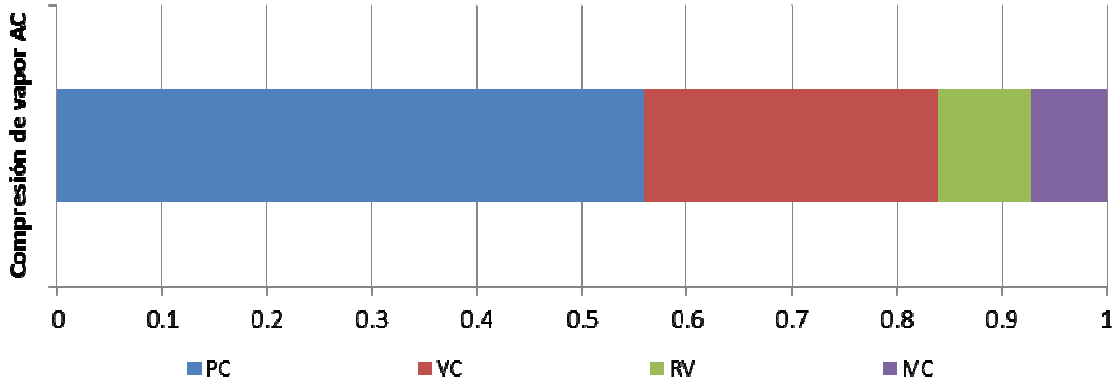

Figura 5.17. Diagrama de colores de los valores unitarios promedios de los parámetros analizados de los equipos que ciclo de compresión de vapor, alimentados por corriente alterna.

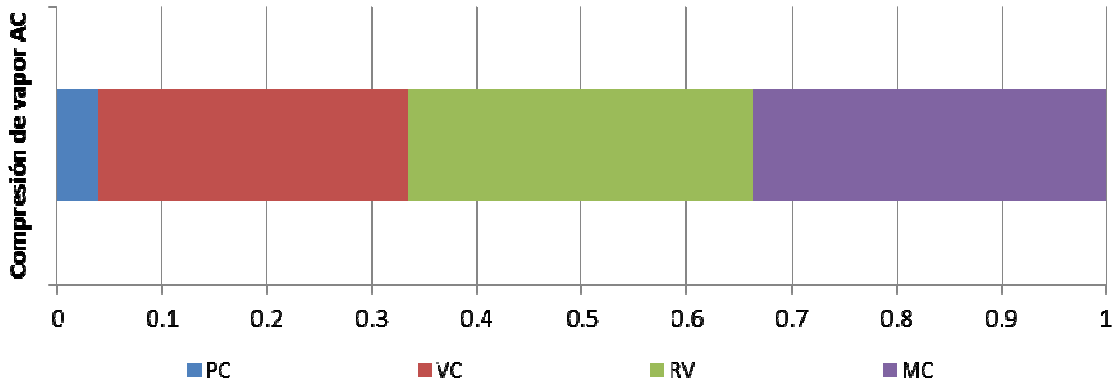

Figura 5.18. Diagrama de colores de los valores promedios de los parámetros analizados de los equipos que ciclo de compresión de vapor, alimentados por corriente alterna.

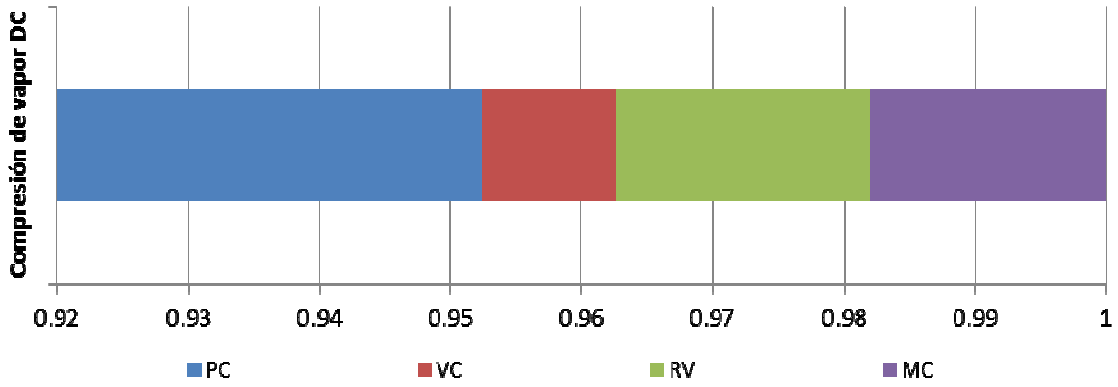

Figura 5.19. Diagrama de colores de los valores unitarios promedios de los parámetros analizados de los equipos que ciclo de compresión de vapor, alimentados por corriente directa.

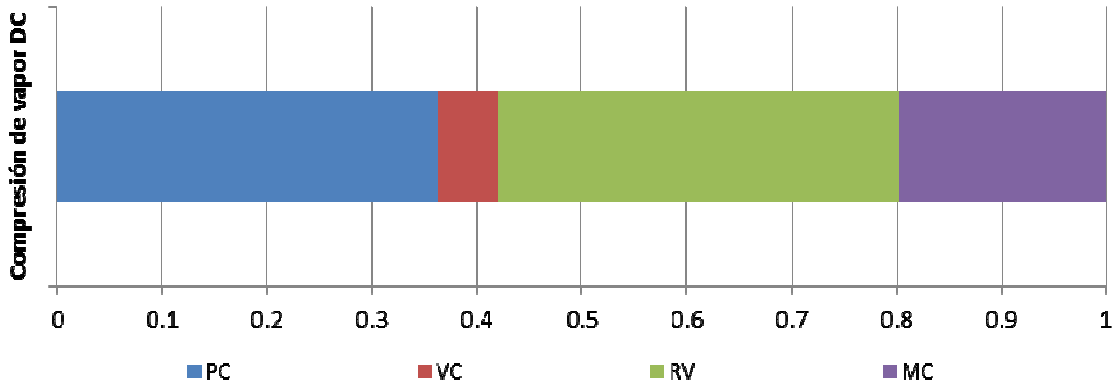

Figura 5.20. Diagrama de colores de los valores promedios de los parámetros analizados de los equipos que ciclo de compresión de vapor, alimentados por corriente directa.

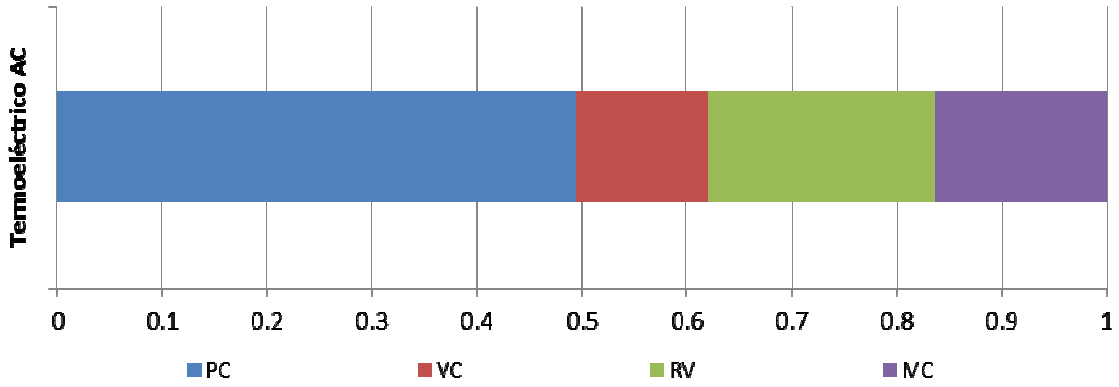

Figura 5.21. Diagrama colores de los valores unitarios promedios de los parámetros analizados de los equipos que utilizan celdas termoeléctricas, alimentados por corriente alterna.

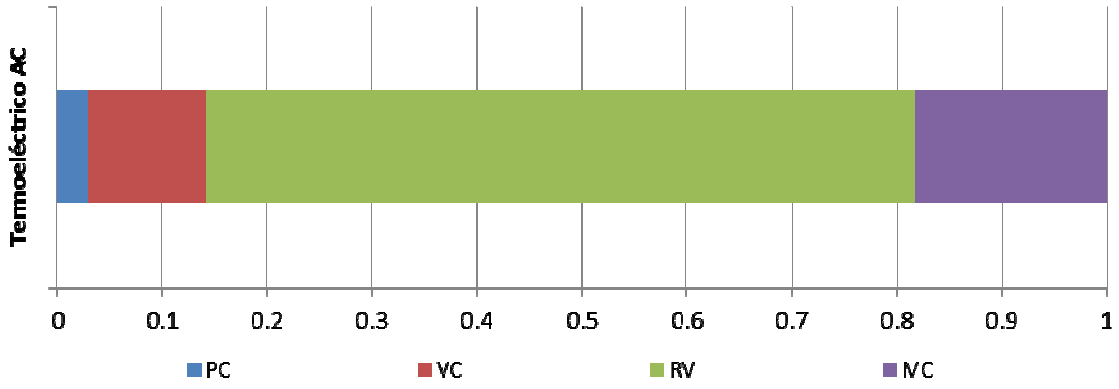

Figura 5.22. Diagrama de colores de los valores promedios de los parámetros analizados de los equipos que utilizan celdas termoeléctricas, alimentados por corriente alterna.

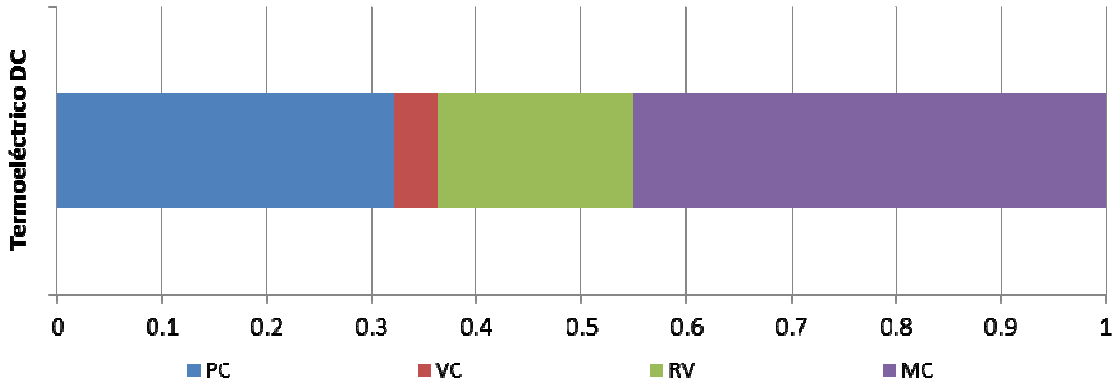

Figura 5.23. Diagrama de colores de los valores unitarios promedios de los parámetros analizados de los equipos que utilizan celdas termoeléctricas, alimentados por corriente directa.

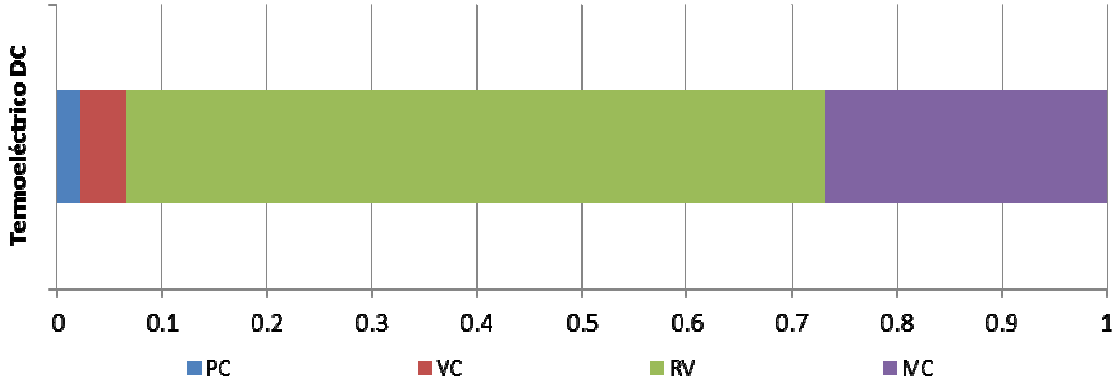

Figura 5.24. Diagrama de colores de los valores promedios de los parámetros analizados de los equipos que utilizan celdas termoeléctricas, alimentados por corriente directa.

Los diagramas utilizados son una forma sencilla de mostrar las diferencias que se generan al utilizar escalas diferentes y cuando se utiliza una en común. Comparando los diagramas para un mismo tipo de tecnología pareciera que el comportamiento es diferente, esto es menos notorio en el caso de los diagramas de los equipos de compresión de vapor alimentados por energía de corriente directa, los dos gráficos son similares pero todos los demás diagramas unitarios varían respecto a los que emplean distintas escalas. Por ejemplo el diagrama unitario del equipo de compresión de vapor alimentado por energía de corriente alterna, presenta una región pequeña comparada con la que presenta el diagrama no unitario, en cambio las secciones de los otros parámetros se muestran equilibradas lo que significa que los equipos analizados tienen una buena relación del espacio que ocupa su mecanismo de operación y su capacidad volumétrica, su consumo energético es adecuado según su capacidad y por último, son equipos poco complejos.

Otra comparación interesante es la que se hace entre los gráficos de los equipos termoeléctricos, tanto los de corriente directa como los de corriente alterna; al utilizar escalas unitarias muestran patrones muy diferentes y el parámetro VC casi conserva su proporción, sin embargo, estas proporciones para parámetros como PC cambiaron "negativamente" indicando que son equipos caros y/o costosos de acuerdo al consumo energético que registran, las proporciones MC también cambiaron indicando una menor complejidad de los equipos lo que se valida al saber que utilizan menor número de componentes.

En el siguiente capítulo se desarrollan los diagramas comparativos para los parámetros analizados en forma análoga a los diagramas realizados por Michael Ashby para propiedades mecánicas de los materiales.

Capítulo 6

Diagramas Comparativos

En el capítulo anterior se mostraron algunos gráficos lineales en los que se esquematiza el comportamiento de ciertos parámetros para cada tipo o familia de equipos conservadores de alimentos. En este capítulo se desarrollan los diagramas de desempeño análogos a los realizados por Ashby [8] mostrando el comportamiento de algunas propiedades mecánicas de materiales.

Como se menciona desde los pasos 4 y 5 del capítulo anterior, los equipos de conservación de alimentos se clasifican de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-015-ENER-2002 como "refrigeradores" y "congeladores". Considerando esto para los equipos utilizados para la elaboración de la tabla de datos y tabla comparativa; en este apartado se desarrollan los diagramas comparativos o de desempeño según los siguientes apartados:

1. Comparación entre equipos operados mediante ciclo de compresión de vapor y equipos operados mediante celdas con efecto termoeléctricos.

   Compresión de vapor Vs. Termoeléctricos

2. Comparación entre equipos con alimentación energética AC y equipos con alimentación DC.

   Alimentación AC Vs. Alimentación DC

3. Comparación entre equipos Enfriadores/Congeladores; equipos sólo enfriadores y equipos sólo congeladores.

   Refrigeradores Vs. Congeladores Vs. Congeladores

Se generaron tres series con nueve diagramas cada una, estás correspondientes a cada uno de los apartados ya establecidos. En los tres casos, los datos provienen de los mismos equipos analizados para en las tablas comparativas.

Se comparan dos parámetros en cada diagrama y estos mismos se comparan a partir de los tres apartados con lo que se vuelve una comparación más amplia porque es posible visualizar el comportamiento de cierto parámetro a través de distintas perspectivas de acuerdo a cada apartado.

Las siguientes son las nueve series de diagramas que se comparan:

1. Funciones [1] Vs. Precio [usd].
2. Volumen interior [L] Vs. Precio [usd].
3. Consumo diario [L] Vs. Precio [usd].
4. Eficiencia Volumétrica (VC) [cu.ft/usd] Vs. Complejidad de diseño (MC) [1].
5. Materiales [1] Vs. Relación de volúmenes (RV)[cu.ft./cu.ft.].
6. Precio [usd] Vs. Complejidad de manufactura [1].
7. Eficiencia Energética (PC) [usd/kW] Vs. Volumen interior [L].
8. Eficiencia Volumen (VC) [cu.ft./usd] Vs. Volumen interior [L].
9. Volumen interior [L] Vs. Consumo energético diario [kW].

1. Volumen interior [L] Vs. Consumo energético diario [kW]

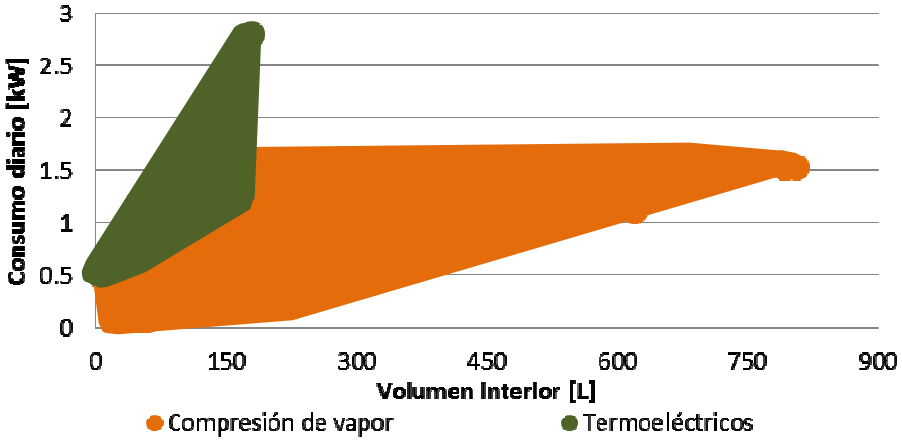

Figura 6.1. Comparación de Funciones [1] Vs. Precio [usd], entre equipos de compresión de vapor y equipos termoeléctricos.

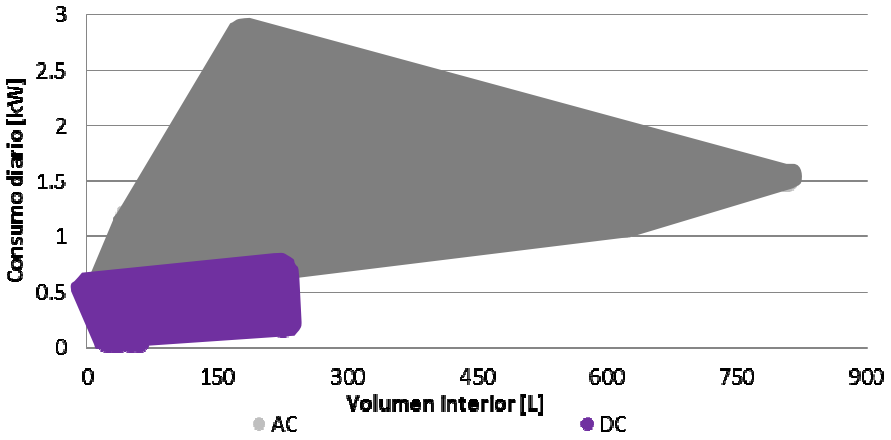

Figura 6.2. Comparación de Funciones [1] Vs. Precio [usd], entre equipos de alimentación AC y alimentación DC.

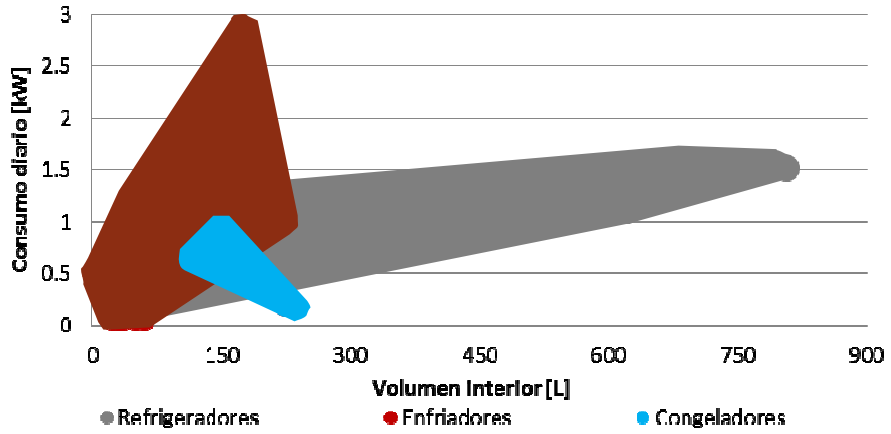

Figura 6.3. Comparación de Funciones [1] Vs. Precio [usd], entre equipos Refrigeradores, Enfriadores y Congeladores.

2. Eficiencia Volumétrica (VC) [cu.ft./usd] Vs. Volumen interior [L]

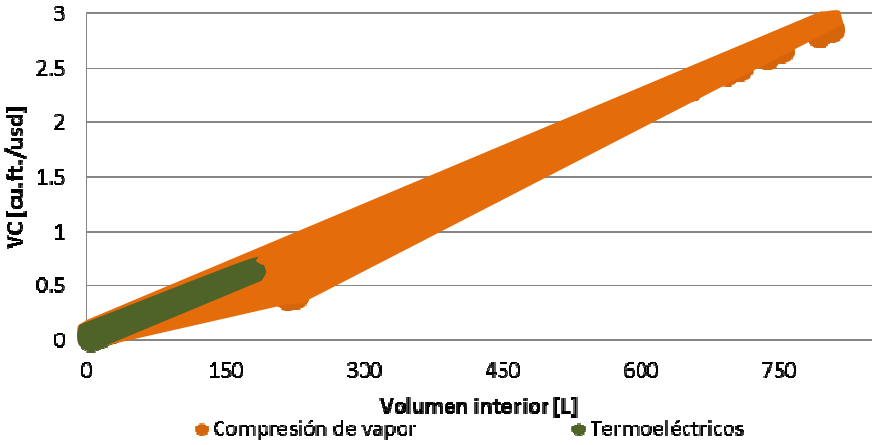

Figura 6.4. Comparación Volumen interior Vs. VC, entre equipos de compresión de vapor y equipos termoeléctricos.

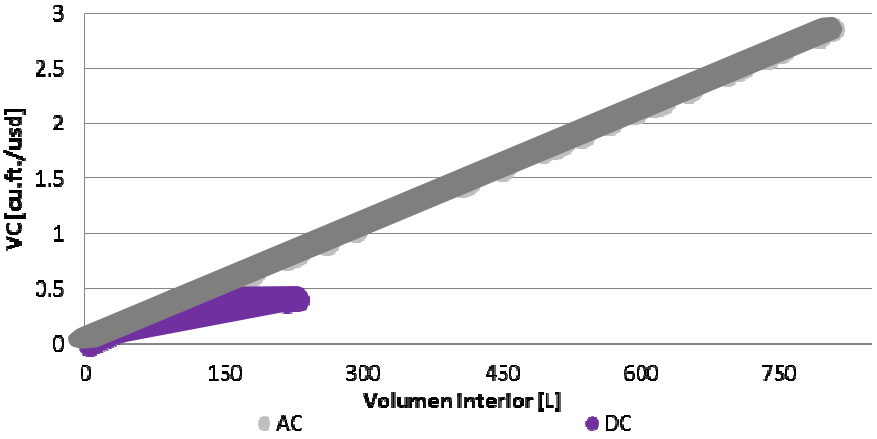

Figura 6.5. Comparación Volumen interior Vs. VC, entre equipos de alimentación AC y alimentación DC.

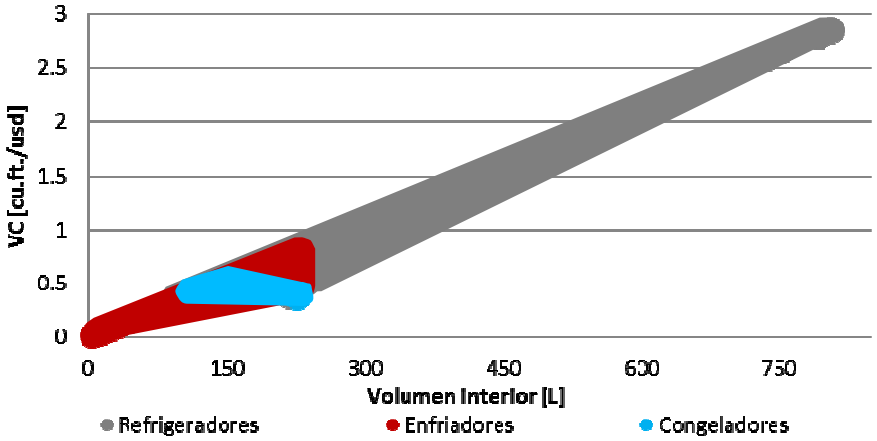

Figura 6.6. Comparación Volumen interior Vs. VC, entre equipos Refrigeradores, Enfriadores y Congeladores.

3. Eficiencia Energética (PC) [usd/kW] Vs. Volumen interior [L]

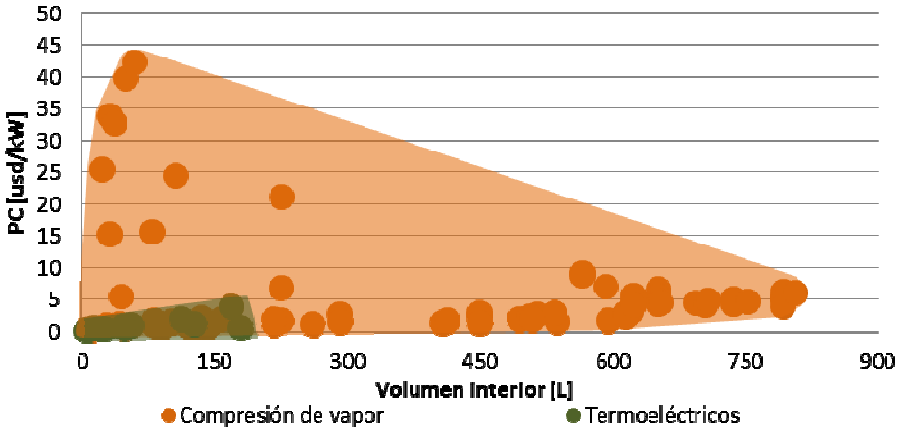

Figura 6.7. Comparación de Volumen interior Vs. PC, entre equipos de compresión de vapor y equipos termoeléctricos.

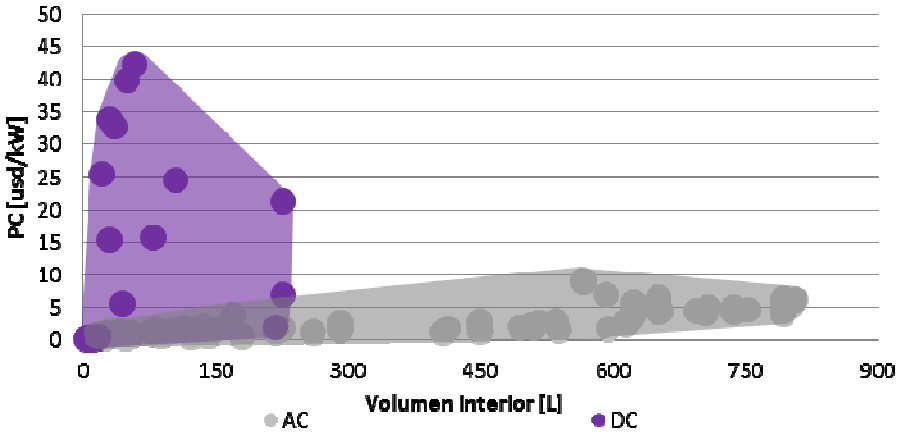

Figura 6.8. Comparación de Volumen interior Vs. PC, entre equipos de alimentación AC y alimentación DC.

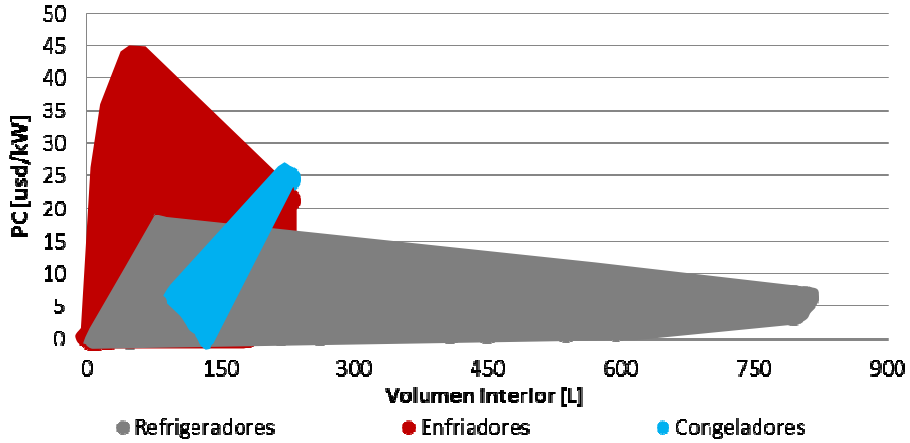

Figura 6.9. Comparación de Volumen interior Vs. PC, entre equipos Refrigeradores, Enfriadores y Congeladores.

4. Precio [usd] Vs. Complejidad de manufactura [1]

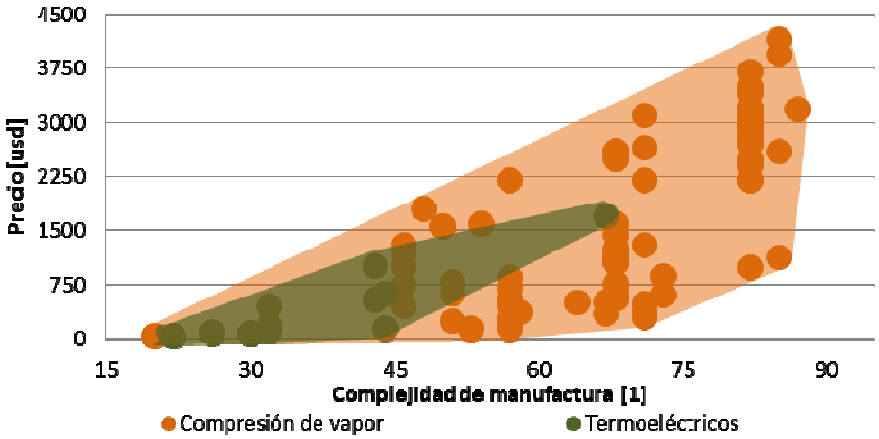

Figura 6.10. Comparación de Complejidad de Manufactura Vs. Precio, entre equipos de compresión de vapor y equipos termoeléctricos.

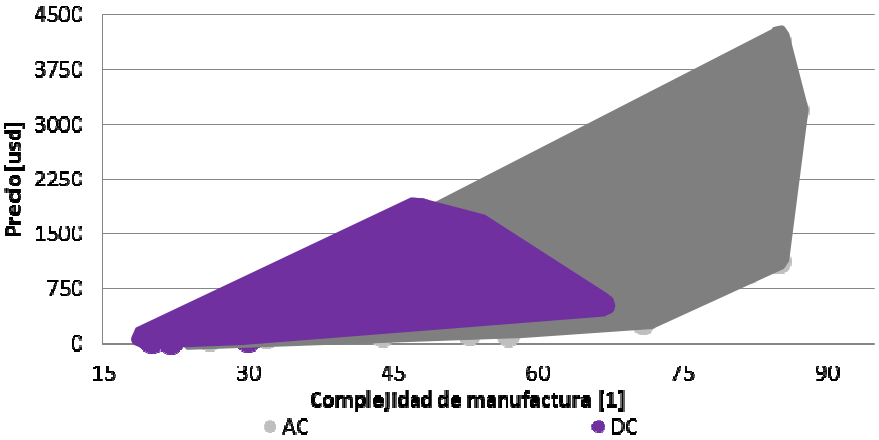

Figura 6.11. Comparación de Complejidad de Manufactura Vs. Precio, entre equipos de alimentación AC y alimentación DC.

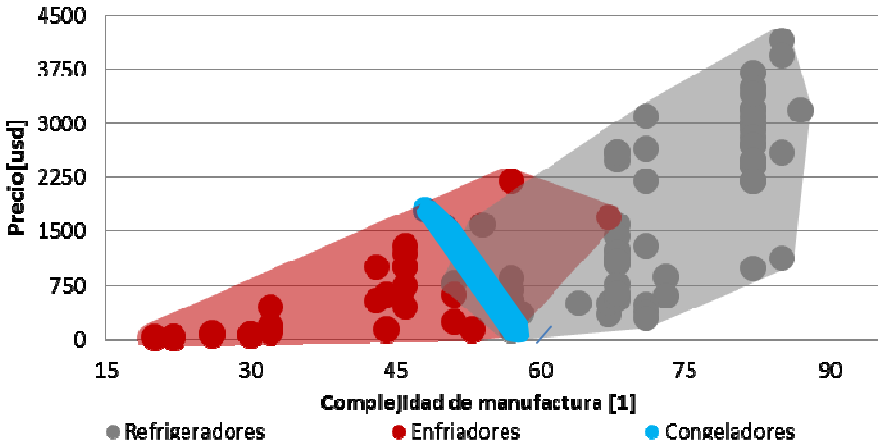

Figura 6.12. Comparación de Complejidad de Manufactura Vs. Precio, entre equipos Refrigeradores, Enfriadores y Congeladores.

5. Materiales [1] Vs. Relación de volúmenes (RV)[cu.ft./cu.ft.]

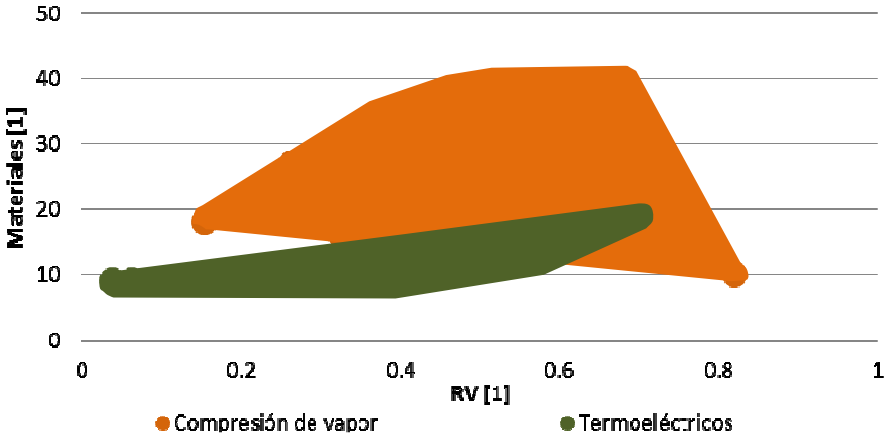

Figura 6.13. Comparación de RV Vs. Materiales, entre equipos de compresión de vapor y equipos termoeléctricos.

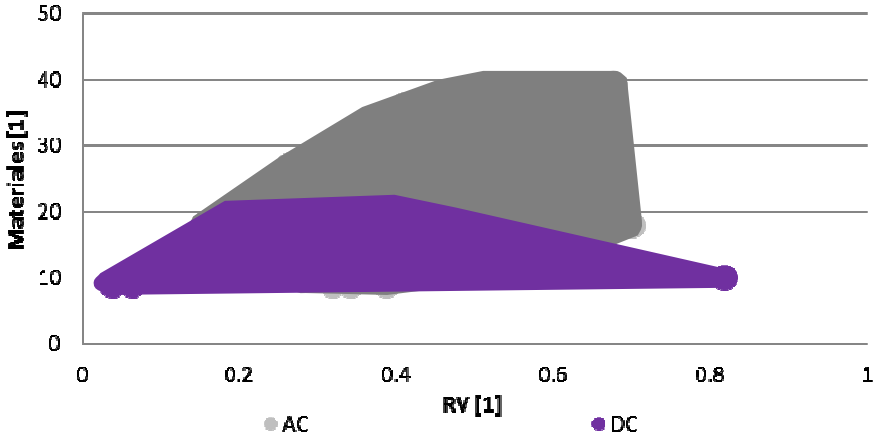

Figura 6.14. Comparación de RV Vs. Materiales, entre equipos de alimentación AC y alimentación DC.

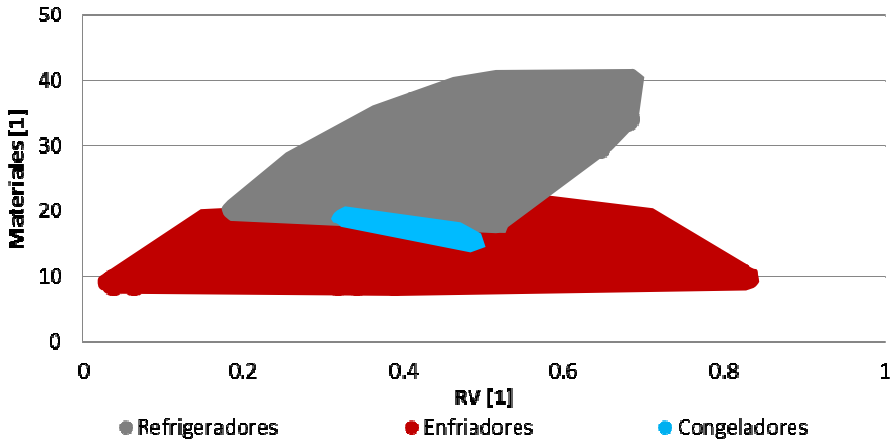

Figura 6.15. Comparación de RV Vs. Materiales, entre equipos Refrigeradores, Enfriadores y Congeladores.

6. Eficiencia Volumétrica (VC) [cu.ft/usd] Vs. Complejidad de diseño (MC) [1]

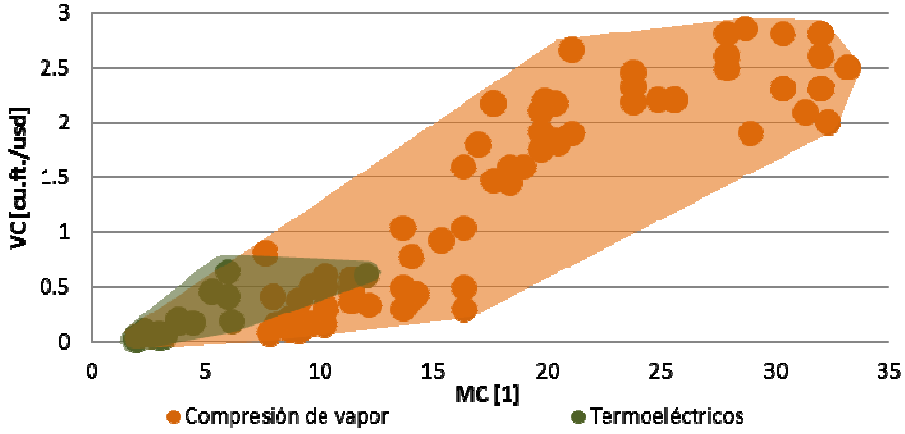

Figura 6.16. Comparación de MC Vs. VC, entre equipos de compresión de vapor y equipos termoeléctricos.

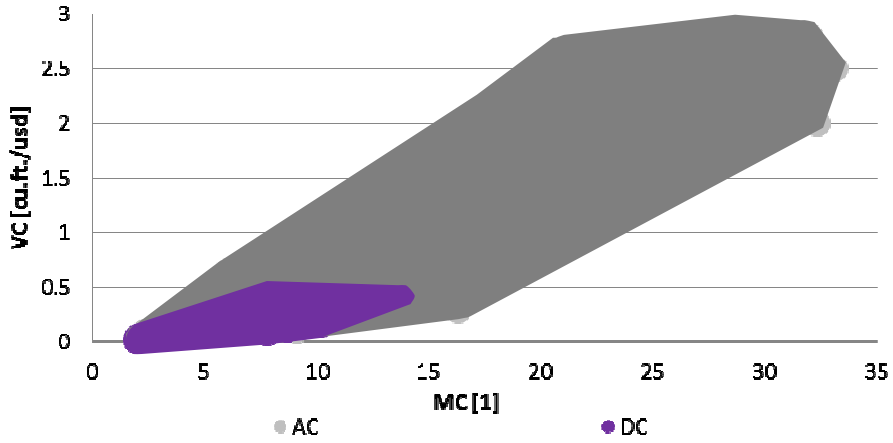

Figura 6.17. Comparación de MC Vs. VC, entre equipos de alimentación AC y alimentación DC.

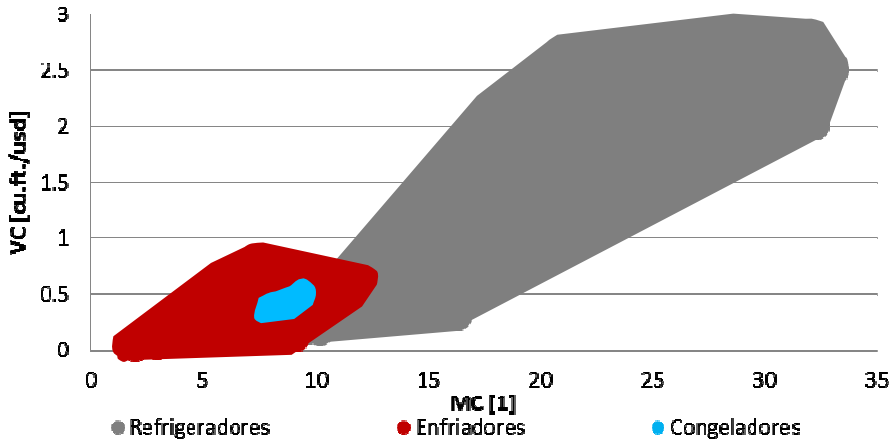

Figura 6.18. Comparación de MC Vs. VC, entre equipos Refrigeradores, Enfriadores y Congeladores.

7. Consumo diario [L] Vs. Precio [usd]

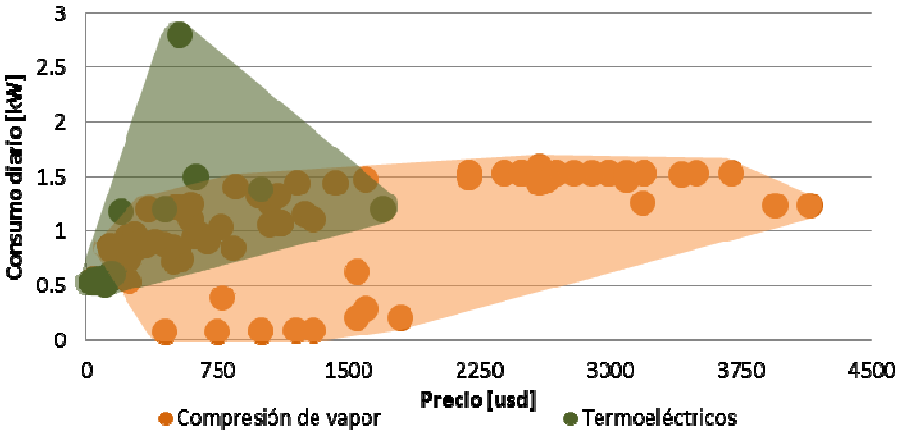

Figura 6.19. Comparación de Precio Vs. Consumo diario, entre equipos de compresión de vapor y equipos termoeléctricos.

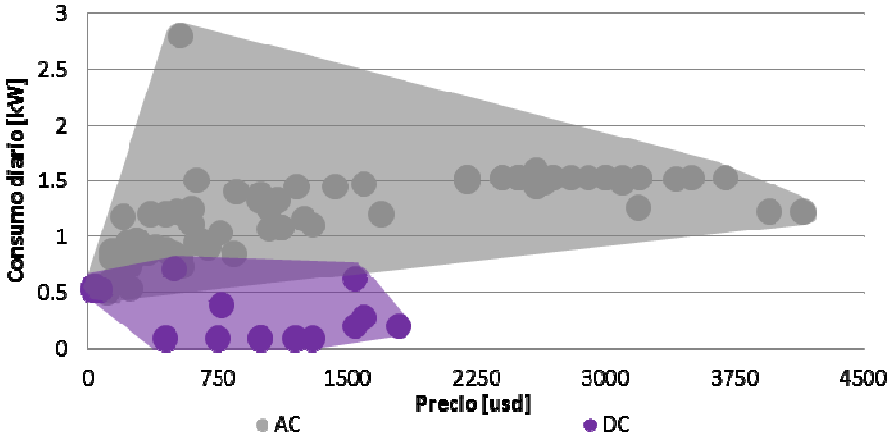

Figura 6.20. Comparación de Precio Vs. Consumo diario, entre equipos de alimentación AC y alimentación DC.

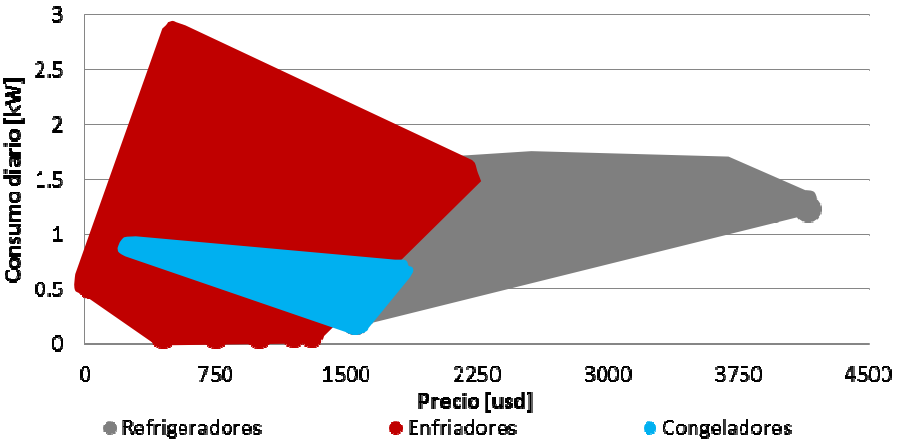

Figura 6.21. Comparación de Precio Vs. Consumo diario, entre equipos Refrigeradores, Enfriadores y Congeladores.

8. Volumen interior [L] Vs. Precio [usd]

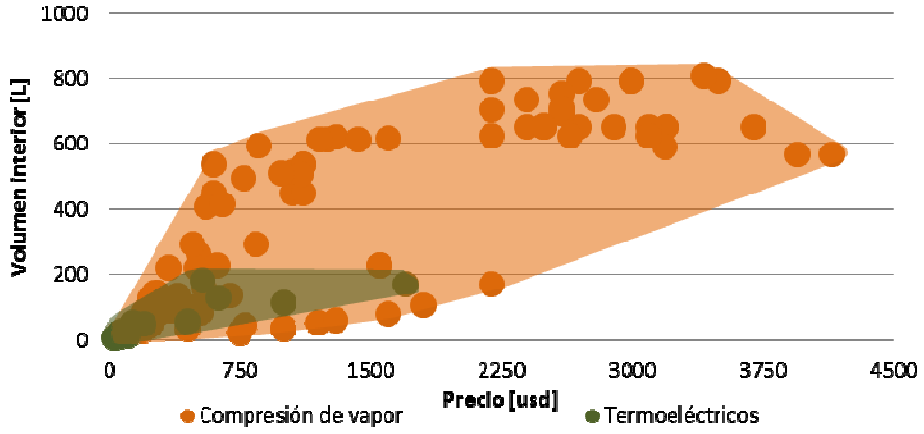

Figura 6.22. Comparación de Precio Vs. Volumen interior, entre equipos de compresión de vapor y equipos termoeléctricos.

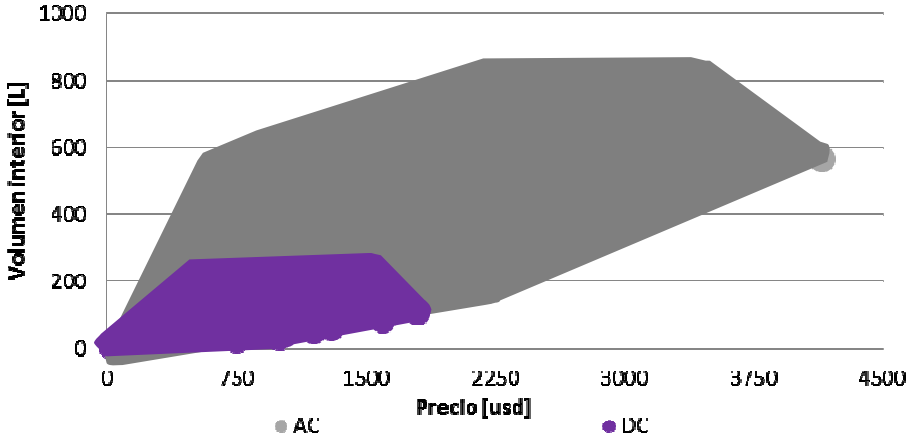

Figura 6.23. Comparación de Precio Vs. Volumen interior, entre equipos de alimentación AC y alimentación DC.

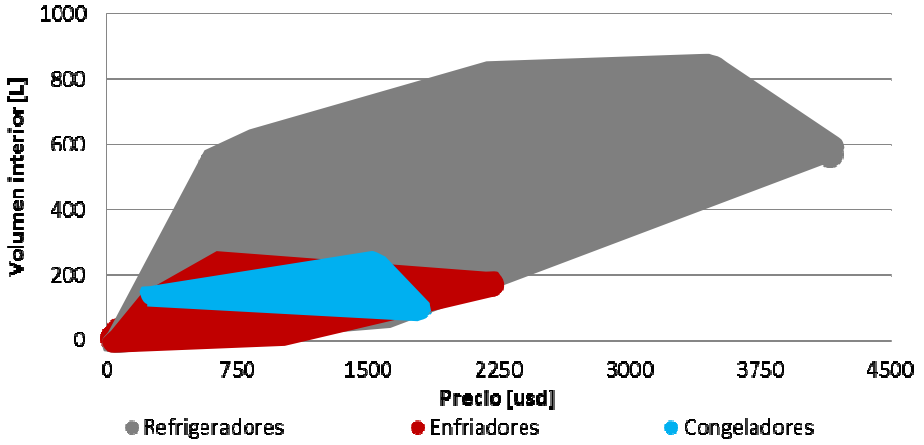

Figura 6.24. Comparación de Precio Vs. Volumen interior, entre equipos Refrigeradores, Enfriadores y Congeladores.

9. Funciones [1] Vs. Precio [usd]

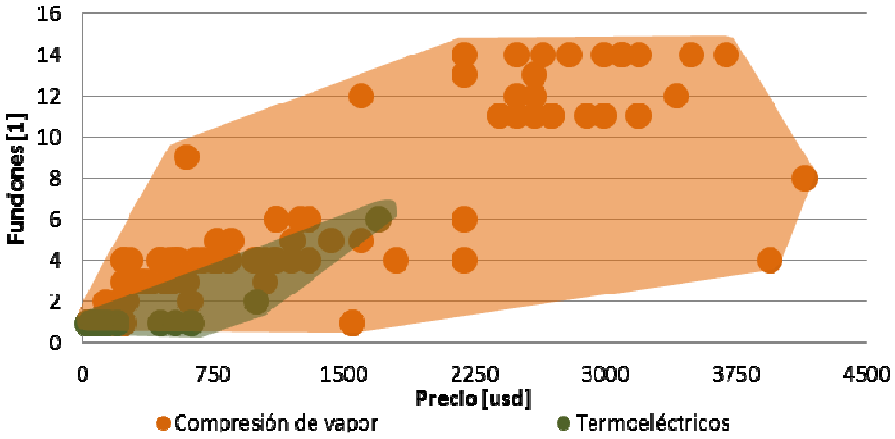

Figura 6.25. Comparación de Precio Vs. Funciones, entre equipos de compresión de vapor y equipos termoeléctricos.

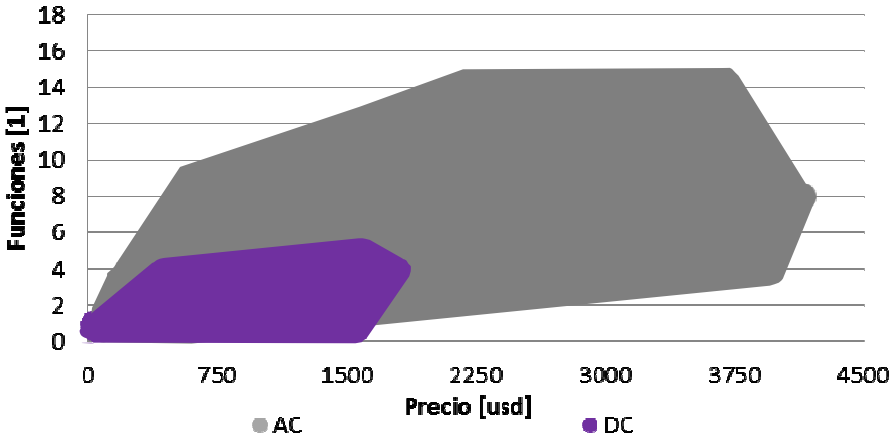

Figura 6.26. Comparación de Precio Vs. Funciones, entre equipos de alimentación AC y alimentación DC.

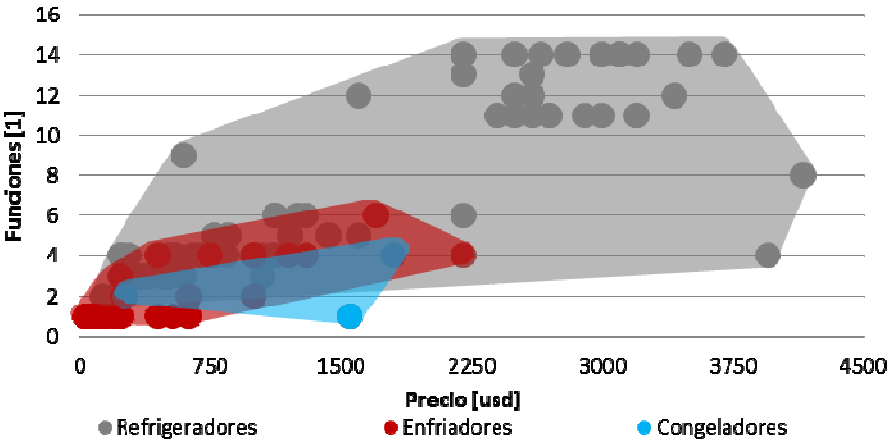

Figura 6.27. Comparación de Precio Vs. Funciones, entre equipos Refrigeradores, Enfriadores y Congeladores.

Los puntos en las nueve series de diagramas son los mismos, tienen la misma posición en cada uno de los diagramas de cada serie, sin embargo al estar identificados por distintos colores, éstos representan áreas o regiones diferentes tal como se observa.

Las siguientes son conclusiones de la inspección visual de los diagramas anteriores y se enumeran de acuerdo al número de serie analizada:

1. Los equipos termoeléctricos presentan consumos energéticos de medios a altos y sus volúmenes útiles son pequeños comparados con los de los equipos de compresión de vapor.
   Por otro lado los quipos alimentados por energía de corriente directa consumen aproximadamente una cuarta parte de la energía que los que son alimentados por corriente alterna.
   Sobre los tipos de equipos, los congeladores consumen menos energía que los enfriadores y menos que los enfriadores/congeladores (refrigeradores).

2. En cuanto a eficiencia volumétrica, los equipos termoeléctricos presentan una tendencia semejante a los equipos de compresión, pero se limitan a equipos de bajo valor VC, lo que significa que son equipos de poca capacidad volumétrica y/o equipos costosos ya que las mayores capacidades de los equipos termoeléctricos llegan a un cuarto de la capacidad mostrada por los equipos de compresión más grandes.
   Los equipos alimentados por energía DC y los congeladores tienden a ser equipos también de bajas capacidades y mientras la capacidad aumenta su valor VC se mantiene lo que significa que los precios se incrementan de forma constante y no linealmente como sucede en el caso de los refrigeradores alimentados por AC y de compresión de vapor.

3. En lo referente a consumo energético. Los equipos de compresión de vapor muestran una amplia gama de valores de PC. Por ejemplo en equipos de poco volumen interior el consumo energético no varía demasiado pero los precios de los equipos si varían en gran medida. En cambio, mientras que las capacidades aumentan, los precios no varían tanto.
   Dentro de este mismo rubro, los equipos alimentados por energía AC tienden a ser económicos a diferencia de los alimentados por DC que son de menores capacidades en comparación y son más costosos. Los refrigeradores son también los que muestran un comportamiento más estable entre precios y consumos, los enfriadores no tienen grandes volúmenes interiores y su fluctúan sus precios mientras que los congeladores varían en una región entre los refrigeradores y los enfriadores.

4. La complejidad de manufactura y los precios de los equipos de compresión de vapor alimentados por energía AC y principalmente los refrigeradores es de media a alta y los precios varían desde los más económicos hasta los diseños más costosos. En cambio, los equipos termoeléctricos, los alimentados por energía DC y los enfriadores presentan un comportamiento en cuanto a precios y complejidad de manufactura similares.

5. Los equipos de compresión de vapor son los que presentan más variaciones en el uso de materiales, aplicaciones y en su uso del espacio ya que son los que se acercan más al valor de 1 para RV significando que existen equipos que aprovechan de mejor manera el espacio útil para conservar alimentos dentro de

todo el volumen del equipo mismo. Nuevamente los equipos congeladores se encuentran en un punto intermedio.

6. Sobre eficiencia volumétrica y complejidad de diseño, los equipos de compresión de vapor alimentados por energía AC y principalmente los refrigeradores se muestran como la mejor opción cuando lo que se busca es variedad de capacidades y precios, esto también influenciado porque los hay en gran variedad de diseños.

7. Dos aspectos muy importantes al optar por uno u otro equipo de conservación de alimentos son el precio y el consumo energético. En este caso los comportamientos son claros:
    a. Los equipos termoeléctricos pueden no llegar a ser tan caros como algunos de compresión de vapor, sin embargo sus consumos energéticos son elevados.
    b. Los equipos alimentados por energía DC se limitan a ciertas funciones (ver tabla comparativa), y por ello parecerían costosos, pero sus consumos diarios son reducidos en comparación con los demás.
    c. Algunos enfriadores, principalmente los termoeléctricos presentan consumos elevados.

8. En cuanto a volúmenes y precios. No cabe duda de que los equipos refrigeradores alimentados por energía AC y operados por ciclo de compresión de vapor son los que ofrecen mayor diversidad y se ajustan a casi cualquier necesidad de espacio y precio.
   Una región aparte es en la que se encuentran los equipos termoeléctricos, los alimentados por energía DC y los enfriadores y/o congeladores. Todos estos equipos tienen precios de bajos a medios altos, llegando aproximadamente a los 2250 [usd.]. Los mayores volúmenes de equipos para uso residencial están por debajo de los 300 [L].

9. Otra vez los equipos refrigeradores AC de compresión de vapor son los que ofrecen mayores funciones adicionales pero no siempre más funciones representan precios más elevados.

Dado que los equipos refrigeradores son los más comunes. En el siguiente capítulo se presenta un trabajo realizado para comparar los costos de inversión inicial, operación y mantenimiento de tres diferentes equipos pero alimentados por una instalación fotovoltaica (FV) mediante el uso de paneles fotovoltaicos, comúnmente conocidos como “paneles solares”:

- Equipo refrigerador operado por ciclo de compresión de vapor alimentado por energía de corriente alterna, AC;
- Equipo refrigerador operado por ciclo de compresión de vapor alimentado por energía de corriente directa, DC, y;
- Equipo enfriador operado por ciclo de compresión de vapor alimentados por energía de corriente directa DC.

Capítulo 7

Evaluación de los Costos de Operación y Mantenimiento para un Nuevo Sistema de Refrigeración

A partir del análisis de la tabla comparativa y el desarrollo de los diagramas comparativos se ha visto que dentro de los equipos de conservación de alimentos y ya que estos electrodomésticos tienen un consumo energético considerable que en ocasiones llega a ser del 20% del consumo energético residencial [18] y dado el previo trabajo enfocado a los paneles fotovoltaicos (capítulo 5), en este capítulo se plantea el estudio y comparación de costos e inversión para tres equipos con configuraciones similares pero alimentados por tres métodos distintos.

La comparación siguiente se hace entre tres equipos que utilizan el ciclo de compresión de vapor. Un equipo alimentado por energía de corriente alterna (AC) de la red eléctrica comercial (REC); un equipo AC alimentado por un arreglo fotovoltaico consistente de: paneles fotovoltaicos (FV), controlador de caga, banco de baterías e inversor de carga y; un equipo alimentado por energía de corriente directa y paneles fotovoltaicos.

Objetivo particular de la evaluación

Conocer cuál de los tres sistemas es el más conveniente económicamente y encontrar su analizar su comportamiento de acuerdo con los diagramas comparativos.

En esta comparativa, la referencia en es un equipo convencional de 8 cu.ft. (Pies cúbicos), que opera mediante un sistema de compresión de vapor y con un compresor de corriente alterna (AC); los compresores son los componentes que requieren mayor consumo de energía para operar sin embargo aún no hay muchos opciones para sustituir estos sistemas.
De acuerdo con el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE), el equipo ocupa el segundo lugar dentro del consumo de energía eléctrica de una vivienda en México. De ahí, la importancia de impulsar el desarrollo de sistemas de refrigeración alternos que funcionen con fuentes de energía renovables que minimicen el consumo de energía eléctrica.

Actualmente los equipos solares no son populares porque aún son costosos y generalmente no tienen las mismas capacidades que uno de alimentación convencional puede presentar además de que el costo de las instalaciones fotovoltaicas también es elevado. Sin embargo existen zonas dónde esta es la única fuente de energía eléctrica y esos, los únicos equipos útiles; pero también hay personas o instituciones impulsadas por

una "conciencia ecológica" que con mayor frecuencia deciden invertir en instalaciones fotovoltaicas o eólicas. Y dentro de las instalaciones más comunes están las usadas para alimentar equipos de conservación de alimentos y por esto es que esta comparación se vuelve interesante.

Sistema referencia

El sistema referencia es un equipo alimentado por energía eléctrica de la REC, que opera específicamente con corriente alterna, 110v, 60Hz; este equipo puede denominarse "convencional" ya que tiene la arquitectura que emplean la mayoría de los fabricantes. Es un equipo de una sola puerta, tiene congelador y enfriador; su consumo energético anual es de 260kW/año.

Figura 7.1 Equipo "convencional" de 8 cu.ft..

Los sistemas a comparar son los siguientes:

1. Equipo alimentado por un arreglo fotovoltaico

Se trata de un equipo de idénticas características a las de la referencia pero en este caso es alimentado por una instalación fotovoltaica (FV) que provee energía para su operación. La energía eléctrica de corriente directa (DC) generada es almacenada en un banco de baterías, de forma que la energía esté disponible siempre que se requiera. Ya que el equipo utiliza energía AC, es necesario utilizar un inversor de corriente que convierta la energía DC de las baterías a energía AC para alimentar al equipo.

Componentes adiciones para la operación del sistema:

- Inversor de corriente, 12V DC a 110V, 60Hz AC
- Banco de baterías
- Arreglo de paneles fotovoltaicos

2. Equipo con compresor DC alimentado por un arreglo fotovoltaico

Los equipos alimentados por corriente directa son relativamente nuevos y el propuesto para este sistema es uno de la empresa SunDanzer que tiene la capacidad de operar al ser alimentado directamente por un arreglo de paneles FV sin necesidad de baterías. Este equipo tiene la capacidad de conservar sus condiciones internas por varios días. Al igual que el equipo convencional, éste también utiliza un compresor pero en este caso es alimentado por energía DC.

A diferencia del resto, este equipo sólo puede operar como enfriador o como congelador; y es un equipo horizontal con una puerta en la cara superior.

Componentes adiciones para la operación del sistema:

- Arreglo de paneles fotovoltaicos

Figura 7.2 Equipo solar SunDanzer de 8 cu.ft.

3. Equipo hibrido con compresor DC alimentado por un arreglo fotovoltaico y REC

Este equipo opera mediante un compresor alimentado por energía DC a partir de un arreglo fotovoltaico sin necesidad de baterías. O en caso de que la energía FV generada no es suficiente, el equipo con un control inteligente toma energía de corriente alterna de la REC y la convierte a energía DC.

Componentes adiciones para la operación del sistema:

- Arreglo de paneles fotovoltaicos

El sistema 1 ha sido el más utilizado porque las demás opciones son relativamente nuevas; y es el sistema que requiere de mayor número de componentes y puesto que se utiliza un equipo como el de referencia, el consumo energético total es el mismo.

Figura 7.3 Equipo hibrido alimentado por energía AC y DC.

Los equipos alimentados por energía DC son recientes pero la mayoría sólo desempeñan una operación; ya sea como enfriadores o como congeladores además de que sus precios son elevados. Equipos como el mostrado en la figura 7.2 pueden funcionar sin baterías y dadas sus características aislantes, pueden "almacenar el frio" hasta por varios días. Sin embargo esta última propiedad hace que sea un equipo voluminoso y con poco espacio útil aunque su consumo energético es bajo y no es necesita de un arreglo fotovoltaico grande.

Un sistema como el 3 tiene una arquitectura "convencional" (enfriador/congelador), que puede ser alimentado tanto por corriente alterna como directa, lo que permite al usuario alimentar al sistema con energía fotovoltaica en todo momento que sea posible y utilizar sólo la REC por las noches o cuando no haya la suficiente radiación solar. De esta manera se limita el consumo de la REC y no se requiere de inversores ni conversores de corriente.

Método de evaluación

Se evaluarán las diferentes opciones presentadas desde dos perspectivas principales:

1. Evaluación desde el punto de vista económico.
2. Evaluación desde el punto de vista ecológico ambiental.

Dados los altos costos de la energía fotovoltaica, y la vida útil de los paneles fotovoltaicos que aproximadamente es de 20 años.
La mejor opción será aquella que represente:

a) Menores inversiones iniciales;
b) Menores costos de operación y mantenimiento,
c) Mayores ahorros en comparación con el sistema de referencia.
d) Además que sea la que utilice menos materiales tóxicos o contaminantes.

Comparación en base en la vida útil de los equipos en donde la mayoría de los fabricantes de ofrecen aproximadamente 10 años de vida útil por cual, este es el periodo de referencia. En cuanto a los proyectos de inversión correspondientes a la compra, operación y mantenimiento, se evalúan 10 periodos de un año cada uno.
Los equipos de refrigeración tienen una vida útil igual a la mitad de la que tienen los paneles fotovoltaicos, sin embargo el análisis de los mismos después de que termine el tiempo útil de los equipos queda fuera de los alcances de este trabajo.
Como proyectos de inversión, se hace la suposición de que el usuario hace una inversión inicial de ~$ 5 000.00 pesos para cualquiera de los sistemas y la parte restante de la inversión inicial se cubre mediante un crédito de un banco conocido (Banco BBV Bancomer 2010 [52]), el cual pone sus propios lineamientos y formas de pago para saldar la deuda que se adquiere.

Costos e ingresos asociados

Los costos para los diferentes sistemas se presentan primero como una tabla en la que se muestran los diferentes componentes y sus precios tanto en dólares como en pesos mexicanos. El sistema de referencia opera con energía eléctrica de la REC la cual se estima a un precio de venta de 0.20 USD por kW [53], y para las conversiones de los costos se estima un tipo de cambio de $ 13.00 pesos por dólar.

- **Sistema referencia**

Los costos del sistema referencia son los mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 7.1 Inversión inicial del sistema referencia.

Equipo convencional referencia				
Descripción		Precio unitario	Cantidad	Total USD
Equipo:	Convencional 8ft	300	1	$ 300.00
		SUB-TOTAL		$ 300.00
		IVA		$ 45.00
		TOTAL USD		$ 345.00
Paridad MNX/USD	$ 13.00	TOTAL MNX		$ 4485.00

Tabla 7.2 Costos de operación del sistema de referencia.

Equipo convencional referencia		
Precio de venta aproximado	345.00	USD
Precio de venta aproximado	4485.00	MNX
Vida útil estimada	10	Años
Consumo energético	260	kW/Año
Costo de operación anual	676.00	MNX

En la tabla 7.2 se aprecia el consumo de energía anual del equipo que se estima en $676.00 pesos/año. Y la vida útil estimada para este equipo es de 10 años lo que significa que el periodo once se debe de adquirir un nuevo equipo que se supone tendrá el mismo precio que el periodo cero. De esta manera los flujos de efectivo del proyecto quedan como sigue:

Flujos de efectivo

En lo siguiente se utilizaran los siguientes parámetros:

$P = valor\ presente$ $F = valor\ futuro$

$A = flujo\ nivelado$ $H = ingresos$

$G = gastos$ $i = tasa\ de\ interes$

$N = número\ de\ periodos$ $n = periodo$

Valor presente $P = \sum_{n=0}^{N}(H_n - G_n)/(1+i)^n$ donde $P \geq 0$

Cociente costo-beneficio $B/C = \frac{\sum_{n=0}^{N}\frac{H_n}{(1+i)^n}}{\sum_{n=0}^{N}\frac{G_n}{(1-i)^n}} \geq 1$

Tabla 7.3 Flujos de efectivo de sistema de referencia

		valor presente	**P=**	**-8,638.73**
		valor futuro	**F=**	**-58,117.04**
tasa de interés; i=	10.0%	flujo nivelado	**A=**	**-1,014.70**
períodos; N=	20	cociente B/C	**-(H/G)=**	**0.000**

Flujos de efectivo del proyecto								
	Gastos		**Ingresos**		**Flujo neto**			
	G	-8,638.73	**H**	0.00	**P**	-8,638.73	**valor presente**	
período		-58,117.04		0.00	**F**	-58117.04	**valor futuro**	
0	G_0	-4,485.00	H_0	0.00	J_0	-4,485.00	**Flujo nivelado**	
1	G_1	-676.00	H_1	0.00	J_1	-676.00	A_1	-1,014.70
2	G_2	-676.00	H_2	0.00	J_2	-676.00	A_2	-1,014.70
3	G_3	-676.00	H_3	0.00	J_3	-676.00	A_3	-1,014.70
4	G_4	-676.00	H_4	0.00	J_4	-676.00	A_4	-1,014.70
5	G_5	-676.00	H_5	0.00	J_5	-676.00	A_5	-1,014.70
6	G_6	-676.00	H_6	0.00	J_6	-676.00	A_6	-1,014.70
7	G_7	-676.00	H_7	0.00	J_7	-676.00	A_7	-1,014.70
8	G_8	-676.00	H_8	0.00	J_8	-676.00	A_8	-1,014.70
9	G_9	-676.00	H_9	0.00	J_9	-676.00	A_9	-1,014.70
10	G_{10}	-676.00	H_{10}	0.00	J_{10}	-676.00	A_{10}	-1,014.70

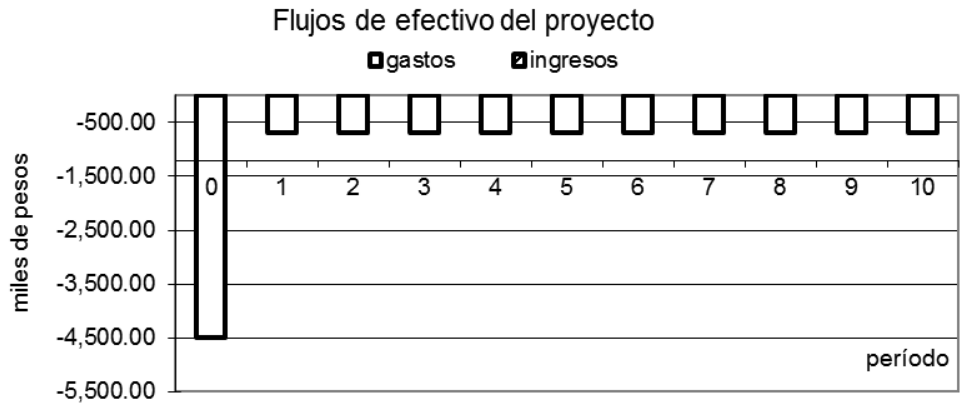

Figura 7.4 Grafica de los flujos de efectivo a lo largo de la vida del proyecto

- **Equipo convencional alimentado por un arreglo fotovoltaico**

Para conocer el costo de la inversión inicial, antes es necesario dimensionar la instalación FV que ha de suministrar la energía requerida.
En diversos manuales se menciona que un aparato como un equipo es de alta importancia y por ello se debe prever el que exista suficiente energía almacenada para aquellas situaciones extremas en las que no se pueda generar lo suficiente. Generalmente se recomienda dimensionar un banco de baterías que pueda suministrar electricidad hasta por tres días. El equipo tiene un consumo anual de 260kW por lo que el consumo diario es de ~713W/día.

Tabla 7.4 Dimensionamiento del banco de baterías.

[(Carga promedio diaria AC / Eficiencia de inversor) + Carga promedio diaria DC] / Voltaje de sistema DC = Promedio de Ah/día							
713		**0.7**		**0**		**12**	**84.88**
Promedio de Ah/día	x	# de días de autonomía	/	límite de descarga	/	capacidad de batería Ah	= baterías en paralelo
84.88		**3**		**0.3**		**115**	**9**
Voltaje de sistema DC	/	voltaje de batería	=	baterías en serie	x	baterías en paralelo	= total de baterías
12		**12**		**1**		**7**	**7**

En el dimensionamiento de baterías es importante conocer cuál es la carga diaria y cuál es la corriente necesaria para que el sistema opere. De la tabla 7.4 se sabe que para alimentar al equipo con una carga de 713 W/día y con una corriente promedio de 104.05 Ah/día, son necesarias 7 baterías conectadas en paralelo, que proveen la corriente y el voltaje necesarios para operar el sistema. En la misma tabla también se muestra el dato de la eficiencia del inversor de corriente que se estima en 70%, lo que aumenta el tamaño del banco de baterías y obviamente el costo del sistema.

Ya conocido el número de baterías se dimensiona el arreglo fotovoltaico, se sabe que el equipo necesita. Se necesitan generar 713 W diarios pero considerando que se debe de tener un "factor de seguridad", se decide utilizar un panel FV de 205 W/h, suponiendo que durante un día se tiene una radiación equivalente a 5 horas pico de máxima generación. Esto indica que en un día ideal se tendrá una generación de:

205 W/h x 5 horas = 1025 W

La energía generada es suficiente para operar el equipo durante un día solar (horas en las que se tiene luz solar); pero esta energía alimenta al banco de baterías por lo que se almacena para cuando sea requerida y el equipo a su vez se alimenta de la energía almacenada en las baterías por medio del inversor de corriente.

Tabla 7.5 Costo de inversión inicial del sistema de autonomía para un equipo convencional y costos fijos.

Equipo AC alimentado por instalación SOLAR				
Descripción		Precio unitario	Cantidad	Total USD
Equipo	Equipo Hibrido 8ft	$ 300	1	$ 300.00
Paneles solares	Kyocera KD205GX-LP 205W	$ 1065	1	$ 1065.00
Instalación FV		$ 50	1	$ 50.00
Inversor de corriente	Schumacher 1000W CD/CA.	$ 160	1	$ 160.00
Baterías	LTH L31T de 12 VCD, 115 A	$ 105	7	$ 775.00
		SUB-TOTAL		$ 2350.00
		IVA		$ 352.50
		TOTAL USD		$ 2702.50
Paridad MNX/USD	$ 13.00	TOTAL MNX		$ 35132.50

Costos de operación y mantenimiento de la instalación		
Mantenimiento anual	$ 300.00	MNX

Estructura del capital

Dado que el cliente aportará el primer año sólo ~$ 5 000.00 pesos, los porcentajes de las aportaciones quedan como sigue:

Tabla 7.6 Porcentajes de aportaciones usuario/banco.

Inversión y financiamiento			
Aportación inicial estimada por parte del usuario		$ 5000	MNX
		Usuario	Banco
	% aproximados	14%	86%
	$ 35132.50	$ 4918.55	$ 30213.95
Redondeo de aportaciones		**$ 5132.50**	**$ 30000.00**
Porcentajes de aportaciones reales		14.61%	85.39%

El financiamiento se hace por parte del banco Bancomer como parte de un crédito de nómina a las condiciones mostradas en el apartado A4 de los Anexos. Aquí, el banco impone una tasa de interés anual total del 36.8% por lo que estimando una tasa de interés ponderada del 35% y que además sea igual a la tasa aritmética, se calcula una tasa anual para la inversión de capital propio de 22.5%. En la tabla 8 muestran los pagos y las fracciones de capital.

Costo del capital

Tabla 7.7 Costo ponderado de capital.

	capital propio	**capital prestado**	**flujo equivalente**			
fracción	14.61%	85.39%	100%			
inversión	35132.50		35132.50			
tasa anual	24.5%	36.8%	**35.0%**	**ponderada**	**35.0%**	**aritmética**
plazo	20	3	20	**según el flujo**		

valor presente	5,132.500	30,000.000	34,349.602
1	-1,272.356	-18,116.433	-19,388.789
2	-1,272.356	-18,116.433	-19,388.789
3	-1,272.356	-18,116.433	-19,388.789
4	-1,272.356		-1,272.356
5	-1,272.356		-1,272.356
6	-1,272.356		-1,272.356
7	-1,272.356		-1,272.356
8	-1,272.356		-1,272.356
9	-1,272.356		-1,272.356
10	-1,272.356		-1,272.356

Flujos de efectivo

Tabla 7.8 Flujos de efectivo del proyecto.

			valor presente	P=	-31,245.50
			valor futuro	F=	-210,204.10
	tasa de interés; i=	10.0%	flujo nivelado	A=	-3,670.08
	períodos; N=	20	cociente B/C	-(H/G)=	0.217

Flujos de efectivo del proyecto								
	Gastos		Ingresos		Flujo neto			
	G	-39,884.23	H	8,638.73	P	-31,245.50	valor presente	
período		-268,321.13		58,117.04	F	-210204.10	valor futuro	
0	G_0	-5,132.50	H_0	4,485.00	J_0	-647.50	Flujo nivelado	
1	G_1	-13,785.87	H_1	676.00	J_1	-13109.87	A_1	-3,670.08
2	G_2	-13,387.20	H_2	676.00	J_2	-12711.20	A_2	-3,670.08
3	G_3	-13,387.20	H_3	676.00	J_3	-12711.20	A_3	-3,670.08
4	G_4	-300.00	H_4	676.00	J_4	376.00	A_4	-3,670.08
5	G_5	-300.00	H_5	676.00	J_5	376.00	A_5	-3,670.08
6	G_6	-300.00	H_6	676.00	J_6	376.00	A_6	-3,670.08
7	G_7	-300.00	H_7	676.00	J_7	376.00	A_7	-3,670.08
8	G_8	-300.00	H_8	676.00	J_8	376.00	A_8	-3,670.08
9	G_9	-300.00	H_9	676.00	J_9	376.00	A_9	-3,670.08
10	G_{10}	-300.00	H_{10}	676.00	J_{10}	376.00	A_{10}	-3,670.08

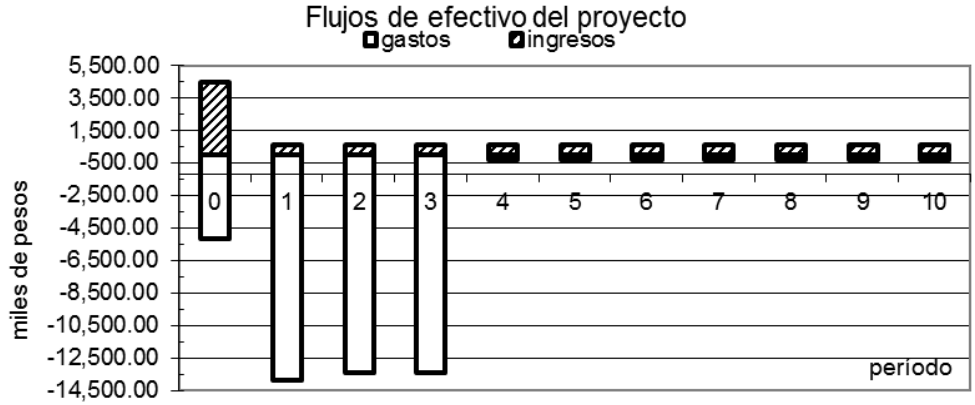

Figura 7.5 Gráfica de los flujos de efectivo del proyecto.

- **Equipo solar operado con energía CD (marca SunDanzer)**

En este caso sólo es necesario el dimensionamiento del arreglo fotovoltaico para lo cual el fabricante del equipo ya tiene una gráfica que indica de acuerdo a la temperatura ambiente de lugar donde se vaya a utilizar el equipo solar, el tamaño del arreglo FV necesario para alimentar al sistema. De esta manera, suponiendo que el equipo será instalado en una zona en donde se pueden llegar a alcanzar los 29°C en verano; de acuerdo a la gráfica de la figura 7.6, se tendría un consumo aproximado de 240 Wh/día para el equipo DCR225 de 8 cu.ft., y también de acuerdo esta potencia requerida puede satisfacerse con un arreglo de 80 W aproximadamente y para satisfacer la demanda de corriente diaria se dimensiona un arreglo de dos paneles de 40W conectados en paralelo.

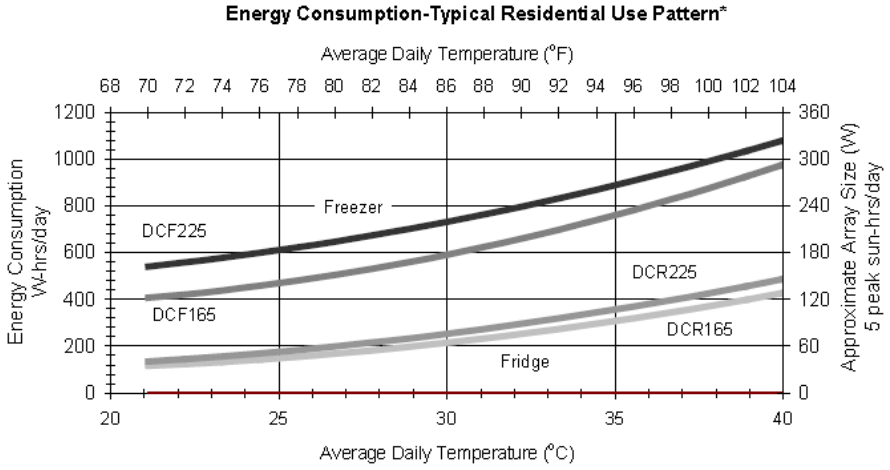

Figura 7.6 Gráfica para el dimensionamiento del arreglo fotovoltaico

Tabla 7.9 Tabla de componentes y costos iniciales.

Equipo DC alimentado por instalación SOLAR				
Descripción		Precio unitario	Cantidad	Total USD
Equipo	SunDanzer 8ft	$ 1550	1	$ 1550.00
Paneles solares	Kyocera KC40T, 40WP 12V	$ 230	2	$ 460.00
Instalación FV		$ 50	1	$ 50.00
		SUB-TOTAL		$ 2060.00
		IVA		$ 309.00
		TOTAL USD		$ 2369.00
Paridad MNX/USD	$ 13.00	TOTAL MNX		$ 30797.00

Costos de operación y mantenimiento de la instalación		
Mantenimiento anual	$ 300.00	MNX

También durante la vida del proyecto se requiere de un costo fijo anual por concepto de mantenimiento de la instalación FV

Este proyecto también sería financiado con un capital inicial propio de ~$ 5 000.00 pesos y el resto con un crédito sobre nómina.

Estructura del capital

Tabla 7.10 Porcentajes de aportaciones usuario/banco.

Inversión y financiamiento			
Aportación inicial estimada por parte del usuario		5000	MNX
		Usuario	Banco
	% aproximados	16%	84%
	$ 30797.00	$ 4927.52	$ 25869.48
Redondeo de aportaciones		**$ 4897.00**	**$ 25900.00**
Porcentajes de aportaciones reales		15.90%	84.10%

Con la tabla obtenida del banco se estiman los tres pagos anuales y con el monto total del crédito se calcula el costo ponderado del capital que para obtener una tasa anual ponderada igual a la aritmética e iguales a 35%, resulta la tasa anual de capital propio de 25.5% y las erogaciones que se deben realizar resultan ser tres de ~ $ 16 901.77 y siete de ~ $ 1 261.25.

Costo del capital

Tabla 7.11 Costo ponderado de capital.

	capital propio	**capital prestado**	**flujo equivalente**			
fracción	15.90%	84.10%	100%			
inversión	30797.00		30797.00			
tasa anual	25.5%	36.8%	**35.0%**	**ponderada**	**35.0%**	**aritmética**
plazo	20	3	20	**según el flujo**		
valor presente	**4,897.000**	**25,900.000**	**30,119.093**			
1	-1,261.248	-15,640.521	-16,901.768			
2	-1,261.248	-15,640.521	-16,901.768			
3	-1,261.248	-15,640.521	-16,901.768			
4	-1,261.248		-1,261.248			
5	-1,261.248		-1,261.248			
6	-1,261.248		-1,261.248			
7	-1,261.248		-1,261.248			
8	-1,261.248		-1,261.248			
9	-1,261.248		-1,261.248			
10	-1,261.248		-1,261.248			

Flujos de efectivo

Tabla 7.12 Flujos de efectivo del proyecto.

			Valor presente	**P=**	**-26,512.48**
			valor futuro	**F=**	**-178,362.71**
	tasa de interés; i=	10.0%	flujo nivelado	**A=**	**-3,114.15**
	períodos; N=	20	cociente B/C	**-(H/G)=**	**0.246**

Flujos de efectivo del proyecto						
Gastos		**Ingresos**		**Flujo neto**		
G	-35,151.21	**H**	8,638.73	**P**	-26,512.48	**valor presente**

período		-236,479.74		58,117.04	F	-178362.71	valor futuro	
0	G_0	-4,897.00	H_0	4,485.00	J_0	-412.00	Flujo nivelado	
1	G_1	-11,942.78	H_1	676.00	J_1	-11266.78	A_1	-3,114.15
2	G_2	-11,598.60	H_2	676.00	J_2	-10922.60	A_2	-3,114.15
3	G_3	-11,598.60	H_3	676.00	J_3	-10922.60	A_3	-3,114.15
4	G_4	-300.00	H_4	676.00	J_4	376.00	A_4	-3,114.15
5	G_5	-300.00	H_5	676.00	J_5	376.00	A_5	-3,114.15
6	G_6	-300.00	H_6	676.00	J_6	376.00	A_6	-3,114.15
7	G_7	-300.00	H_7	676.00	J_7	376.00	A_7	-3,114.15
8	G_8	-300.00	H_8	676.00	J_8	376.00	A_8	-3,114.15
9	G_9	-300.00	H_9	676.00	J_9	376.00	A_9	-3,114.15
10	G_{10}	-300.00	H_{10}	676.00	J_{10}	376.00	A_{10}	-3,114.15

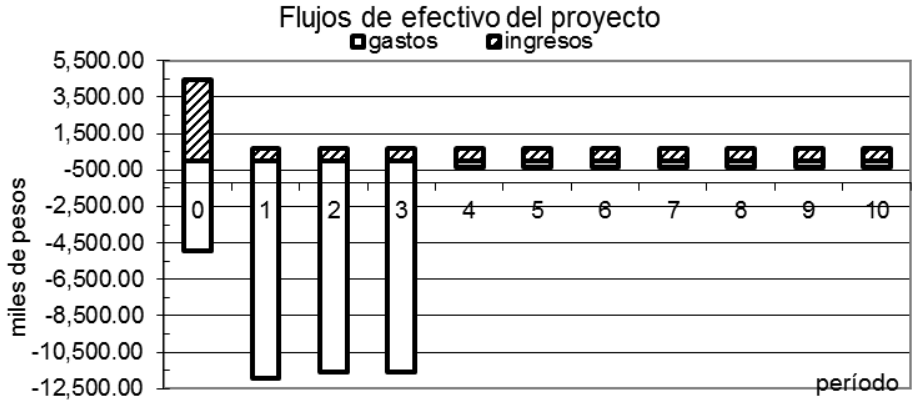

Figura 7.7 Grafica de flujos de efectivo.

- **Equipo hibrido alimentado por energía AC y DC**

Esta opción al igual que la del equipo solar, sólo requiere de una instalación fotovoltaica para poder alimentarse mediante energía DC, y una toma de energía eléctrica AC convencional que se considera ya establecida dentro del espacio donde se ocupará el equipo. La tabla 7.13 muestra el consumo del equipo hibrido, este sistema opera con 450 W/día, pero la instalación no contempla ningún tipo de almacenamiento eléctrico (baterías), por lo que habrá energía FV que no será utilizada. Entonces suponiendo que se utilizan dos tercios de la energía FV generada; los consumos del equipo quedan como indica la tabla 7.13.

Tabla 7.13 Consumo energético del equipo hibrido.

Consumo energético del equipo hibrido				
Total [W]	DC [W]	AC [W]	DC	AC
450	300	150	66.67%	33.33%
Consumo anual - kW	164.25		$ 109.50	$ 54.75
Costo de la energía USD			$ 21.90	$ 10.95
Costo de la energía MNX			$ 284.70	$ 142.35

Para este sistema se ha supuesto que podrían utilizarse 300 W de los 450 necesarios diariamente. A pesar de esto el arreglo FV se sobre-dimensiona y se planea el uso de dos paneles de 50W que aportan la corriente necesaria para la operación del equipo y son capaces de generar de manera ideal, 500 W por día.

Estructura del capital

Tabla 7.14 Costos e inversión inicial del proyecto

Equipo hibrido alimentado por energía DC y AC				
Descripción		Precio unitario	Cantidad	Total USD
Equipo	Equipo Hibrido 8ft	500	1	500.00
Paneles solares	Kyocera KC50T, 50WP 12V	$ 279	2	$ 558.00
Instalación FV		$ 50	1	$ 50.00
		SUB-TOTAL		$ 1108.00
		IVA		$ 166.20
		TOTAL USD		$ 1274.20
Paridad MNX/USD	$ 13.00	TOTAL MNX		$ 16564.60

Costos de operación y mantenimiento de la instalación		
Mantenimiento anual	$ 300.00	MNX

El financiamiento para este proyecto se provee de la misma manera que en los anteriores.

Tabla 7.15 Porcentajes de aportaciones usuario/banco.

Inversión y financiamiento			
Aportación inicial estimada por parte del usuario		$ 5000	MNX
		Usuario	Banco
	% aproximados	30%	70%
	$ 16564.60	$ 4969.38	$ 11595.22
Redondeo de aportaciones		**$ 4964.60**	$ 11600.00
Porcentajes de aportaciones reales		29.97%	70.03%

Costo del capital

Tabla 7.16 Costo ponderado de capital.

	capital propio	**capital prestado**	**flujo equivalente**			
fracción	29.97%	70.03%	100%			
inversión	16564.60		16564.60			
tasa anual	30.8%	36.8%	**35.0%**	**ponderada**	**35.0%**	**aritmética**
plazo	20	3	20	**según el flujo**		
valor presente	**4,964.600**	**11,600.000**	**16,257.335**			
1	-1,535.981	-7,005.021	-8,541.002			
2	-1,535.981	-7,005.021	-8,541.002			
3	-1,535.981	-7,005.021	-8,541.002			
4	-1,535.981		-1,535.981			
5	-1,535.981		-1,535.981			
6	-1,535.981		-1,535.981			
7	-1,535.981		-1,535.981			
8	-1,535.981		-1,535.981			
9	-1,535.981		-1,535.981			
10	-1,535.981		-1,535.981			

Flujos de efectivo

Tabla 7.17 Flujos de efectivo del proyecto.

			valor presente	P=	-11,790.09
			valor futuro	F=	-79,317.81
	tasa de interés; i=	10.0%	flujo nivelado	A=	-1,384.86
	períodos; N=	20	cociente B/C	-(H/G)=	0.423

Flujos de efectivo del proyecto								
		Gastos		Ingresos		Flujo neto		
	G	-20,428.82	H	8,638.73	P	-11,790.09	valor presente	
período		-137,434.85		58,117.04	F	-79317.81	valor futuro	
0	G_0	-4,964.60	H_0	4,485.00	J_0	-479.60	Flujo nivelado	
1	G_1	-5,680.62	H_1	676.00	J_1	-5004.62	A_1	-1,384.86
2	G_2	-5,502.75	H_2	676.00	J_2	-4826.75	A_2	-1,384.86
3	G_3	-5,502.75	H_3	676.00	J_3	-4826.75	A_3	-1,384.86
4	G_4	-442.35	H_4	676.00	J_4	233.65	A_4	-1,384.86
5	G_5	-442.35	H_5	676.00	J_5	233.65	A_5	-1,384.86
6	G_6	-442.35	H_6	676.00	J_6	233.65	A_6	-1,384.86
7	G_7	-442.35	H_7	676.00	J_7	233.65	A_7	-1,384.86
8	G_8	-442.35	H_8	676.00	J_8	233.65	A_8	-1,384.86
9	G_9	-442.35	H_9	676.00	J_9	233.65	A_9	-1,384.86
10	G_{10}	-442.35	H_{10}	676.00	J_{10}	233.65	A_{10}	-1,384.86

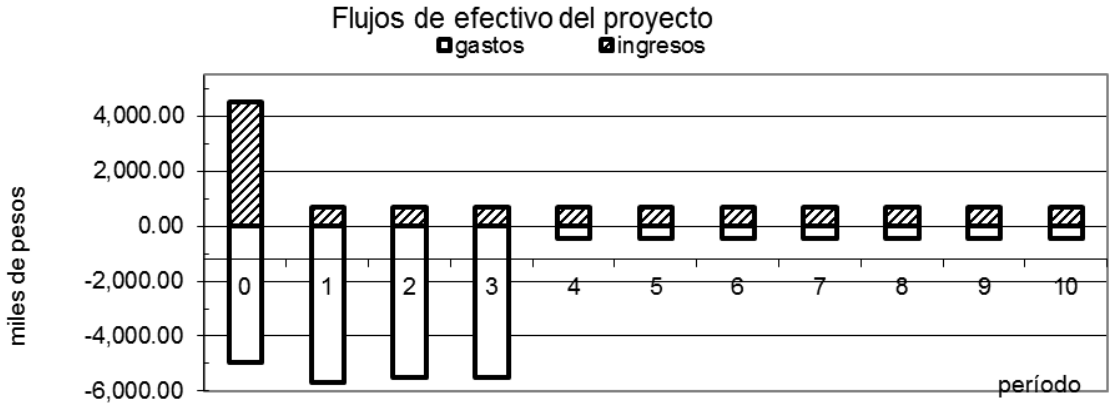

Figura 7.8 Grafica de flujos de efectivo.

Evaluación de los diferentes sistemas

La tabla 7.2 muestra los costos de operación del sistema de referencia, que para el caso de cualquiera de las alternativas de sistemas de refrigeración, estos costos de inversión inicial, operación y mantenimiento, representan los ahorros o más específicamente, representan los ingresos durante la vida del proyecto de inversión. Luego entonces, la columna de gastos representa la columna de ingresos en los demás casos.

Diferencias en cuanto a energía FV generada respecto a la energía de la REC

En este apartado se compara el costo de la instalación FV y la energía generada por la misma contra la misma cantidad de energía, si ésta se comprara a algún proveedor, que para el caso de México queda representado por la Comisión Federal de Electricidad (CFE). En las siguientes tablas, la casilla correspondiente al "Ahorro de instalación FV comparado con REC" resulta de la diferencia entre el costo de la instalación FV menos el costo de la energía comprada de la REC equivalente a la energía que el sistema FV puede generar.

En el capítulo 9 se muestran datos comparativos sobre los equipos aquí analizados y su relación con los diagramas comparativos desarrollados en el capítulo 7 de esta tesis. La relación entre un estudio de este tipo y los diagramas de desempeño no completamente funcional porque se manejan precios y costos aquí, que indirectamente pero sí existe una relación al considerar que todas las funciones de un equipo repercuten en el precio final y en los costos de operación y mantenimiento del mismo.

Capítulo 8

Resultados

Después de desarrollar distintos trabajos aparentemente poco relacionados como lo referente al sistema IDEF0 y el modelado estático que tiene mucho que ver con las teorías de diseño funcional; un análisis comparativo a los paneles fotovoltaicos y después a sistemas de conservación de alimentos; todos estos apartados convergen en un tema en común que es el de los sistemas de conservación de alimentos y por último un análisis de sistemas de conservación de alimentos que emplean la tecnología fotovoltaica para alimentarse.

Tabla 8.1. Tabla comparativa de los costos de la energía generada.

Costo de la energía generada	Unidades	Equipo convencional alimentado por un sistema FV	Equipo solar	Equipo hibrido DC/AC
Potencia Panel FV	W	205	40	50
Número de paneles	1	1	2	2
Horas Pico /día	hr	5	5	5
Energía generada FV	W/día	1025	400	500
Vida útil instalación FV	Años	10	10	10
Energía total durante vida útil	kW	3741.25	1460	1825
Costo instalación FV	USD	2357.5	586.5	699.2
Costo instalación FV	MNX	30647.5	7624.5	9089.6
Precio aproximado kW/h REC	USD	0.2	0.2	0.2
Precio aproximado MNX	MNX	2.6	2.6	2.6
Precio energía FV equivalente en REC	USD	748.25	292	365
Precio energía FV equivalente en REC	MNX	9727.25	3796	4745
Diferencia de la instalación FV comparado con REC	MNX	-20920.25	-3828.5	-4344.6

A partir del análisis de proyectos de inversión del capítulo anterior se presentan los resultados mostrados a partir de la tabla 8.1 en donde están los principales valores de los costos de la energía generada que sirven de referencia para una comparativa inicial. Los valores de la potencia de los paneles FV depende de la cantidad de energía que requiere cada sistema; las horas pico/día dependen de la localización geográfica pero ya que los tres equipos se suponen en la misma ubicación, el valor es el mismo. La vida útil de los equipos también se supone igual en los tres casos siendo de 10 años.

En la tabla 8.2 se muestran valores de referencia que sirven para realizar una comparación entre valores presentes, valores futuros y algunos parámetros como la tasa de interés del proyecto que se utilizó. Cualquiera de estas opciones no representa una inversión en la cual se puedan generar verdaderos ingresos. La comparación se hace para saber cuál de los sistemas se observa como la mejor opción a lo largo de su tiempo de vida.

Tabla 8.2. Tabla de parámetros de referencia.

Parámetros de comparación para los diferentes sistemas				
	REC	**AC-Solar**	**SunDanzer**	**Hibrido**
Inversiones iniciales ($MNX)	4485.00	35132.50	30797.00	16564.60
Costos fijos ($MNX)	0	300	300	300
Valor del crédito ($MNX)	0	30000.00	25900	11600.00
Tasa del capital prestado	0	36.80 %	36.80 %	36.80 %
Tasa del capital propio	0	24.48%	25.48%	30.79%
Tasa ponderada	0	35%	35%	35%
Tasa aritmética	0	35%	35%	35%
Diferencias por la energía generada ($MNX)	0	-20920.25	-3828.50	-4344.60
Consumo energético anual de la REC ($MNX)	6760	0	0	2847.00
Tasa de interés del proyecto	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
Número de periodos (años)	10	10	10	10
G Valor presente ($MNX)	-8,638.73	-39,884.23	-35,151.21	-20,428.82
H Valor presente ($MNX)	0.00	8,638.73	8,638.73	8,638.73
G Valor futuro ($MNX)	-58,117.04	-268,321.13	-236,479.74	-137,434.85
H Valor Futuro ($MNX)	0.00	58,117.04	58,117.04	58,117.04
Valor presente P ($MNX)	-8638.73	-31245.50	-26512.48	-11790.09
Valor futuro F ($MNX)	-58117.04	-210204.10	-178362.71	-79317.81
Anualidad A ($MNX)	-1014.70	-3670.08	-3114.15	-1384.86
B/C	0.00	0.22	0.25	0.42

De la tabla 8.2, el valor del parámetro B/C (beneficio/costo) resulta ser CERO, para el equipo referencia porque no existen ganancias. Para los demás equipos y sistemas de refrigeración B/C sí es mayos a cero pero no llega a UNO que sería el valor ideal para no tener "pérdidas", sin embargo no lo es ya que nunca se llega a recuperar la inversión.

- La relación B/C muestra la conveniencia de un equipo teniendo como mínimo cero y como máximo ideal, 1. De los tres sistemas, el equipo Hibrido obtiene un valor de 0.42 siendo el mejor de todos. Y esto indica que el adquirir un sistema de estos no se recuperará la inversión pero sí representa ahorros generales a comparación de si se eligiera alguno de los otros equipos.

- El equipo solar presenta una autonomía total porque no requiere consumo de electricidad de la REC y su consumo de 250W/día es menor a los 450 W/día del equipo híbrido y 1025 W/día del equipo convencional.

- El sistema de alimentación AC-Solar permite el uso de un equipo convencional más económico que los demás, sin embargo la inversión inicial es la más alta siendo de $ 35 132.50; el quipo solar requiere una inversión inicial de $ 30 797.00 solar; y el equipo híbrido es el más económico requiriendo $ 16 564.60.

- El costo inicial del equipo hibrido es el segundo más bajo de los sistemas analizados: equipo convencional $ 300.00; equipo híbrido $ 500.00 usd; equipo solar $ 1 550.00.

- En cuanto al uso de materiales tóxicos; la opción del sistema AC-Solar es el que utiliza estos componentes potencialmente tóxicos y contaminantes, porque utiliza un banco de baterías que generalmente son hechas con plomo y ácidos.

- El equipo solar y el hibrido utilizan el mismo tipo de compresor operado por corriente directa lo que les permite operar conectados directamente al panel FV sin embargo sus materiales aislantes son diferentes lo que afecta en los costos de operación y mantenimiento, siendo casi 50% más caros para el equipo híbrido.

- El equipo hibrido utiliza un gabinete como el del sistema de referencia, tiene congelador y enfriador, a diferencia del solar que sólo es enfriador o sólo congelador.

Entonces la opción del equipo hibrido para conseguir un sistema de refrigeración casi autónoma que reduzca el consumo de energía eléctrica de la REC es la mejor, en segundo lugar queda el sistema de refrigeración solar y en último lugar el sistema de equipo convencional e instalación FV.

Sistema Hibrido > Sistema-Solar > Sistema AC-Solar

Análisis de sensibilidad

Se realizó un análisis de sensibilidad para conocer la influencia de la tasa de interés del proyecto. Esto se hizo variando la tasa de interés en +/- 3%, +/- 6%, +/- 6% y aquí se muestran los resultados:

Tabla 8.3. Análisis de sensibilidad para la relación Beneficio/Costo.

B/C					
Variación del parámetro	Tasa de interés del proyecto	**REC**	**AC-Solar**	**SunDanzer**	**Hibrido**
-9%	9.10%	0	0.22	0.247	0.424
-6%	9.40%	0	0.217	0.246	0.424
-3%	9.70%	0	0.217	0.246	0.423
0%	**10 %**	**0.00**	**0.217**	**0.246**	**0.423**
+3%	10.30%	0	0.216	0.245	0.422
+6%	10.60%	0	0.216	0.245	0.422
+9%	10.90%	0	0.216	0.245	0.421

Tabla 8.4. Análisis de sensibilidad para el valor presente del proyecto.

P					
Variación del parámetro	Tasa de interés del proyecto	**REC**	**AC-Solar**	**SunDanzer**	**Hibrido**
-9%	9.10%	-8804.31	-31679.07	-26874.21	-11936.29
-6%	9.40%	-8747.99	-31533.6	-26752.9	-11887.34
-3%	9.70%	-8692.8	-31389.08	-26632.32	-11838.6
0%	**10.00 %**	**-8638.73**	**-31245.50**	**-26512.48**	**-11790.09**
+3%	10.30%	-8585.73	-31102.86	-26393.37	-11741.8
+6%	10.60%	-8533.79	-30961.17	-26274.98	-11693.73
+9%	10.90%	-8482.87	-30820.41	-26157.33	-11645.89

Tabla 8.5. Análisis de sensibilidad para el valor futuro del proyecto.

F					
Variación del parámetro	Tasa de interés del proyecto	**REC**	**AC-Solar**	**SunDanzer**	**Hibrido**
-9%	9.10%	-50256.26	-180828.73	-153401.89	-68134.1
-6%	9.40%	-52753.9	-190160.36	-161330.81	-71685.46
-3%	9.70%	-55372.28	.199945.25	-169645.21	-75410.7
0%	**10.00%**	**-58117.04**	**-210204.10**	**-178362.71**	**-79317.81**
+3%	10.30%	-60994.06	-220958.46	-187501.63	-83415.12
+6%	10.60%	-64009.49	-232230.83	-19781.12	-87711.32
+9%	10.90%	-67169.75	-244044.65	-207121.11	-92215.46

Tabla 8.6. Análisis de sensibilidad para la anualidad del proyecto.

A					
Variación del parámetro	Tasa de interés del proyecto	**REC**	**AC-Solar**	**SunDanzer**	**Hibrido**
-9%	9.10%	-971.36	-3495.1	-2964.98	-1316.91
-6%	9.40%	-985.78	-3553.41	-3014.69	-1339.54
-3%	9.70%	-1000.23	-3611.74	-3064.41	-1362.19
0%	**10.00 %**	**-1014.70**	**-3670.08**	**-3114.15**	**-1384.86**
+3%	10.30%	-1029.2	-3728.42	-3163.87	-1407.53
+6%	10.60%	-1043.73	-3786.73	-3213.59	-1430.21

+9%	10.90%	-1058.28	-3845.01	-3263.27	-1452.89

Los resultados del análisis de sensibilidad muestran que los valores de P, F, y A aumentan o disminuyen de acuerdo al valor de la tasa de interés, sin embargo no se muestra gran variabilidad. El valor de la relación B/C se comporta de forma inversa, este valor aumenta si la tasa de interés disminuye.
Al haber poca variabilidad en los parámetros, se consideran los demás parámetros en comparación como inversión inicial, costos de operación etc. Y de ahí que el sistema hibrido sea la mejor inversión porque tiene características de consumo y operación similares a las del equipo completamente solar pero sin el costo de éste último además de que cuenta con las funciones del equipo convencional, tabla 8.7.

Tabla 8.7. Comparación del consumo energético de un equipo convencional y uno hibrido de las mismas dimensiones.

Consumo de REC anual [kW]		
Equipo Convencional	260	100.00%
Equipo Hibrido	164.25	-36.83%

Tabla 8.8. Costos estimados para los sistemas de refrigeración alternativos al hibrido y éste último.

Costos estimados [USD]							
	Equipo	**Instalación solar**	**Costo Inicial**	**Mantenimiento**	**REC**	**Anualidad**	**B/C**
Sistema Hibrido	550	700	1250.00	23	11	34	44.80%
Sistema DC - Solar	1600	650	2250.00	23	0	23	26.47%
Sistema AC - Solar	345	2400	2745.00	23	0	23	23.36%

Una vez identificado el sistema hibrido como el más atractivo a partir de un análisis de inversión, se tiene la oportunidad de localizar la ubicación dentro de los diagramas comparativos antes desarrollados para una validación real.

Del capítulo anterior se tienen los consumos energéticos diarios como sigue:

Equipo convencional alimentado por energía AC: 712.33 [W/día]
Equipo solar alimentado por energía DC: 240 [W/día]
Equipo hibrido alimentado por energía AC/DC: 450 [W/día]

Los valores utilizados en la comparativa ahora serán los precios de cada equipo de conservación de alimentos y sus consumos.
Es importante mencionar que estos equipos no están contemplados dentro de los utilizados para desarrollas los diagramas comparativos por lo que se cuenta con suficiente información como para realizar una comparativa en todos los diagramas.
Las localizaciones de cada punto en los diagramas representando a cada sistema se da en la intersección delas líneas paralelas a cada eje, negras en el caso del equipo AC/DC, líneas rojas para el equipo convencional AC y líneas verdes para el equipo solar. En caso de que en el diagrama se muestren sólo líneas negras, esto significa que todos los equipos convergen en el mismo punto.

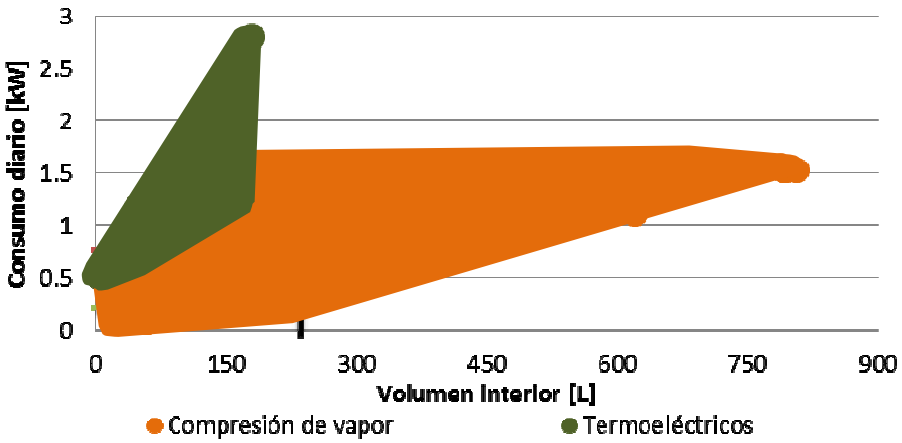

Figura 8.1. Comparación de Funciones [1] Vs. Precio [usd], entre equipos de compresión de vapor y equipos termoeléctricos.

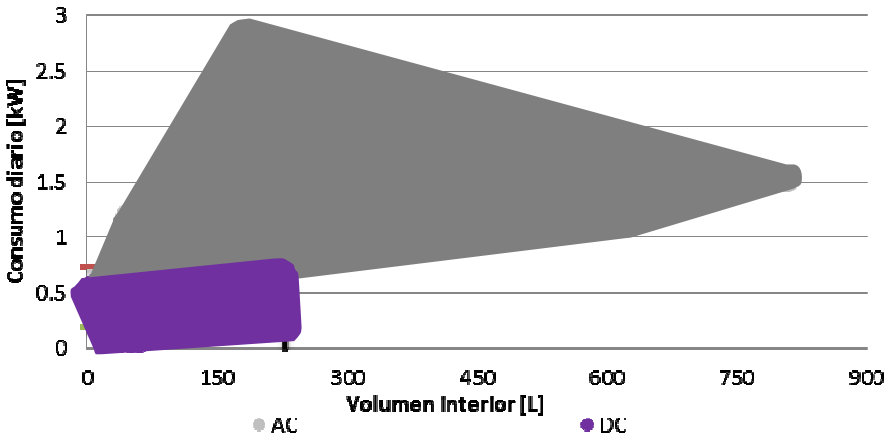

Figura 8.2. Comparación de Funciones [1] Vs. Precio [usd], entre equipos de alimentación AC y alimentación DC.

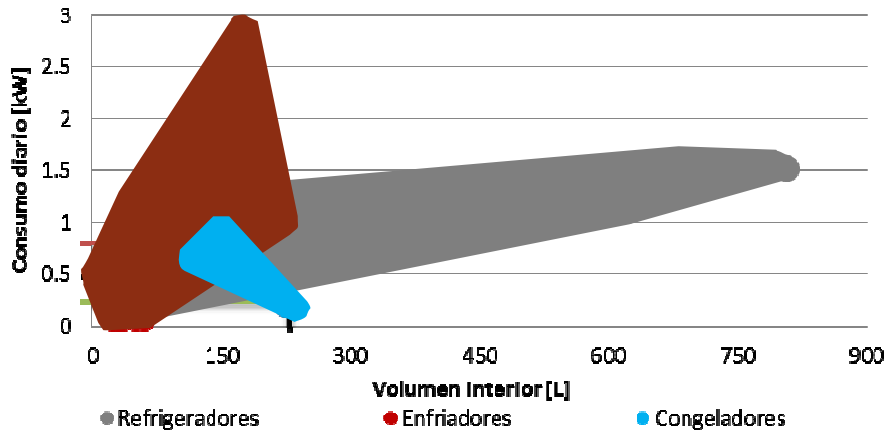

Figura 8.3. Comparación de Funciones [1] Vs. Precio [usd], entre equipos Refrigeradores, Enfriadores y Congeladores.

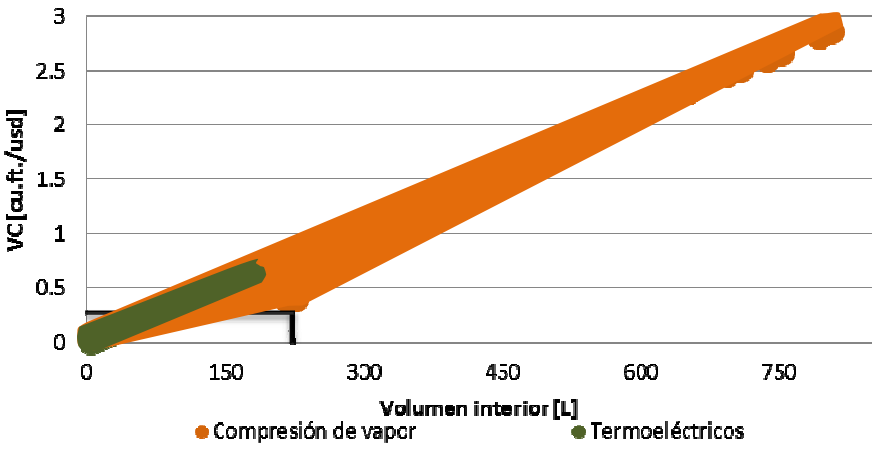

Figura 8.4. Comparación Volumen interior Vs. VC, entre equipos de compresión de vapor y equipos termoeléctricos.

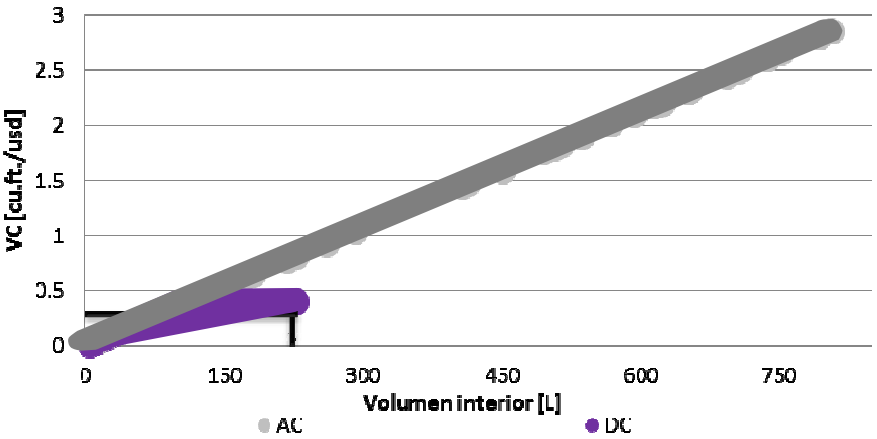

Figura 8.5. Comparación Volumen interior Vs. VC, entre equipos de alimentación AC y alimentación DC.

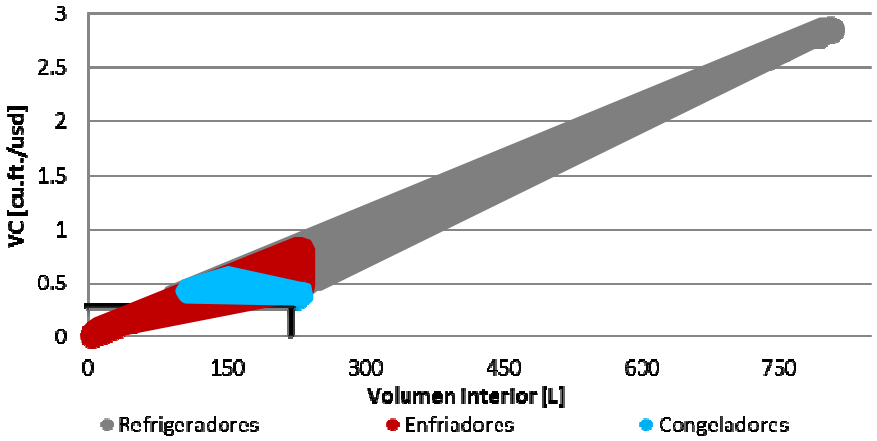

Figura 8.6. Comparación Volumen interior Vs. VC, entre equipos Refrigeradores, Enfriadores y Congeladores.

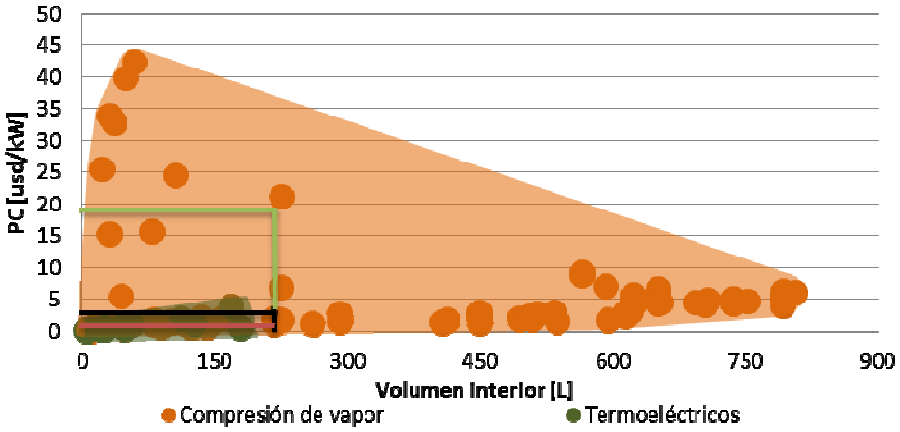

Figura 8.7. Comparación de Volumen interior Vs. PC, entre equipos de compresión de vapor y equipos termoeléctricos.

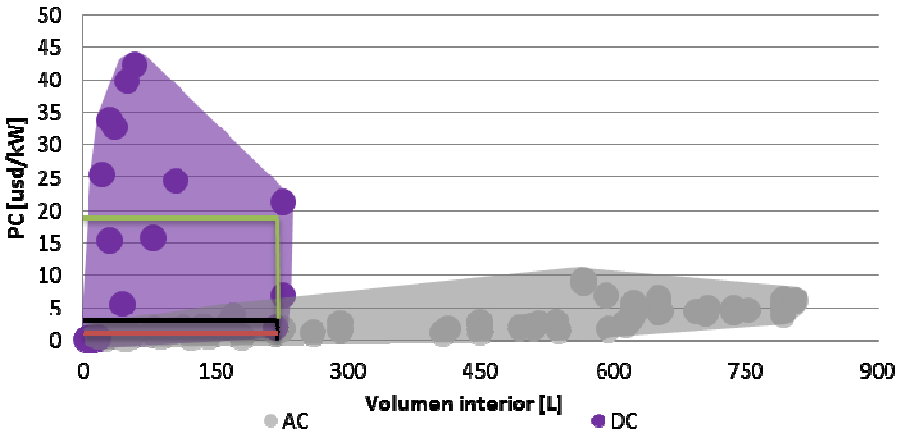

Figura 8.8. Comparación de Volumen interior Vs. PC, entre equipos de alimentación AC y alimentación DC.

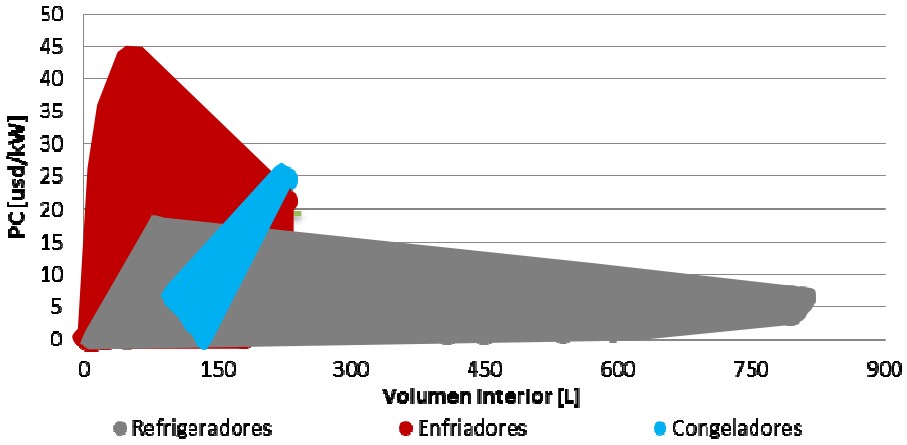

Figura 8.9. Comparación de Volumen interior Vs. PC, entre equipos Refrigeradores, Enfriadores y Congeladores.

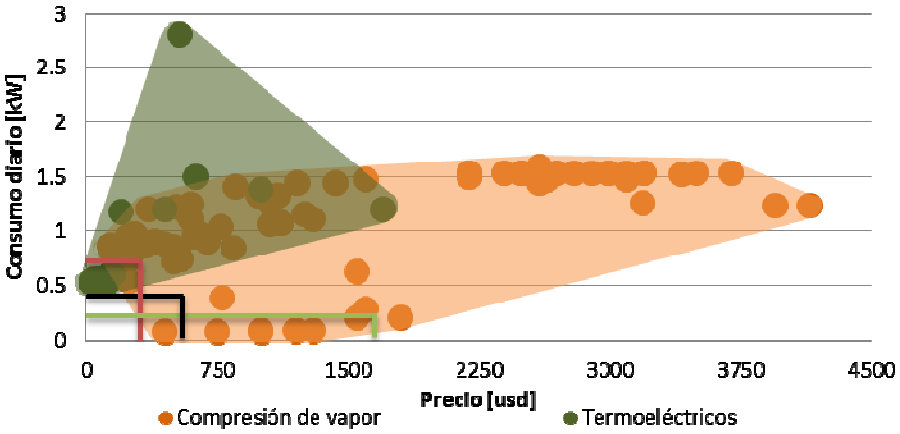

Figura 8.10. Comparación de Precio Vs. Consumo diario, entre equipos de compresión de vapor y equipos termoeléctricos.

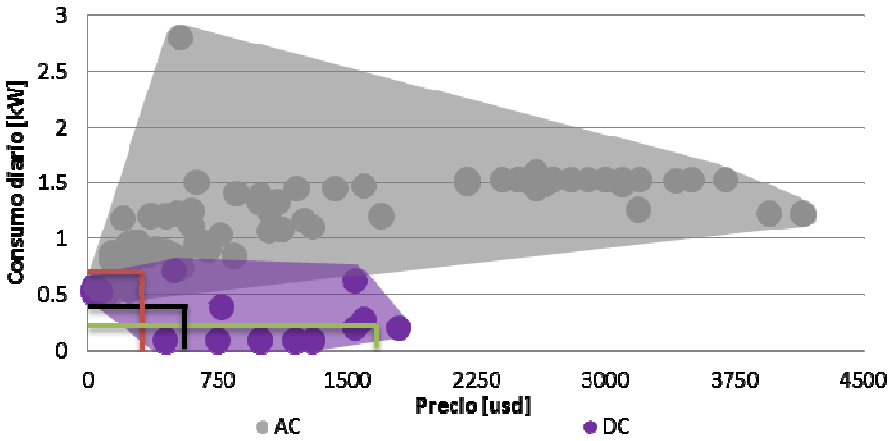

Figura 8.11. Comparación de Precio Vs. Consumo diario, entre equipos de alimentación AC y alimentación DC.

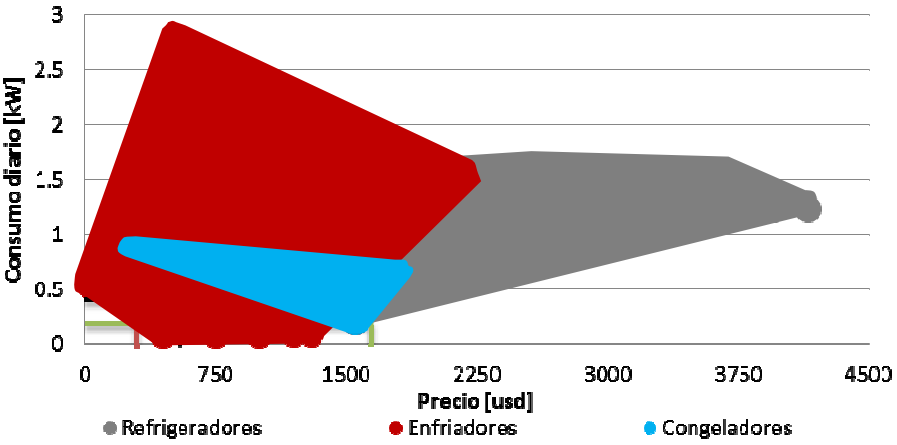

Figura 8.12. Comparación de Precio Vs. Consumo diario, entre equipos Refrigeradores, Enfriadores y Congeladores.

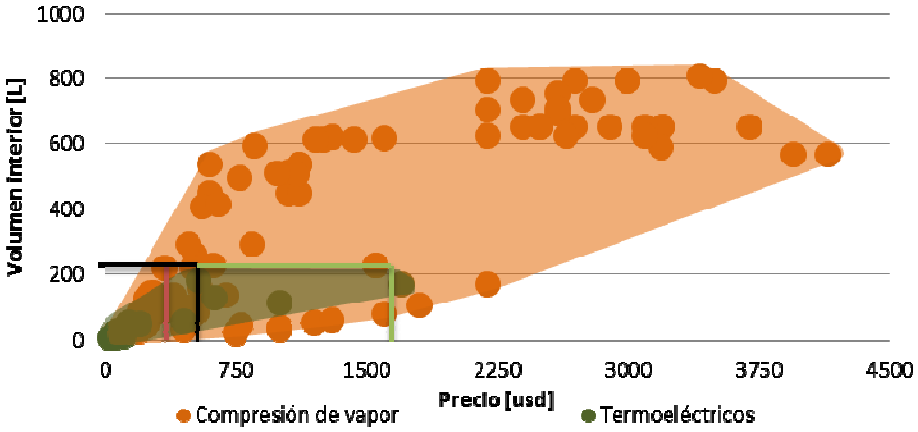

Figura 8.13. Comparación de Precio Vs. Volumen interior, entre equipos de compresión de vapor y equipos.

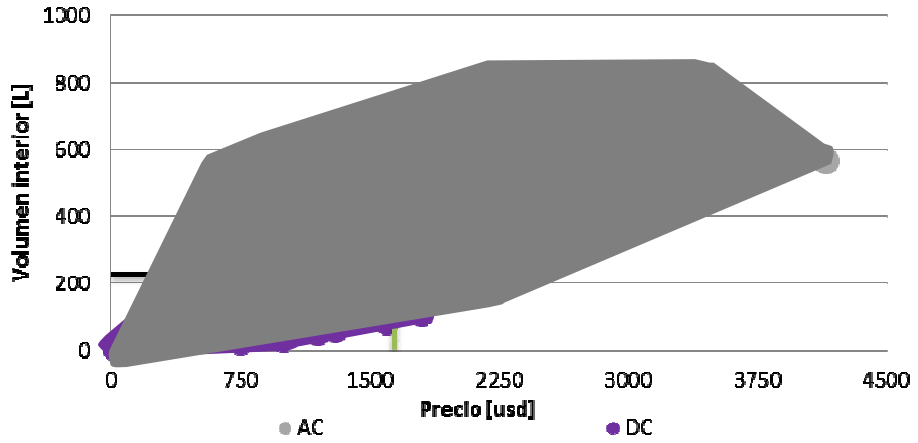

Figura 8.14. Comparación de Precio Vs. Volumen interior, entre equipos de alimentación AC y alimentación DC.

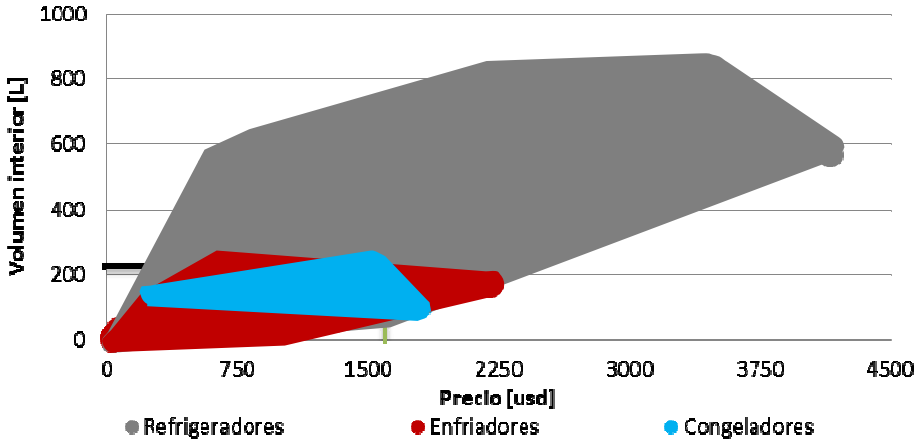

Figura 8.15. Comparación de Precio Vs. Volumen interior, entre equipos Refrigeradores, Enfriadores y Congeladores.

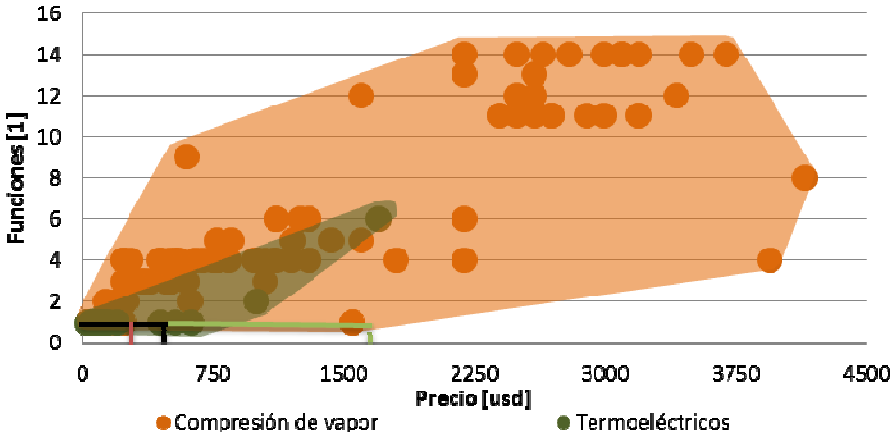

Figura 8.16. Comparación de Precio Vs. Funciones, entre equipos de compresión de vapor y equipos termoeléctricos.

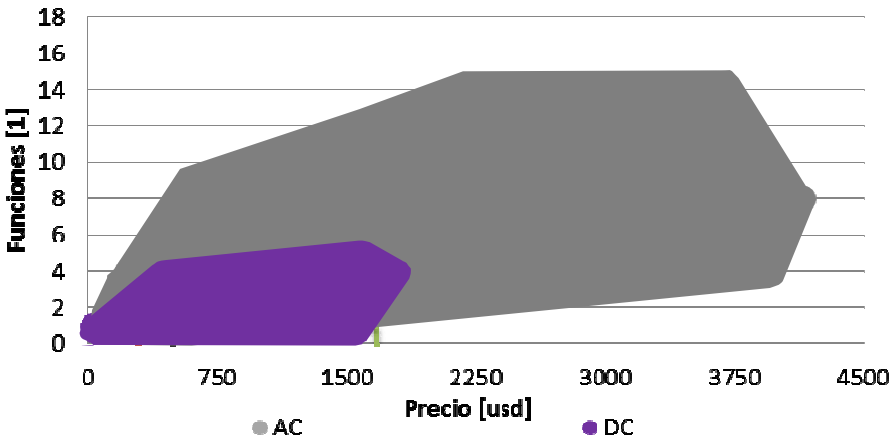

Figura 8.17. Comparación de Precio Vs. Funciones, entre equipos de alimentación AC y alimentación DC.

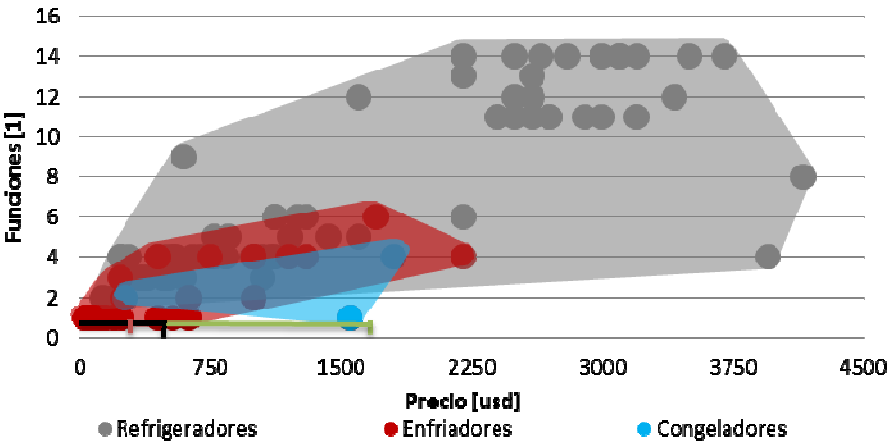

Figura 8.18. Comparación de Precio Vs. Funciones, entre equipos Refrigeradores, Enfriadores y Congeladores.

Los puntos definidos en la intersección de las líneas de color dentro de los diagramas comparativos representan el comportamiento de parámetros de los equipos analizados; los tres están dentro de las áreas definidas en los diagramas para equipos de compresión e vapor con algunas variaciones en su localización dentro de los otros diagramas.

Analizando el comportamiento del equipo hibrido AC/DC por ejemplo, identificado por la intersección de las líneas negras; en todos los casos presenta un comportamiento dentro de la región de los equipos de compresión de vapor. Su consumo energético es bajo lo que es particularmente bueno y que lo ubica dentro de la región de los equipos que consumen energía DC pero sin llegar a los precios de estos últimos. En cambio, el equipo convencional identificado por la intersección de líneas rosas en la mayoría de los diagramas se encuentra representado hacia el centro de las regiones lo que lo muestra como un equipo promedio.

Los diagramas muestran las regiones definidas por equipos cuya información puede ser conocida por cualquier persona que lo deseé sin embargo el desarrollo de diagramas con más datos los haría más precisos y podrían identificarse más parámetros para definir con mayor precisión a los productos.

Capítulo 9

Conclusiones

A partir de un proyecto para diseñar y desarrollar un nuevo sistema de conservación de alimentos que redujera el consumo de energía eléctrica, proyecto que representó una serie de oportunidades para adentrarse en diferentes áreas del conocimiento. Por un lado se partió del conocimiento de que estos equipos existían y que la tarea de conservar productos ya está cubierta pero se deseaba innovar en cuanto a la reducción de consumo lo que puso en el plano el concepto de *diseño comparativo* y como a partir de comparar productos existentes podría ayudar a crear una nueva idea o concepto de solución.

La sola idea de reducir el consumo energético y teniendo como referencia conceptos que han surgido y que han marcado el cambio de siglo como la sustentabilidad, cuidar el medio ambiente, cambio climático y demás conceptos a los que se recurre en la actualidad llamaron la atención del equipo de diseño y se inició una investigación en cuanto a la posibilidad del uso de energías alternativas como la solar o eólica. A la par, el proyecto requirió de una preparación técnica del equipo sobre sistemas térmicos y de refrigeración. Las técnicas de diseño estático y la aplicación de metodologías como IDEF0 ayudaron a simplificar el entendimiento de los sistemas de trasferencia de calor y su funcionamiento. Un nivel más profundo de análisis se logró empleando los conceptos de diseño funcional que ayudaron a identificar funciones específicas e importantes dentro del proceso de operación de los sistemas conservadores dejando en claro que gran parte de esa operación depende de pocas funciones y/o variables dando cabida a la relación entre estás y su posible representación; en donde para este estudio se utilizó una representación gráfica dentro de diagramas mostrando regiones donde es fácil notar y comparar el comportamiento de cada variable y su relación con otras, análogo a los diagramas que utilizó Michael Ashby para representar el comportamiento de propiedades mecánicas de materiales, mostrando en diagramas amigables para el usuario lo que de otra forma significaría utilizar infinidad de tablas y realizar cálculos matemáticos.

Los conceptos de diseño comparativo y diseño funcional tienen ya varias décadas de haberse concebido y haberse implementado como metodologías de diseño pero habiendo tantas metodologías como diseñadores hay, estos conceptos han evolucionado y hay quienes los engloban dentro de otras metodologías sin embargo estos son los conceptos base que seguirán siendo utilizados como referencia.

Por ejemplo, los conceptos de IDEF0 y su modelado estático no son metodologías de diseño pero sirven para visualizar y estratificar algunas de las funciones que debe realizar un sistema para satisfacer una necesidad, a partir de este punto de vista el diseño funcional tampoco es una metodología pero sirve aún más para identificar operaciones o

funciones clave dentro de un sistema y aplicando otras técnicas de diseño lograr un sistema simplificado, sin operaciones redundantes o innecesarias.

Aunque IDEF0 no provee información al mismo nivel que un estudio detallado de diseño funcional. Si es una gran herramienta práctica y funcional para detallar un sistema técnico.

Michael Ashby detalló de una forma asombrosa el comportamiento de propiedades mecánicas de diferentes materiales mostrando que algo tan técnico como el valor de un parámetro de un material no tenía por qué ser representado sólo en forma de tablas llenas de números sino que acercó conceptos de la mecánica de materiales a un público más grande aplicando sus conceptos también a la selección de materiales y al diseño mecánico propiamente.

Este trabajo pretende mostrar una metodología o serie de pasos para llevar un sistema de lo meramente técnico a un nivel en el que se pueda realizarse una visualización y más fácil entendimiento del comportamiento de tecnologías empleadas, en este caso por ejemplo, las tecnologías empleadas en los sistemas de conservación de alimentos.

La representación de los valores de potencias, voltajes y corrientes de los paneles solares sirvió como un primer ejercicio para tratar de representar valores de parámetros técnicos dentro de diagramas que mostraran sus diferencias de desempeño.

Una vez definido un proceso y la serie de pasos que se habían de seguir para llegar a la representación gráfica de un sistema técnico se eligió analizar un sistema de conservación de alimentos porque es un sistema con el cual la mayoría de las personas está familiarizado de alguna manera lo que también haría más simple el desarrollo del proceso y el final entendimiento de las representaciones que se habían de obtener.

Cada paso del proceso propuesto deja un aprendizaje para quien lo lleva a cabo y permite un mejor entendimiento de lo que significa el funcionamiento y la operación del sistema analizado. Todo el proceso puede realizarse por una sola persona pero nacido dentro de un equipo de diseño interdisciplinario, es más provechoso que todos los integrantes de un equipo ya sea de diseño o no, y principalmente cuando no todos tienen conocimientos técnicos previos porque así el equipo se apoya y logran una mejor comprensión de la operación del sistema y en caso de que se implemente un nuevo diseño, el trabajo realizado sirve como respaldo y para orientar el curso y la tendencia que ha seguir este.

Obviamente el equipo de diseño realizó cálculos teóricos para estimar un posible comportamiento y precio del equipo a largo plazo porque al ser un prototipo no reflejan fielmente sus características y comportamiento como producto fabricado en serie.

Las tablas de datos muestran información en una tabla general sin ser amigables, pero un simple ordenamiento de los datos y la identificación de parámetros de interés mostrados en la tabla comparativa ayudan a una mejor visualización de la información sin embargo cuando se manejan muchos datos, esa capacidad de visualización y comparación se pierde y es donde el desarrollo de diagramas comparativos se vuelve una opción mucho más útil para visualizar un gran número de datos.

Un diagrama comparativo puede no detallar por completo la información de donde proviene pero si es mucho más fácil y simple la visualización del comportamiento y las

tendencias que siguen en este caso, los equipos que emplean el ciclo de compresión de vapor o las celdas termoeléctricas por ejemplo; las tendencias que marcan los equipos alimentados por energía de corriente directa, DC y los alimentados por energía de corriente alterna, AC.

No necesariamente para el desarrollo de este trabajo escrito, pero si para el proyecto de diseño se llevó a cabo un análisis comparativo de distintos equipos conservadores analizándolos como proyectos de inversión que sirvió para investigar la viabilidad de llevar el prototipo final al mercado como un producto fabricado en serie. Con este estudio se confirmó que el objetivo de reducir el consumo eléctrico se cumplió por completo, principalmente el objetivo de disminuir el consumo eléctrico de la red eléctrica comercial. Pero también este estudio hizo notable que aún las tecnologías empleadas son costosas y se trata de un producto innovador sin embargo, el mercado actual aún no reúne las condiciones necesarias para que sea un producto exitoso. Por otro lado, el equipo nuevo fue fácilmente localizado dentro de los diagramas comparativos y el análisis de proyecto de inversión sirve para respaldar los diagramas dado que equipos reales fueron identificados y su comportamiento pudo ser comparado pudiendo mostrarse las áreas de oportunidad que cada sistema presentó.

El desarrollar este trabajo significó el investigar áreas de diseño referentes a aplicaciones meramente técnicas y sistemáticas, pero también áreas con tintes más enfocados a las ciencias sociales y no tanto a las ciencias duras, tendencias de diseño y filosofías cada una con un lema y una bandera distintos pero donde todas quieren expresar una forma para diseñar. Los diagramas comparativos surgen como una herramienta a ser usada por equipos de diseño principalmente multidisciplinarios tal que ayude a todo el equipo a poder hablar un mismo lenguaje y entender conceptos técnicos por quienes no tienen antecedentes de tal índole. En lo particular queda un prototipo funcional como testigo de este objetivo cumplido.

Anexos

A1. Tablas de datos de paneles fotovoltaicos

- a. Tabla A.1 Valores de los parámetros identificados para los paneles policristalinos.
- b. Tabla A.2 Valores de los parámetros identificados para los paneles monocristalinos.
- c. Tabla A.3 Valores de los parámetros identificados para los paneles amorfos. Tabla A.4 Variables de equipos con alimentación AC y ciclo de compresión de vapor.
- d. Tabla A-5 Valores de los parámetros identificados para los paneles amorfos.

A2. Breve reseña de la devolución de los sistemas de almacenamiento de alimentos

A3. Tablas de datos de equipos de conservación de alimentos

- a. Tabla A.6. Parámetros de equipos con alimentación AC y ciclo de compresión de vapor.
- b. Tabla A.7. Variables de equipos con alimentación DC y ciclo de compresión de vapor.
- c. Tabla A.8. Parámetros de equipos con alimentación DC y ciclo de compresión de vapor.
- d. Tabla A.9. Variables de equipos con alimentación AC y funcionamiento termoeléctrico.
- e. Tabla A.10. Parámetros de equipos con alimentación AC y funcionamiento termoeléctrico.
- f. Tabla A.11. Variables de equipos con alimentación DC y funcionamiento termoeléctrico.
- g. Tabla A.12. Parámetros de equipos con alimentación DC y funcionamiento termoeléctrico.

A4. Condiciones de financiamiento para análisis de inversión

- a. Tabla A.13 Condiciones del financiamiento por parte de un banco.
- b. Tabla A.14 Condiciones de financiamiento por parte del banco.
- c. Tabla A.15 Condiciones de financiamiento por parte del banco.

Tabla A.1 Valores de los parámetros identificados para los paneles policristalinos.

Marca	Modelo	Potencia Máxima (Pmax)	Voltaje de máxima potencia (Vmp)	Corriente de máxima potencia (Imp)	Voltaje de circuito abierto (Voc)	Corriente de corto circuito (Isc)
		W	V	A	V	A
Ningbo Solar	TPB 125X125-36-P 75W	75	17.2	4.36	21.4	4.77
	TPB 125X125-36-P 80W	80	17.4	4.6	21.6	4.97
	TPB 125X125-36-P 85W	85	17.6	4.83	21.8	5.17
	TPB 125X125-72-P 150W	150	34.4	4.36	42.8	4.77
	TPB 125X125-72-P 160W	160	34.8	4.6	43.2	4.97
	TPB 125X125-72-P 165W	165	35	4.72	43.4	5.17
	TPB 125X125-72-P 170W	170	35.2	4.83	43.6	5.17
	TPB 125X125-72-P 175W	175	35.4	4.95	43.8	5.26
	TPB 125X125-96-P 200W	200	45.6	4.39	57.4	4.91
	TPB 125X125-96-P 210W	210	46	4.57	57.8	5.05
	TPB 125X125-96-P 220W	220	46.4	4.74	58.2	5.18
	TPB 125X125-96-P 230W	230	46.8	4.92	58.6	5.3
	TPB 125X125-96-P 240W	240	47.2	5.08	59	5.43
	TPB 156X156-54-P 180W	180	25.7	7.02	32.4	7.7
	TPB 156X156-54-P 185W	185	25.8	7.17	32.5	7.82
	TPB 156X156-54-P 190W	190	25.9	7.34	32.6	7.95
	TPB 156X156-54-P 195W	195	26	7.5	32.7	8.07
	TPB 156X156-54-P 200W	200	26.1	7.67	32.8	8.2
	TPB 156X156-54-P 205W	205	26.2	7.83	32.9	8.31
	TPB 156X156-60-P 200W	200	28.5	7.02	36	7.7
	TPB 156X156-60-P 205W	205	28.6	7.17	36.1	7.81
	TPB 156X156-60-P 210W	210	28.7	7.32	36.2	7.92
	TPB 156X156-60-P 215W	215	28.8	7.47	36.3	8.04
	TPB 156X156-60-P 220W	220	28.9	7.62	36.4	8.16
	TPB 156X156-60-P 225W	225	29	7.76	36.5	8.26
	TPB 156X156-60-P 230W	230	29.1	7.91	36.6	8.37
	TPB 156X156-72-P 220W	220	33.8	6.51	42.8	7.29
	TPB 156X156-72-P 230W	230	34	6.77	43	7.5
	TPB 156X156-72-P 240W	240	34.2	7.02	43.2	7.7
	TPB 156X156-72-P 250W	250	34.4	7.27	43.4	7.89
	TPB 156X156-72-P 260W	260	34.6	7.52	43.6	8.07
	TPB 156X156-72-P 270W	270	34.8	7.76	43.8	8.26
	TPB 156X156-72-P 280W	280	35	8	44	8.43
	TPB 62.5X125/7-36-P4 5W	5	16.8	0.3	21.3	0.34
	TPB 62.5X125/6-36-P4 6W	6	16.8	0.35	21.3	0.4
	TPB 125X125/6-18-P2 6W-1	6	8.5	0.71	10.7	0.81
	TPB 125X125/4-18-P2 10W-1	10	8.7	1.15	10.9	1.3
	TPB 62.5X125/4-36-P4 10W	10	17.3	0.58	21.7	0.65
	TPB 125X125/4-36-P2 20W	20	17.3	1.15	21.8	1.3
	TPB 125X125/3-36-P3 25W	25	17.1	1.46	21.6	1.7
	TPB 125X125/2-36-P4 40W	40	17.3	2.3	21.8	2.6
BP Solar	REW350	50	17.5	2.9	21.8	3.2
	REW365	65	18	3.6	22.2	3.8
	REW375	75	17.3	4.3	21.8	4.7
	REW380	80	17.6	4.5	22.1	4.8
	REW3125	125	17.4	7.2	22	8.1
	REW3130	130	17.3	7.5	22	8.2
	REW3155	155	34.9	4.5	43.9	4.8
	REW3160	160	35.1	4.6	44.2	4.8
	REW3165	165	35.2	4.7	44.2	5.1
	REW3170	170	35.9	4.8	44.2	5.2
	REW3175	175	36	4.9	44.2	5.3
	BP365	65	17.6	3.7	22.1	4
	BP375	75	17.3	4.3	21.8	4.7
	BP380	80	17.6	4.5	22.1	4.8
	BP3125	125	17.4	7.2	22	8.1
	BP3130	130	17.3	7.5	22	8.2
	BP3155	155	34.9	4.5	43.9	4.8
	BP3160	160	35.1	4.6	44.2	4.8
	BP3165	165	35.2	4.7	44.2	5.1
	BP3170	170	35.9	4.8	44.2	5.2
	BP3175	175	36	4.9	44.2	5.3
	BP3210	210	28.9	7.3	36.1	8.2
	BP3220	220	29	7.6	36.2	8.4
	BP3230	230	29.2	7.9	36.4	8.7
GE	GEPVp-066-G	66	9	7	10.9	8.3
	GEPVp-205-G	205	27.2	7.6	33	8.2
	GEPVp-200-G	200	26.3	7.6	32.9	8.1
	GEPVp-205-M	205	27.2	7.6	33	8.2
	GEPVp-200-M	200	26.3	7.6	32.9	8.1

Marca	Modelo	Pmax [W]	Vmp [V]	Imp [A]	Voc [V]	Isc [A]
Sharp	ND-N2ECUC	142	19.92	7.13	25.24	7.84
	ND-198UC1	198	26.3	7.52	32.9	8.23
	ND-176UC1	176	23.42	7.52	29.28	8.22
	ND-72ERUC/ND-72ELUC	72	10.03	7.18	12.71	7.89
	NE-80EJEA	80	17.3	4.63	21.6	5.15
	ND-130UJF	130	17.4	7.5	21.9	8.2
	ND-123UJF	123	17.2	7.15	21.8	7.99
Kyocera	KD 210 GX-LPU	210	26.6	7.9	33.2	8.2
	KD 205 GX-LPU	205	26.6	7.71	33.2	
	KD 185 GX-LPU	185	23.6	7.84	29.5	
	KD 135 GX-LPU	135	17.7	7.63	22.1	
	KD 130 GX-LP	130	17.4	7.61		
	KD 210 GX-LP	210	17.4	7.9	21.9	8.2
	KD 205 GX-LP	205	17.4	7.71		
	KD 180 GX-LP	180	17.4	7.63		
	KD 135 GX-LP	135	17.4	7.63		
	KD 130 GX-LP	130	17.4	7.62		
	KC 200 GT	200	26.3	7.61	32.9	8.21
	KC 175 GT	175	23.6	7.42	29.2	8.09
	KC 130 TM	130	17.6	7.39	21.9	8.02
	KC 130 GT	130	17.6	7.39	21.9	8.02
	KC 85TS	87	17.4	5.02	21.7	5.34
	KC 85T	87	17.4	5.02	21.7	5.34
	KC 65T	65	17.4	3.75	21.7	3.99
	KC 50T	54	17.4	3.11	21.7	3.31
	KC 40T	43	17.4	2.48	21.7	2.65
	KS 20	20	17.4	1.16		
	KS 10	10	17.4	0.58		
	KS 5	5	17.4	0.29		
	KS 23	23	17.4	1.17		
	KS 1.4	1.4	8	0.18		
Mitsubishi	PV-UJ 235 GA6	235	30.5	7.71	36.8	8.49
	PV-UJ 230 GA6	230	30.2	7.62	36.6	8.39
	PV-UJ 225 GA6	225	30	7.5	36.4	8.3
	PV-UJ 218 G6	218	29.3	7.44	36.3	8.25
	PV-UJ 212 G6	212	29	7.31	36.1	8.13
	PV-UD 190 MF5	190	24.7	7.71	30.8	8.23
	PV-UD 185 MF5	185	24.4	7.58	30.6	8.13
	PV-UD 180 MF5	180	24.2	7.45	30.4	8.03
	PV-UD 175 MF5	175	23.9	7.32	30.2	7.93
	PV-UE 130 MF5N	130	17.4	7.47	21.9	8.05
	PV-UE 125 MF5N	125	17.3	7.23	21.8	7.9
	PV-UE 120 MF5N	120	17.2	6.99	21.6	7.75
	PV-UE 115 MF5N	115	17.1	6.75	21.5	7.6
	PV-MF185 UD4	185	24.4	7.58	30.6	8.13
	PV-MF180 UD4	180	24.2	7.45	30.4	8.03
	PV-MF175 UD5	175	23.9	7.32	30.2	7.93
	PV-MF170 UD5	170	23.7	7.19	29.9	7.83
	PV-MF130 UE4N	130	17.4	7.47	21.9	8.05
	PV-MF125 UE4N	125	17.3	7.23	21.8	7.9
	PV-MF120 UE4N	120	17.2	6.99	21.6	7.75
	PV-MF115 UE4N	115	17.1	6.75	21.5	7.6
	PV-EE130 MF5F	130	17.4	7.47	21.9	8.05
Canadian Solar	CS6A-150PE	150	23.1	6.5	28.8	7.12
	CS6A-160PE	160	23.1	6.92	28.9	7.51
	CS6A-170PE	170	23.2	7.33	29.2	7.85
	CS6P-170PE	170	28.7	5.93	35.8	6.62
	CS6P-180PE	180	28.7	6.26	35.9	6.98
	CS6P-190PE	190	28.8	6.6	36	7.33
	CS6P-200PE	200	28.9	6.93	36.2	7.67
REC Solar	REC205AE-US	205	27.2	7.6	36	8.3
	REC210AE-US	210	27.6	7.6	36.1	8.3
	REC215AE-US	215	28	7.7	36.3	8.3
	REC220AE-US	220	28.4	7.8	36.4	8.4
	REC225AE-US	225	28.8	7.8	36.6	8.4
	REC230AE-US	230	29.1	7.9	36.8	8.4
Evergreen	EC-94-G	94	16.7	5.63	21.3	6.86
	EC-102-G	102	16.7	6.11	21.3	7.32
	EC-110-G	110	17	6.47	21.3	7.48
	EC-15-G	115	17.1	6.73	21.3	7.62
	EC-120-G	120	17.6	6.82	21.5	7.68
	ES-B-180-fa1/fb1	180	17.1	10.5	21.3	11.6
	ES-B-190-fa1/fb1	190	17.4	10.9	21.5	12
	ES-B-195-fa1/fb1	195	17.6	11.1	21.7	12.1
	ES-A-200-fa3	200	18.1	11.1	22.6	11.8
	ES-A-205-fa3	205	18.2	11.3	22.7	11.9
	ES-A-210-fa3	210	18.3	11.5	22.8	12.1

Marca	Modelo	Pmax [W]	Vmp [V]	Imp [A]	Voc [V]	Isc [A]
Power Up	PowerUp 1	1	16.7	0.08	21	0.9
	PowerUp 2	2	17	0.15	21	0.17
	PowerUp 5	5	17	0.3	21	0.33
	PowerUp 10	10	17.3	0.58	21.3	0.66
	PowerUp 30	30	18	1.67	22.1	1.8
	BSP-1012LSS	10	17.3	0.58	21.3	0.66
	BSP-3012LSS	30	18.8	1.66	21.96	1.78
	BSP-2-7	2.5	7	0.43	8.54	0.47
	BSP-2012	20	17.3	1.2	21.7	1.3
	BSP4012	40	17.8	2.4	22.2	2.6
	BSP65-12	65	17.75	3.57	21.92	3.92
	BSP80-12	80	17.86	4.5	21.96	5.06
	XC1300	115	17.4	6.6	21.9	6.67
Centro Solar	S185P50 Excellent	185	24.1	7.68	30.65	8.09
	S190P50 Excellent	190	24.15	7.87	30.75	8.27
	S195P50 Excellent	195	24.2	8.06	30.85	8.45
	S185P50 Integration	85	24.1	7.68	30.65	8.09
	S190P50 Integration	190	24.15	7.87	30.75	8.27
	S155P50 Integration	195	24.2	8.06	30.85	8.45
	S220P60 Professional	220	28.55	7.69	36.25	8.26
	S225P60 Professional	225	28.6	7.87	36.32	8.37
	S230P60 Professional	230	28.65	8.03	36.39	8.48
	S235P60 Professional	235	28.7	8.19	36.46	8.59
	S240P60 Professional	240	28.75	8.35	36.53	8.7
	S185P50 Ultra	185	24.1	7.68	30.65	8.09
	S190P50 Ultra	190	24.15	7.87	30.75	8.27
	S195P50 Ultra	195	24.2	8.06	30.85	8.45

Tabla A.2 Valores de los parámetros identificados para los paneles monocristalinos.

Marca	Modelo	Pmax [W]	Vmp [V]	Imp [A]	Voc [V]	Isc [A]
		W	V	A	V	A
Ningbo Solar	TDB 125X125-36-P 75W	75	17.1	4.39	21.6	5.1
	TDB 125X125-36-P 80W	80	17.3	4.63	21.8	5.19
	TDB 125X125-36-P 85W	85	17.5	4.86	22	5.36
	TDB 125X125-72-P 150W	150	34.2	4.39	43.2	5.1
	TDB 125X125-72-P 160W	160	34.8	4.6	43.2	4.97
	TDB 125X125-72-P 165W	165	35	4.72	43.4	5.07
	TDB 125X125-72-P 170W	170	35.2	4.83	43.6	5.17
	TDB 125X125-72-P 175W	175	35.4	4.95	43.8	5.26
	TDB 125X125-72-P 180W	180	35.4	5.08	44.2	5.58
	TDB 125X125-96-P 200W	200	45.8	4.37	58.8	4.87
	TDB 125X125-96-P 210W	210	46.2	4.55	58.2	5.01
	TDB 125X125-96-P 220W	220	46.6	4.72	58.6	5.14
	TDB 125X125-96-P 230W	230	47	4.9	59	5.26
	TDB 125X125-96-P 240W	240	47.4	5.07	59.4	5.39
BP Solar	REW4160	160	35.4	4.5	44	5.1
	REW4165	165	34.3	4.8	43.7	5.4
	REW4170	170	35.6	4.8	44	5.3
	REW4175	175	35.4	4.9	44.3	5.5
	BP475	75	17.4	4.3	21.8	4.7
	BP480	80	17.2	4.7	22	5.1
	BP485	80	17.8	4.78	22.2	5.1
	BP4160	160	35.4	4.5	44	5.1
	BP4165	165	34.3	4.8	43.7	5.4
	BP4170	170	35.6	4.8	44	5.3
	BP4175	175	35.4	4.9	44.3	5.5
Sharp	NU-U235F1	235	30	7.84	37	8.6
	NU-U230F3	230	30	7.67	37	8.4
Conergy	PowerPlus 210M	210	28.49	7.44	34.44	8.14
	PowerPlus 215M	215	28.93	7.5	35.08	8.16
	PowerPlus 220M	220	29.37	7.56	35.73	8.18
	PowerPlus 225M	225	29.79	7.62	36.33	8.2
	PowerPlus 230M	230	30.14	7.68	37.03	8.22
	P170M	170	35.9	4.74	44.5	5.12
	P175M	175	36	4.86	44.8	5.17
	P180M	180	36	5	45	5.2
	SR05-170	170	36.1	4.71	43.3	5
Centrosolar	S185M50 Excellent	185	24.1	7.68	30.4	8.15
	S190M50 Excellent	190	24.15	7.87	30.5	8.33
	S195M50 Excellent	195	24.2	8.06	30.6	8.51
	S210M60 Professional	210	28.45	7.38	36.11	8.02
	S215M60 Professional	215	28.5	7.55	36.18	8.14
	S220M60 Professional	220	28.55	7.69	36.25	8.26
	S225M60 Professional	225	28.6	7.87	36.32	8.37

	S230M60 Professional	230	28.65	8.03	36.39	8.48
	S235M60 Professional	235	28.7	8.19	36.46	8.59
	S240M60 Professional	240	28.75	8.35	36.53	8.7
	S190M50 Ultra	190	24.15	7.87	30.5	8.33
	S195M50 Ultra	195	24.2	8.06	30.6	8.51
	S200M50 Ultra	200	24.25	8.25	30.7	8.69

Tabla A.3 Valores de los parámetros identificados para los paneles amorfos.

Marca	Modelo	Pmax [W]	Vmp [V]	Imp [A]	Voc [V]	Isc [A]
		W	V	A	V	A
Q-Cells SE	SL1-70	70	54.7	1.34	71.1	1.58
	SL1-75	75	56.9	1.37	72.3	1.58
	SL1-80	80	57.7	1.42	72.8	1.6
	SL1-85	85	59.1	1.45	73.5	1.6
	SL1-90	90	60.4	1.49	74.3	1.6
	SL2-95	95	68	1.4	87.5	1.56
	SL2-100	100	70.3	1.42	89.2	1.57
	SL2-105	105	72.6	1.45	91	1.6
	SL2-110	110	74.9	1.47	92.8	1.61
	SL2-115	115	77	1.49	94.7	1.61
Sharp	NA-V142H5	142	192	0.74	249	0.89
	NA-V135H5	135	188	0.72	249	0.87
	NA-V128H5	128	186	0.69	238	0.85
	NA-V121H5	121	180	0.67	238	0.83
	NA-V115H5	115	174	0.66	238	0.81
	NA-V128H1	128	186	0.69	238	0.85
	NA-V121H1	121	180	0.67	238	0.83
	NA-V115H1	115	174	0.66	238	0.81
Kaneka	G-EA060	60	67	0.9	91.8	1.19
	G-SA060	60	67	0.9	91.8	1.19
	T-EC120	120	67	1.8	91.8	2.38
	T-ED120	120	67	1.8	91.8	2.38
	T-SC120	120	67	1.8	91.8	2.38
	T-SD120	120	67	1.8	91.8	2.38
	P-LE056	55	16.5	3.33	23	4.68
Sanyo	HIP-210NKHB5	210	41.3	5.09	50.9	5.57
	HIP-205NKHB5	205	40.7	5.05	50.3	5.54
	HIP-195BKB5	195	55.3	3.53	68.1	3.79
	HIP-186BA20	186	54.4	3.42	67	3.71
	HIP-186BA19	186	54.4	3.42	67	3.71
	HIP-190BA19	190	54.8	3.47	67.5	3.75
	HIP-190BA20	190	54.8	3.47	67.5	3.75
	HIP-195BA20	195	55.3	3.53	68.1	3.79
	HIP-195BA19	195	55.3	3.53	68.1	3.79
	HIP-200BA20	200	55.8	3.59	68.7	3.83
	HIP-200BA19	200	55.8	3.59	68.7	3.83
	HIP-205BA19	205	56.7	3.62	68.8	3.84
	HIP-205BA20	205	56.7	3.62	68.8	3.84
	HIP-205NKHA6	205	40.7	5.05	50.3	5.54
	HIP-210NKHA6	210	41.3	5.09	50.9	5.57
	HIP-210NKHA5	210	41.3	5.09	50.9	5.57
	HIP-215NKHA5	215	42	5.13	51.6	5.61
	HIP-190DA3	190	55.3	3.44	68.1	3.7
	HIP-195DA3	195	55.8	3.5	68.7	3.73
Centro Solar	TFM288FB Professional	144	33	4.36	46.2	5.3
	TFM288RG Professional	144	33	4.36	46.2	5.3
	TF144 Professional	144	33	4.36	46.2	5.3

Tabla A-4 Valores de los parámetros identificados para los paneles monocristalinos.

Marca	Modelo	Pmax [W]	Vmp [V]	Imp [A]	Voc [V]	Isc [A]
		W	V	A	V	A
Ningbo Solar	TDB 125X125-36-P 75W	75	17.1	4.39	21.6	5.1
	TDB 125X125-36-P 80W	80	17.3	4.63	21.8	5.19
	TDB 125X125-36-P 85W	85	17.5	4.86	22	5.36
	TDB 125X125-72-P 150W	150	34.2	4.39	43.2	5.1
	TDB 125X125-72-P 160W	160	34.8	4.6	43.2	4.97
	TDB 125X125-72-P 165W	165	35	4.72	43.4	5.07
	TDB 125X125-72-P 170W	170	35.2	4.83	43.6	5.17
	TDB 125X125-72-P 175W	175	35.4	4.95	43.8	5.26
	TDB 125X125-72-P 180W	180	35.4	5.08	44.2	5.58
	TDB 125X125-96-P 200W	200	45.8	4.37	58.8	4.87
	TDB 125X125-96-P 210W	210	46.2	4.55	58.2	5.01
	TDB 125X125-96-P 220W	220	46.6	4.72	58.6	5.14
	TDB 125X125-96-P 230W	230	47	4.9	59	5.26
	TDB 125X125-96-P 240W	240	47.4	5.07	59.4	5.39
[illegible]	REW4160	160	35.4	4.5	44	5.1

	REW4165	165	34.3	4.8	43.7	5.4
	REW4170	170	35.6	4.8	44	5.3
	REW4175	175	35.4	4.9	44.3	5.5
	BP475	75	17.4	4.3	21.8	4.7
	BP480	80	17.2	4.7	22	5.1
	BP485	80	17.8	4.78	22.2	5.1
	BP4160	160	35.4	4.5	44	5.1
	BP4165	165	34.3	4.8	43.7	5.4
	BP4170	170	35.6	4.8	44	5.3
	BP4175	175	35.4	4.9	44.3	5.5
Sharp	NU-U235F1	235	30	7.84	37	8.6
	NU-U230F3	230	30	7.67	37	8.4
Conergy	PowerPlus 210M	210	28.49	7.44	34.44	8.14
	PowerPlus 215M	215	28.93	7.5	35.08	8.16
	PowerPlus 220M	220	29.37	7.56	35.73	8.18
	PowerPlus 225M	225	29.79	7.62	36.33	8.2
	PowerPlus 230M	230	30.14	7.68	37.03	8.22
	P170M	170	35.9	4.74	44.5	5.12
	P175M	175	36	4.86	44.8	5.17
	P180M	180	36	5	45	5.2
	SR05-170	170	36.1	4.71	43.3	5
Centrosolar	S185M50 Excellent	185	24.1	7.68	30.4	8.15
	S190M50 Excellent	190	24.15	7.87	30.5	8.33
	S195M50 Excellent	195	24.2	8.06	30.6	8.51
	S210M60 Professional	210	28.45	7.38	36.11	8.02
	S215M60 Professional	215	28.5	7.55	36.18	8.14
	S220M60 Professional	220	28.55	7.69	36.25	8.26
	S225M60 Professional	225	28.6	7.87	36.32	8.37
	S230M60 Professional	230	28.65	8.03	36.39	8.48
	S235M60 Professional	235	28.7	8.19	36.46	8.59
	S240M60 Professional	240	28.75	8.35	36.53	8.7
	S190M50 Ultra	190	24.15	7.87	30.5	8.33
	S195M50 Ultra	195	24.2	8.06	30.6	8.51
	S200M50 Ultra	200	24.25	8.25	30.7	8.69

Tabla A-5 Valores de los parámetros identificados para los paneles amorfos.

Marca	Modelo	Pmax [W]	Vmp [V]	Imp [A]	Voc [V]	Isc [A]
		W	V	A	V	A
Q-Cells SE	SL1-70	70	54.7	1.34	71.1	1.58
	SL1-75	75	56.9	1.37	72.3	1.58
	SL1-80	80	57.7	1.42	72.8	1.6
	SL1-85	85	59.1	1.45	73.5	1.6
	SL1-90	90	60.4	1.49	74.3	1.6
	SL2-95	95	68	1.4	87.5	1.56
	SL2-100	100	70.3	1.42	89.2	1.57
	SL2-105	105	72.6	1.45	91	1.6
	SL2-110	110	74.9	1.47	92.8	1.61
	SL2-115	115	77	1.49	94.7	1.61
Sharp	NA-V142H5	142	192	0.74	249	0.89
	NA-V135H5	135	188	0.72	249	0.87
	NA-V128H5	128	186	0.69	238	0.85
	NA-V121H5	121	180	0.67	238	0.83
	NA-V115H5	115	174	0.66	238	0.81
	NA-V128H1	128	186	0.69	238	0.85
	NA-V121H1	121	180	0.67	238	0.83
	NA-V115H1	115	174	0.66	238	0.81
Kaneka	G-EA060	60	67	0.9	91.8	1.19
	G-SA060	60	67	0.9	91.8	1.19
	T-EC120	120	67	1.8	91.8	2.38
	T-ED120	120	67	1.8	91.8	2.38
	T-SC120	120	67	1.8	91.8	2.38
	T-SD120	120	67	1.8	91.8	2.38
	P-LE056	55	16.5	3.33	23	4.68
Sanyo	HIP-210NKHB5	210	41.3	5.09	50.9	5.57
	HIP-205NKHB5	205	40.7	5.05	50.3	5.54
	HIP-195BKB5	195	55.3	3.53	68.1	3.79
	HIP-186BA20	186	54.4	3.42	67	3.71
	HIP-186BA19	186	54.4	3.42	67	3.71
	HIP-190BA19	190	54.8	3.47	67.5	3.75
	HIP-190BA20	190	54.8	3.47	67.5	3.75
	HIP-195BA20	195	55.3	3.53	68.1	3.79
	HIP-195BA19	195	55.3	3.53	68.1	3.79
	HIP-200BA20	200	55.8	3.59	68.7	3.83
	HIP-200BA19	200	55.8	3.59	68.7	3.83
	HIP-205BA19	205	56.7	3.62	68.8	3.84
	HIP-205BA20	205	56.7	3.62	68.8	3.84
	HIP-205NKHA6	205	40.7	5.05	50.3	5.54

	HIP-210NKHA6	210	41.3	5.09	50.9	5.57
	HIP-210NKHA5	210	41.3	5.09	50.9	5.57
	HIP-215NKHA5	215	42	5.13	51.6	5.61
	HIP-190DA3	190	55.3	3.44	68.1	3.7
	HIP-195DA3	195	55.8	3.5	68.7	3.73
Centro Solar	TFM288FB Professional	144	33	4.36	46.2	5.3
	TFM288RG Professional	144	33	4.36	46.2	5.3
	TF144 Professional	144	33	4.36	46.2	5.3

A2. Breve reseña de la devolución de los sistemas de almacenamiento de alimentos

Antes de que los sistemas de refrigeración mecánica como los conocemos hoy día, la gente mantenía sus alimentos fríos con hielo o nieve, no importaba si eran encontrados localmente o traídos de las montañas o tierras lejanas. Las primeras bodegas eran agujeros excavados en el suelo y cubiertos con madera y paja y cubiertos por hielo y nieve; este era el único concepto de refrigeración conocido durante épocas. Ahora la *refrigeración* se entiende como el proceso de remover calor de un espacio cerrado o de una sustancia, para bajar su temperatura [22].

El preservar los alimentos no siempre ha sido fácil. Hace siglos, la gente reunía hielo de ríos y arroyos o nieve y hacía sus mejores esfuerzos para almacenarlo el mayor tiempo dentro de gabinetes para hielo o bodegas y así tener provisiones para mantener sus alimentos fríos. Incluso con hielo, la gente, en ocasiones se limitaba a consumir alimentos o productos locales que tenían que ser comprados y consumidos diariamente.

Los egipcios, chinos e indios son algunas de las culturas que primero utilizaron el hielo para conservar los alimentos. En 1626, Sir Francis Bacon pensó que el frío podía ser utilizado también para preservar la carne, aunque el experimentar sus ideas lo llevó a contraer neumonía de la que murió un "domingo de resurrección" el 9 de abril de 1626 [23].

También los egipcios fueron de las primeras culturas en emplear el proceso de salación de alimentos, principalmente para la conservación de carnes, aunque los alimentos duraban por más tiempo, los sabores y las texturas cambiaban [24].

De acuerdo con la Asociación de Manufactureros de Electrodomésticos (AHAM), uno de los pasos siguientes entre almacenar hielo en el subsuelo y los refrigeradores modernos, fueron las cajas de hielo. Introducidas en el siglo 19 en Inglaterra, cajas de madera recubiertas con estaño o zinc y rellenas de aserrín, algas y otros materiales para evitar que el hielo se derritiera; con charolas de goteo que captaban el agua de deshielo y que tenían que ser vaciadas diariamente[23].

El primer equipo de refrigeración artificial conocido fue mostrado por William Cullen en la Universidad de Glasgow en 1748. Sin embargo, él no utilizó su descubrimiento para un propósito práctico. En 1805, un inventor estadounidense, Oliver Evans diseño la primera máquina de refrigeración. Aunque la primera máquina fue construida por Jacob Perkins en 1834; ésta utilizaba éter en un ciclo de compresión de vapor. El medico estadounidense John Gorrie construyó un refrigerador basado en el diseño de Oliver Evans en 1844 para fabricar hielo y enfriar aire para sus pacientes de fiebre amarilla. En 1859 el francés Ferdinand Carré creó un sistema más avanzado que utilizaba amoniaco como gas refrigerante, eficiente pero tóxico. Finalmente el ingeniero alemán Carl Von Linden no patentó un refrigerador sino el proceso de licuefacción de gases en 1876, que es parte de la tecnología básica de refrigeración [22].

A partir de entonces se utilizó esta nueva tecnología en otras áreas de la ingeniería y fue la base para los refrigeradores modernos que se conocen. Los refrigeradores a finales del siglo 19 y hasta 1929 utilizaban gases tóxicos como el amoniaco (NH_3), cloruro de metilo (CH_3Cl), y dióxido de azufre (SO_2). Sucedieron varios accidentes fatales durante la década de los 20 cuando el cloruro de metilo se fugaba. Tres corporaciones americanas colaboraron en una investigación para desarrollar un método menos peligroso de refrigerar y sus esfuerzos dieron como resultado el descubrimiento del Freón. En sólo unos pocos años, los refrigeradores que utilizaban Freón se convirtieron en el estándar de casi todas las cocinas domésticas. Sólo décadas después, la gente se dio cuenta de que los clorofluorocarbonos ponían en peligro la capa de ozono de todo el planeta [23].

La historia de los equipos termoeléctricos comienza 1821 con Thomas Johann Seebeck quién encontró que un circuito hecho a partir de dos metales diferentes, unidos a diferentes temperaturas cada uno, generaba una diferencia de potencial (voltaje) creando corriente eléctrica en un circuito cerrado. Hoy, esto se conoce como el efecto Seebeck (el voltaje generado es proporcional a la diferencia de temperaturas y la constante se conoce como coeficiente de Seebeck). En 1834, un relojero y médico francés, Jean Charles Athanase Peltier encontró que una corriente eléctrica podría producir calor o frío en la unión de dos metales distintos. 1838 Lenz mostró que dependiendo del sentido de la corriente,

se podría remover calor suficiente para congelar agua, o revirtiendo la corriente, el calor generado podía derretir hielo (el calor absorbido por los metales es proporcional a la corriente eléctrica y la constante se conoce como coeficiente de Peltier). Veinte años después, William Thomson (después Lord Kelvin) dio una explicación científica sobre el efecto Seebeck y Peltier además de que demostró su relación a través de la termodinámica; su explicación lo llevó a predecir un tercer efecto termoeléctrico, ahora conocido como efecto Thomson; aquí, el calor es proporcional a la corriente eléctrica y al gradiente de temperaturas, la constante se conoce como coeficiente de Thomson, relacionado termodinámicamente con el coeficiente Seebeck [25].

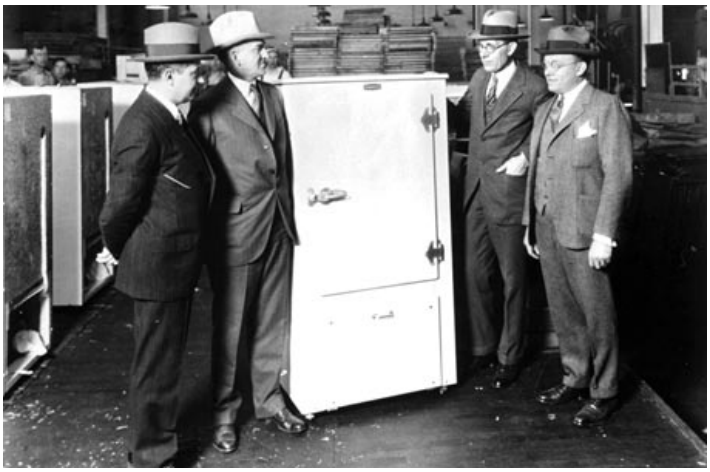

Figura A.1. El refrigerador número un millón de Frigidaire [22].

Sin embargo no fue hasta 1910 que Altenkirch dio una descripción adecuada de la teoría para la generación de potencia y por Ioffe en 1949 para el enfriamiento, así que los conservadores y enfriadores termoeléctricos tienen sus inicios a partir de la segunda mitad del siglo pasado, casi un siglo después de que se crearon los primeros equipos con ciclo de compresión de vapor [25].

A3. Tablas de datos de equipos de conservación de alimentos

Tabla A.5. Variables de equipos con alimentación AC y ciclo de compresión de vapor.

No.	Marca	Equipo	Volumen interior [L]	Volumen exterior [L]	Funciones caracteristicas	Consumo energético anual [kW]	Materiales empleados	Componentes principales	Complejidad de manufactura	Alimentación AC	Alimentación DC	Alimentación Solar (Fotovoltaica)	Equipo de Compresión de vapor	Equipo Termoeléctrico	Capacidad interior [cu.ft.]	Precio [usd]
1	Abscold	Refrigerador 1ft	28	82	1	213	8	16	57	1			1		1	$194.00
2	Avanti	Refrigerador / congelador 1 puerta 1.5ft	42	104	2	195	11	16	51	1			1		1.5	$246.00
3	GE	Refrigerador top mount 1 puertas 1.7ft	48	105	2	317	15	17	57	1			1		1.7	$134.00
4	Avanti	Refrigerador enfriador 1.7ft	48	110	1	298	8	16	53	1			1		1.7	$139.00
5	Abscold	Refrigerador 2ft	57	129	1	269	8	16	57	1			1		2	$240.00
6	Abscold	Refrigerador 2 puertas 2.9ft	82	199	3	309	8	23	71	1			1		2.9	$290.00
7	Abscold	Refrigerador / congelador 2.9ft	82	265	4	298	8	24	57	1			1		2.9	$531.00
8	Avanti	Refrigerador 3.1ft	88	172	2	262	8	18	57	1			1		3.1	$200.00
9	Avanti	Refrigerador compacto 2 puertas 3.2ft	91	206	3	438	11	21	58	1			1		3.2	$359.00
10	Abscold	Refrigerador 3.6ft	102	259	4	310	8	20	57	1			1		3.6	$500.00
11	Abscold	Refrigerador 3.6ft	102	259	4	319	8	20	57	1			1		3.6	$446.00

12	GE	Refrigerador top mount 1 puertas 4.3ft	122	231	4	345	15	25	57	1	1	4.3	$234.00
13	GE	Refrigerador top mount 1 puertas 4.3ft	122	231	4	345	15	25	57	1	1	4.3	$234.00
14	Avanti	Refrigerador Frigobar 4.5ft	127	231	3	298	8	20	57	1	1	4.5	$235.00
15	Abscold	Refrigerador / congelador 4.8ft	136	384	4	329	8	24	57	1	1	4.8	$693.00
16	Abscold	Congelador 5ft	142	303	2	321	8	17	57	1	1	5	$260.00
17	Whirlpool	Refrigerador Frigobar 5ft	142	276	3	354	8	18	57	1	1	5	$280.00
18	Whirlpool	Refrigerador Frigobar 5ft	142	276	4	354	8	20	57	1	1	5	$280.00
19	Abscold	Refrigerador 5.6ft	159	412	4	268	8	20	57	1	1	5.6	$541.00
20	Electrolux	Refrigerador Drawers 6ft	170	1097	4	558	15	18	57	1	1	6	$2,199.00
21	CFX	Refrigerador Comercial 8ft	227	534	2	345	12	15	51	1	1	8	$625.00
22	MABE	Refrigerador Convencional 1 puerta 8ft	218	534	3	314	11	21	67	1	1	8	$345.00
23	Avanti	Refrigerador Convencional 2 puertas 9.2ft	261	677	3	445	12	24	64	1	1	9.2	$511.00
24	Abscold	Refrigerador / congelador 10.3ft	292	720	4	309	8	24	57	1	1	10	$845.00
25	Abscold	Refrigerador 2 puertas 10.3ft	292	608	3	309	8	23	71	1	1	10	$479.00
26	Abscold	Refrigerador 2 puertas 10.3ft	136	309	3	329	8	23	71	1	1	10	$390.00
27	Whirlpool	Refrigerador top mount 2 puertas 15ft	408	907	4	438	15	27	68	1	1	15	$559.00
28	Summit	Refrigerador Convencional 2 puertas 15.9 ft	450	899	3	457	13	24	68	1	1	16	$1,049.00
29	Whirlpool	Refrigerador top mount 2 puertas 16ft	450	992	3	454	15	26	73	1	1	16	$599.00
30	Whirlpool	Refrigerador top mount 2 puertas 16ft	450	1702	4	393	15	27	68	1	1	16	$1,119.00
31	Whirlpool	Refrigerador top mount 2 puertas 17.5ft	496	815	5	378	15	29	68	1	1	18	$769.00
32	Whirlpool	Refrigerador top mount 2 puertas 17.5ft	413	947	4	354	15	26	68	1	1	18	$649.00
33	GE	Refrigerador top mount 2 puertas 17.9ft	507	1035	4	482	15	25	68	1	1	18	$1,099.00
34	GE	Refrigerador top mount 2 puertas 18ft	510	1035	4	484	15	25	82	1	1	18	$989.00
35	Whirlpool	Refrigerador top mount 2 puertas 18.2ft	515	917	4	388	15	30	68	1	1	18	$1,049.00
36	Whirlpool	Refrigerador top mount 2 puertas 18.9ft	535	918	6	393	15	31	68	1	1	19	$1,119.00
37	MABE	Refrigerador Convencional 2 puertas 19ft	538	1037	9	405	13	29	68	1	1	19	$600.00
38	BOSCH	Refrigerador French door 20ft	566	1218	8	448	15	38	85	1	1	20	$4,149.00
39	BOSCH	Refrigerador French door 20ft	566	1226	4	448	15	38	85	1	1	20	$3,949.00
40	GE	Refrigerador French Door 20.9ft	592	1280	11	458	15	36	87	1	1	21	$3,189.00
41	Whirlpool	Refrigerador top mount 2 puertas 21ft	595	1012	5	514	15	27	73	1	1	21	$859.00
42	GE	Refrigerador top mount 2 puertas 21.7ft	614	1223	5	527	15	26	68	1	1	22	$1,429.00
43	GE	Refrigerador top mount 2 puertas 21.7ft	614	1223	5	527	15	26	68	1	1	22	$1,209.00
44	BOSCH	Refrigerador side by side 22ft	623	1513	14	539	15	36	71	1	1	22	$3,099.00
45	BOSCH	Refrigerador side by side 22ft	623	1517	14	539	15	36	71	1	1	22	$2,649.00
46	BOSCH	Refrigerador side by side 22ft	623	1517	13	545	15	35	71	1	1	22	$2,199.00
47	Whirlpool	Refrigerador 2 puertas bottom 22ft	620	1099	6	404	15	28	71	1	1	22	$1,299.00
48	Whirlpool	Refrigerador Side by Side 2 puertas22ft	617	1227	12	537	15	35	68	1	1	22	$1,599.00
49	Whirlpool	Refrigerador top mount 2 puertas 22ft	614	954	6	422	15	30	68	1	1	22	$1,249.00
50	Electrolux	Refrigerador Convencional 3 puertas 23ft	651	1169	11	558	15	37	82	1	1	23	$2,899.00
51	Electrolux	Refrigerador Side by Side 2 puertas 23ft	651	1097	11	558	15	37	82	1	1	23	$2,399.00

52	Electrolux	Refrigerador Side by Side 2 puertas 23ft	651	1197	11	558	15	37	82	1	1	23	$2,699.00
53	Electrolux	Refrigerador Convencional 3 puertas 23ft	651	1169	11	558	15	37	82	1	1	23	$3,199.00
54	Electrolux	Refrigerador Side by Side 2 puertas 23ft	651	1097	11	558	15	37	82	1	1	23	$2,499.00
55	Electrolux	Refrigerador Side by Side 2 puertas 23ft	651	996	14	558	15	39	82	1	1	23	$3,099.00
56	Electrolux	Refrigerador Side by Side 2 puertas 23ft	651	996	14	558	15	39	82	1	1	23	$2,499.00
57	Electrolux	Refrigerador Convencional 3 puertas 23ft	651	1169	14	558	15	39	82	1	1	23	$3,699.00
58	Electrolux	Refrigerador Convencional 3 puertas 23ft	651	1169	14	558	15	39	82	1	1	23	$3,199.00
59	Whirlpool	Refrigerador Side by Side 2 puertas 23.1ft	654	990	12	557	15	35	68	1	1	23	$2,499.00
60	Whirlpool	Refrigerador Side by Side 2 puertas 24.5ft	694	1257	12	580	15	35	68	1	1	25	$2,599.00
61	Whirlpool	Refrigerador puerta francesa 25ft	535	918	6	393	15	34	85	1	1	25	$1,119.00
62	Electrolux	Refrigerador Side by Side 2 puertas 26ft	736	1199	14	558	15	39	82	1	1	26	$2,799.00
63	Electrolux	Refrigerador Side by Side 2 puertas 26ft	793	1199	14	558	15	39	82	1	1	26	$2,199.00
64	Electrolux	Refrigerador Side by Side 2 puertas 26ft	736	1199	11	558	15	34	82	1	1	26	$2,399.00
65	BOSCH	Refrigerador french door 26ft	708	1375	13	527	15	39	85	1	1	26	$2,599.00
66	Whirlpool	Refrigerador puerta francesa 27ft	753	1881	11	555	15	31	68	1	1	27	$2,599.00
67	Whirlpool	Refrigerador puerta francesa 27ft	705	1911	6	547	15	34	82	1	1	27	$2,199.00
68	Electrolux	Refrigerador Convencional 3 puertas 28ft	793	1169	14	558	15	39	82	1	1	28	$3,499.00
69	Electrolux	Refrigerador Convencional 3 puertas 28ft	793	1169	14	558	15	39	82	1	1	28	$2,999.00
70	Electrolux	Refrigerador Convencional 3 puertas 28ft	793	1169	11	558	15	34	82	1	1	28	$2,999.00
71	Electrolux	Refrigerador Convencional 3 puertas 28ft	793	1169	11	558	15	37	82	1	1	28	$2,699.00
72	GE	Refrigerador French Door 28.5ft	807	1461	12	555	15	35	82	1	1	29	$3,409.00

Tabla A.6. Parámetros de equipos con alimentación AC y ciclo de compresión de vapor.

No.	Marca	Equipo	PC	VC	RV	MC	PC_U	VC_U	RV_U	MC_U	Puntuación
1	Abscold	Refrigerador 1ft	0.91	0.10	0.34	9.12	0.02	0.04	0.42	0.28	0.75
2	Avanti	Refrigerador / congelador 1 puerta 1.5ft	1.26	0.15	0.41	8.16	0.03	0.05	0.50	0.25	0.83
3	GE	Refrigerador top mount 1 puertas 1.7ft	0.42	0.17	0.46	9.69	0.01	0.06	0.56	0.29	0.92
4	Avanti	Refrigerador enfriador 1.7ft	0.47	0.17	0.44	8.48	0.01	0.06	0.53	0.26	0.86
5	Abscold	Refrigerador 2ft	0.89	0.20	0.44	9.12	0.02	0.07	0.54	0.28	0.90
6	Abscold	Refrigerador 2 puertas 2.9ft	0.94	0.29	0.41	16.33	0.02	0.10	0.50	0.49	1.12
7	Abscold	Refrigerador / congelador 2.9ft	1.78	0.29	0.31	13.68	0.04	0.10	0.38	0.41	0.94
8	Avanti	Refrigerador 3.1ft	0.76	0.31	0.51	10.26	0.02	0.11	0.62	0.31	1.06
9	Avanti	Refrigerador compacto 2 puertas 3.2ft	0.82	0.32	0.44	12.18	0.02	0.11	0.54	0.37	1.04
10	Abscold	Refrigerador 3.6ft	1.61	0.36	0.39	11.40	0.04	0.13	0.48	0.34	0.99
11	Abscold	Refrigerador 3.6ft	1.40	0.36	0.39	11.40	0.03	0.13	0.48	0.34	0.98
12	GE	Refrigerador top mount 1 puertas 4.3ft	0.68	0.43	0.53	14.25	0.02	0.15	0.64	0.43	1.24
13	GE	Refrigerador top mount 1 puertas 4.3ft	0.68	0.43	0.53	14.25	0.02	0.15	0.64	0.43	1.24
14	Avanti	Refrigerador Frigobar 4.5ft	0.79	0.45	0.55	11.40	0.02	0.16	0.67	0.34	1.19
15	Abscold	Refrigerador / congelador 4.8ft	2.11	0.00	0.35	13.68	0.05	0.00	0.43	0.41	0.89
16	Abscold	Congelador 5ft	0.81	0.50	0.47	9.69	0.02	0.18	0.57	0.29	1.06
17	Whirlpool	Refrigerador Frigobar 5ft	0.79	0.50	0.51	10.26	0.02	0.18	0.63	0.31	1.13
18	Whirlpool	Refrigerador Frigobar 5ft	0.79	0.50	0.51	11.40	0.02	0.18	0.63	0.34	1.16
19	Abscold	Refrigerador 5.6ft	2.02	0.00	0.38	11.40	0.05	0.00	0.47	0.34	0.86
20	Electrolux	Refrigerador Drawers 6ft	3.94	0.60	0.15	10.26	0.09	0.21	0.19	0.31	0.80

21	CFX	Refrigerador Comercial 8ft	1.81	0.80	0.42	7.65	0.04	0.28	0.52	0.23	1.07
22	MABE	Refrigerador Convencional 1 puerta 8ft	1.10	0.77	0.41	14.07	0.03	0.27	0.50	0.42	1.22
23	Avanti	Refrigerador Convencional 2 puertas 9.2ft	1.15	0.92	0.38	15.36	0.03	0.32	0.47	0.46	1.28
24	Abscold	Refrigerador / congelador 10.3ft	2.73	1.03	0.41	13.68	0.06	0.36	0.49	0.41	1.33
25	Abscold	Refrigerador 2 puertas 10.3ft	1.55	1.03	0.48	16.33	0.04	0.36	0.59	0.49	1.48
26	Abscold	Refrigerador 2 puertas 10.3ft	1.19	0.48	0.44	16.33	0.03	0.17	0.54	0.49	1.23
27	Whirlpool	Refrigerador top mount 2 puertas 15ft	1.28	1.44	0.45	18.36	0.03	0.51	0.55	0.55	1.64
28	Summit	Refrigerador Convencional 2 puertas 15.9 ft	2.30	1.59	0.50	16.32	0.05	0.56	0.61	0.49	1.72
29	Whirlpool	Refrigerador top mount 2 puertas 16ft	1.32	1.59	0.45	18.98	0.03	0.56	0.55	0.57	1.72
30	Whirlpool	Refrigerador top mount 2 puertas 16ft	2.85	1.59	0.26	18.36	0.07	0.56	0.32	0.55	1.50
31	Whirlpool	Refrigerador top mount 2 puertas 17.5ft	2.03	1.75	0.61	19.72	0.05	0.61	0.74	0.59	2.00
32	Whirlpool	Refrigerador top mount 2 puertas 17.5ft	1.83	1.46	0.44	17.68	0.04	0.51	0.53	0.53	1.62
33	GE	Refrigerador top mount 2 puertas 17.9ft	2.28	1.79	0.49	17.00	0.05	0.63	0.60	0.51	1.79
34	GE	Refrigerador top mount 2 puertas 18ft	2.04	1.80	0.49	20.50	0.05	0.63	0.60	0.62	1.90
35	Whirlpool	Refrigerador top mount 2 puertas 18.2ft	2.70	1.82	0.56	20.40	0.06	0.64	0.69	0.62	2.00
36	Whirlpool	Refrigerador top mount 2 puertas 18.9ft	2.85	1.89	0.58	21.08	0.07	0.66	0.71	0.64	2.08
37	MABE	Refrigerador Convencional 2 puertas 19ft	1.48	1.90	0.52	19.72	0.03	0.67	0.63	0.59	1.93
38	BOSCH	Refrigerador French door 20ft	9.26	2.00	0.46	32.30	0.22	0.70	0.57	0.97	2.46
39	BOSCH	Refrigerador French door 20ft	8.82	2.00	0.46	32.30	0.21	0.70	0.56	0.97	2.45
40	GE	Refrigerador French Door 20.9ft	6.96	2.09	0.46	31.32	0.16	0.73	0.56	0.94	2.41
41	Whirlpool	Refrigerador top mount 2 puertas 21ft	1.67	2.10	0.59	19.71	0.04	0.74	0.72	0.59	2.09
42	GE	Refrigerador top mount 2 puertas 21.7ft	2.71	2.17	0.50	17.68	0.06	0.76	0.61	0.53	1.97
43	GE	Refrigerador top mount 2 puertas 21.7ft	2.29	2.17	0.50	17.68	0.05	0.76	0.61	0.53	1.96
44	BOSCH	Refrigerador 2 puertas verticales 22ft	5.75	2.20	0.41	25.56	0.14	0.77	0.50	0.77	2.18
45	BOSCH	Refrigerador 2 puertas verticales 22ft	4.91	2.20	0.41	25.56	0.12	0.77	0.50	0.77	2.16
46	BOSCH	Refrigerador 2 puertas verticales 22ft	4.04	2.20	0.41	24.85	0.10	0.77	0.50	0.75	2.12
47	Whirlpool	Refrigerador 2 puertas bottom 22ft	3.22	2.19	0.56	19.88	0.08	0.77	0.69	0.60	2.13
48	Whirlpool	Refrigerador Side by Side 2 puertas22ft	2.98	2.18	0.50	23.80	0.07	0.76	0.61	0.72	2.17
49	Whirlpool	Refrigerador top mount 2 puertas 22ft	2.96	2.17	0.64	20.40	0.07	0.76	0.79	0.62	2.23
50	Electrolux	Refrigerador Convencional 3 puertas 23ft	5.19	2.30	0.56	30.34	0.12	0.81	0.68	0.92	2.53
51	Electrolux	Refrigerador Side by Side 2 puertas 23ft	4.30	2.30	0.59	30.34	0.10	0.81	0.72	0.92	2.55
52	Electrolux	Refrigerador Side by Side 2 puertas 23ft	4.83	2.30	0.54	30.34	0.11	0.81	0.66	0.92	2.50
53	Electrolux	Refrigerador Convencional 3 puertas 23ft	5.73	2.30	0.56	30.34	0.14	0.81	0.68	0.92	2.54
54	Electrolux	Refrigerador Side by Side 2 puertas 23ft	4.47	2.30	0.59	30.34	0.11	0.81	0.72	0.92	2.55
55	Electrolux	Refrigerador Side by Side 2 puertas 23ft	5.55	2.30	0.65	31.98	0.13	0.81	0.80	0.96	2.70
56	Electrolux	Refrigerador Side by Side 2 puertas 23ft	4.47	2.30	0.65	31.98	0.11	0.81	0.80	0.96	2.68
57	Electrolux	Refrigerador Convencional 3 puertas 23ft	6.62	2.30	0.56	31.98	0.16	0.81	0.68	0.96	2.61
58	Electrolux	Refrigerador Convencional 3 puertas 23ft	5.73	2.30	0.56	31.98	0.14	0.81	0.68	0.96	2.59
59	Whirlpool	Refrigerador Side by Side 2 puertas 23.1ft	4.49	2.31	0.66	23.80	0.11	0.81	0.81	0.72	2.44
60	Whirlpool	Refrigerador Side by Side 2 puertas 24.5ft	4.48	2.45	0.55	23.80	0.11	0.86	0.67	0.72	2.36
61	Whirlpool	Refrigerador puerta francesa 25ft	2.85	1.89	0.58	28.90	0.07	0.66	0.71	0.87	2.31
62	Electrolux	Refrigerador Side by Side 2 puertas 26ft	5.01	2.60	0.61	31.98	0.12	0.91	0.75	0.96	2.75
63	Electrolux	Refrigerador Side by Side 2 puertas 26ft	3.94	2.80	0.66	31.98	0.09	0.98	0.81	0.96	2.85
64	Electrolux	Refrigerador Side by Side 2 puertas 26ft	4.30	2.60	0.61	27.88	0.10	0.91	0.75	0.84	2.60
65	BOSCH	Refrigerador french door 26ft	4.93	2.50	0.52	33.15	0.12	0.88	0.63	1.00	2.62
66	Whirlpool	Refrigerador puerta francesa 27ft	4.68	2.66	0.40	21.08	0.11	0.93	0.49	0.64	2.17
67	Whirlpool	Refrigerador puerta francesa 27ft	4.02	2.49	0.37	27.88	0.09	0.87	0.45	0.84	2.26
68	Electrolux	Refrigerador Convencional 3 puertas 28ft	6.27	2.80	0.68	31.98	0.15	0.98	0.83	0.96	2.92
69	Electrolux	Refrigerador Convencional 3 puertas 28ft	5.37	2.80	0.68	31.98	0.13	0.98	0.83	0.96	2.90
70	Electrolux	Refrigerador Convencional 3 puertas 28ft	5.37	2.80	0.68	27.88	0.13	0.98	0.83	0.84	2.78
71	Electrolux	Refrigerador Convencional 3 puertas 28ft	4.83	2.80	0.68	30.34	0.11	0.98	0.83	0.92	2.84
72	GE	Refrigerador French Door 28.5ft	6.14	2.85	0.55	28.70	0.14	1.00	0.67	0.87	2.69

Tabla A.7. Variables de equipos con alimentación DC y ciclo de compresión de vapor.

No.	Marca	Equipo	Volumen interior [L]	Volumen exterior [L]	Funciones caracteristicas	Consumo energético anual [kW]	Materiales empleados	Componentes principales	Complejidad de manufactura	Alimentación AC	Alimentación DC	Alimentación Solar (Fotovoltaica)	Equipo de Compresión de vapor	Equipo Termoeléctrico	Capacidad interior [cu.ft.]	Precio [usd]
1	Chic	Enfriador portatil 12L	12	15	1	201	7	10	20		1	1	1		0.4	$43.30
2	Waeco	Enfriador portatil 23L	23	61	4	29	7	17	46		1	1	1		0.8	$749.00
3	Waeco	Enfriador portatil 31L	31	93	4	29	8	19	46		1	1	1		1.1	$999.00
4	Waeco	Enfriador portatil 31L	31	80	4	29	8	19	46		1	1	1		1.1	$449.00
5	Waeco	Enfriador portatil 37L	37	93	4	30	8	19	46		1	1	1		1.3	$999.00
6	Chic	Congelador solar 45 L	45	235	4	139	10	20	51		1	1	1		1.6	$776.00
7	Waeco	Enfriador portatil 50L	50	109	4	30	8	19	46		1	1	1		1.8	$1,199.00
8	Waeco	Enfriador portatil 59L	59	132	4	31	8	19	46		1	1	1		2	$1,299.00
9	Waeco	Enfriador portatil 80L	80	180	5	102	10	19	54		1	1	1		2.8	$1,599.00
10	Waeco	Congelador portatil 106L	106	219	4	74	10	19	48		1	1	1		3.7	$1,799.00
11	Sundanzer	Congelador solar 225lts.	227	693	1	226	12	16	50		1	1	1		8	$1,550.00
12	Sundanzer	Enfriador solar 225lts.	227	693	1	73	12	16	50		1	1	1		8	$1,550.00
13	MABE	Refrigerador DC 8 ft	218	534	3	260	11	21	67		1	1	1		8	$500.00

Tabla A.8. Parámetros de equipos con alimentación DC y ciclo de compresión de vapor.

No.	Marca	Equipo	PC	VC	RV	MC	PC_U	VC_U	RV_U	MC_U	Puntuación
1	Chic	Enfriador portatil 12L	0.21	0.04	0.82	2.00	0.01	0.01	1.00	0.06	1.08
2	Waeco	Enfriador portatil 23L	25.45	0.08	0.37	7.82	0.60	0.03	0.46	0.24	1.32
3	Waeco	Enfriador portatil 31L	33.94	0.11	0.34	8.74	0.80	0.04	0.41	0.26	1.51
4	Waeco	Enfriador portatil 31L	15.25	0.11	0.39	8.74	0.36	0.04	0.47	0.26	1.14
5	Waeco	Enfriador portatil 37L	32.77	0.13	0.40	8.74	0.77	0.05	0.48	0.26	1.57
6	Chic	Congelador solar 45 L	5.57	0.16	0.19	10.20	0.13	0.06	0.24	0.31	0.73
7	Waeco	Enfriador portatil 50L	39.79	0.18	0.46	8.74	0.94	0.06	0.56	0.26	1.83
8	Waeco	Enfriador portatil 59L	42.37	0.21	0.45	8.74	1.00	0.07	0.55	0.26	1.89
9	Waeco	Enfriador portatil 80L	15.74	0.28	0.44	10.26	0.37	0.10	0.54	0.31	1.32
10	Waeco	Congelador portatil 106L	24.45	0.37	0.48	9.12	0.58	0.13	0.59	0.28	1.57
11	Sundanzer	Congelador solar 225lts.	6.85	0.40	0.33	8.00	0.16	0.14	0.40	0.24	0.94
12	Sundanzer	Enfriador solar 225lts.	21.23	0.40	0.33	8.00	0.50	0.14	0.40	0.24	1.28
13	MABE	Refrigerador DC 8 ft	1.92	0.39	0.41	14.07	0.05	0.14	0.50	0.42	1.10

Tabla A.9. Variables de equipos con alimentación AC y funcionamiento termoeléctrico.

No.	Marca	Equipo	Volumen interior [L]	Volumen exterior [L]	Funciones características	Consumo energético anual [kW]	Materiales empleados	Componentes principales	Complejidad de manufactura	Alimentación AC	Alimentación DC	Alimentación Solar (Fotovoltaica)	Equipo de Compresión de vapor	Equipo Termoeléctrico	Capacidad interior [cu.ft.]	Precio [usd]
1	Hirsing	Refrigerador Termoeléctrico 14L	14	41	1	190	7	9	30	1				1	0.5	$78.00
2	Hirsing	Refrigerador Termoeléctrico 15L	15	54	1	183	10	10	32	1				1	0.5	$109.00
3	Hirsing	Hielera Termoeléctrica 25L	25	64	1	202	9	9	26	1				1	0.9	$70.00
4	Hirsing	Hielera Termoeléctrica 25L	25	78	1	202	9	9	26	1				1	0.9	$93.00
5	Hirsing	Refrigerador Termoeléctrico 46L	46	91	1	219	7	14	32	1				1	1.6	$150.00
6	Avanti	Enfriador termoeléctrico bebidas 1.7ft	57	153	1	438	9	12	32	1				1	1.7	$449.00
7	Avanti	Enfriador termoeléctrico 1.7 ft	127	223	1	548	9	12	44	1				1	1.7	$629.00
8	Avanti	Refrigerador Termoeléctrico 1.7 ft	48	113	1	431	8	12	32	1				1	1.7	$199.00
9	Hirsing	Refrigerador Termoeléctrico 50L	50	105	1	219	10	14	44	1				1	1.8	$132.00
10	MABE	Refrigerador Termoeléctrico 4.5ft	113	220	2	504	9	14	43	1				1	4.5	$1,000.00
11	Electrolux	Refrigerador Beberage center 6ft	170	243	6	438	9	18	67	1				1	6	$1,699.00
12	Guangdong	Enfriador termoeléctrico 180L	180	446	1	1022	11	14	43	1				1	6.4	$536.00

Tabla A.10. Parámetros de equipos con alimentación AC y funcionamiento termoeléctrico.

No.	Marca	Equipo	PC	VC	RV	MC	PC_U	VC_U	RV_U	MC_U	Puntuación
1	Hirsing	Refrigerador Termoeléctrico 14L	0.41	0.05	0.34	2.70	0.01	0.02	0.42	0.08	0.53
2	Hirsing	Refrigerador Termoeléctrico 15L	0.60	0.05	0.28	3.20	0.01	0.02	0.34	0.10	0.47
3	Hirsing	Hielera Termoeléctrica 25L	0.35	0.09	0.39	2.34	0.01	0.03	0.47	0.07	0.58
4	Hirsing	Hielera Termoeléctrica 25L	0.46	0.09	0.32	2.34	0.01	0.03	0.39	0.07	0.50
5	Hirsing	Refrigerador Termoeléctrico 46L	0.68	0.16	0.51	4.48	0.02	0.06	0.62	0.14	0.83
6	Avanti	Enfriador termoeléctrico bebidas 1.7 ft	1.03	0.20	0.37	3.84	0.02	0.07	0.45	0.12	0.66
7	Avanti	Enfriador termoeléctrico 1.7 ft	1.15	0.45	0.57	5.28	0.03	0.16	0.70	0.16	1.04
8	Avanti	Refrigerador Termoeléctrico 1.7 ft	0.46	0.17	0.43	3.84	0.01	0.06	0.52	0.12	0.71
9	Hirsing	Refrigerador Termoeléctrico 50L	0.60	0.18	0.47	6.16	0.01	0.06	0.58	0.19	0.84
10	MABE	Refrigerador Termoeléctrico 4.5ft	1.98	0.40	0.52	6.02	0.05	0.14	0.63	0.18	1.00
11	Electrolux	Refrigerador Beberage center 6ft	3.88	0.60	0.70	12.06	0.09	0.21	0.86	0.36	1.52
12	Guangdong	Enfriador termoeléctrico 180L	0.52	0.64	0.40	6.02	0.01	0.22	0.49	0.18	0.91

Tabla A.11. Variables de equipos con alimentación DC y funcionamiento termoeléctrico.

No.	Marca	Equipo	Volumen interior [L]	Volumen exterior [L]	Funciones características	Consumo energético anual [kW]	Materiales empleados	Componentes principales	Complejidad de manufactura	Alimentación AC	Alimentación DC	Alimentación Solar (Fotovoltaica)	Equipo de Compresión de vapor	Equipo Termoeléctrico	Capacidad interior [cu.ft.]	Precio [usd]
1	Hirsing	Enfriador portatil termoeléctrico 4L	4	11 1	1	19 0	6	9	22		1	1		1	0.2	$31.00
2	Hirsing	Enfriador portatil termoeléctrico 7L	7	11 0	1	20 1	6	9	22		1	1		1	0.3	$36.00
3	Hirsing	Enfriador termoeléctrico 10L	10	44	1	19 0	6	10	30		1	1		1	0.4	$62.00
4	Hirsing	Enfriador termoeléctrico 18L	18	65	1	19 0	7	10	30		1	1		1	0.7	$74.00

Tabla A.12. Parámetros de equipos con alimentación DC y funcionamiento termoeléctrico.

No.	Marca	Equipo	PC	VC	RV	MC	PC_U	VC_U	RV_U	MC_U	Puntuación
1	Hirsing	Enfriador portatil termoeléctrico 4L	0.16	0.02	0.04	1.98	0.00	0.01	0.05	0.06	0.12
2	Hirsing	Enfriador portatil termoeléctrico 7L	0.18	0.02	0.06	1.98	0.00	0.01	0.08	0.06	0.15
3	Hirsing	Enfriador termoeléctrico 10L	0.33	0.04	0.22	3.00	0.01	0.01	0.27	0.09	0.38
4	Hirsing	Enfriador termoeléctrico 18L	0.39	0.07	0.28	3.00	0.01	0.02	0.35	0.09	0.47

A4. Condiciones de financiamiento para análisis de inversión

Tabla A.13 Condiciones del financiamiento por parte de un banco.

Cálculo por Monto Solicitado	
Monto a Financiar	$30,000.00
Cobro de Seguro de Vida y Desempleo(No financiable)	$367.63
Comisión por Apertura	$0.00
Número de Pagos Fijos	36
Fecha de Simulación	13/11/2009
Tipo de Zona	No Fronteriza
Tasa Anual antes de IVA	32.00 %
Tasa Anual IVA incluido	36.80 %
Pago Fijo incluyendo IVA	$1,090.60
Tipo de Pago	Mensual

No de Pago	Saldo	Capital	Intereses con IVA	Intereses sin IVA	IVA de los Intereses(estimado)	Pago con IVA incluido	Pago anual total
0	30,000.00	0	398.67	346.67	52	398.67	13485.87
1	29,369.40	630.6	460	391.59	68.41	1,090.60	
2	28,729.13	640.27	450.33	383.06	67.28	1,090.60	
3	28,079.04	650.09	440.51	374.39	66.13	1,090.60	
4	27,418.98	660.06	430.55	365.59	64.96	1,090.60	
5	26,748.81	670.18	420.42	356.65	63.77	1,090.60	
6	26,068.36	680.45	410.15	347.58	62.57	1,090.60	
7	25,377.47	690.89	399.71	338.37	61.35	1,090.60	
8	24,675.99	701.48	389.12	329.01	60.11	1,090.60	
9	23,963.75	712.24	378.37	319.52	58.85	1,090.60	
10	23,240.60	723.16	367.44	309.87	57.57	1,090.60	
11	22,506.35	734.25	356.36	300.08	56.27	1,090.60	

12	21,760.85	745.5	345.1	290.14	54.95	1,090.60	
13	21,003.91	756.93	333.67	280.05	53.61	1,090.60	13,087.20
14	20,235.37	768.54	322.06	269.8	52.26	1,090.60	
15	19,455.05	780.33	310.28	259.4	50.88	1,090.60	
16	18,662.76	792.29	298.31	248.84	49.47	1,090.60	
17	17,858.32	804.44	286.16	238.11	48.05	1,090.60	
18	17,041.54	816.77	273.83	227.22	46.61	1,090.60	
19	16,212.25	829.3	261.3	216.16	45.14	1,090.60	
20	15,370.23	842.01	248.59	204.94	43.65	1,090.60	
21	14,515.31	854.92	235.68	193.54	42.14	1,090.60	
22	13,647.27	868.03	222.57	181.96	40.6	1,090.60	
23	12,765.93	881.34	209.26	170.21	39.05	1,090.60	
24	11,871.07	894.86	195.74	158.28	37.46	1,090.60	
25	10,962.50	908.58	182.02	146.17	35.86	1,090.60	13,087.20
26	10,039.99	922.51	168.09	133.87	34.23	1,090.60	
27	9,103.33	936.65	153.95	121.38	32.57	1,090.60	
28	8,152.32	951.02	139.58	108.7	30.89	1,090.60	
29	7,186.72	965.6	125	95.82	29.18	1,090.60	
30	6,206.31	980.4	110.2	82.75	27.45	1,090.60	
31	5,210.87	995.44	95.16	69.48	25.69	1,090.60	
32	4,200.17	1,010.70	79.9	56	23.9	1,090.60	
33	3,173.97	1,026.20	64.4	42.32	22.08	1,090.60	
34	2,132.04	1,041.93	48.67	28.43	20.24	1,090.60	
35	1,074.13	1,057.91	32.69	14.32	18.37	1,090.60	
36	0	1,074.13	16.47	0	16.47	1,090.60	

Tabla A.14 Condiciones de financiamiento por parte del banco.

Cálculo por Monto Solicitado	
Monto a Financiar	$25,900.00
Cobro de Seguro de Vida y Desempleo(No financiable)	$317.39
Comisión por Apertura	$0.00
Número de Pagos Fijos	36
Fecha de Simulación	13/11/2009
Tipo de Zona	No Fronteriza
Tasa Anual antes de IVA	32.00 %
Tasa Anual IVA incluido	36.80 %
Pago Fijo incluyendo IVA	$941.55
Tipo de Pago	Mensual

No de Pago	Saldo	Capital	Intereses con IVA	Intereses sin IVA	IVA de los Intereses(estimado)	Pago con IVA incluido	Pago anual total
0	25,900.00	0	344.18	299.29	44.89	344.18	11642.78
1	25,355.58	544.42	397.13	338.07	59.06	941.55	
2	24,802.81	552.77	388.79	330.7	58.08	941.55	
3	24,241.57	561.24	380.31	323.22	57.09	941.55	
4	23,671.72	569.85	371.7	315.62	56.08	941.55	
5	23,093.14	578.59	362.97	307.91	55.06	941.55	
6	22,505.68	587.46	354.09	300.08	54.02	941.55	
7	21,909.21	596.47	345.09	292.12	52.96	941.55	
8	21,303.60	605.61	335.94	284.05	51.89	941.55	
9	20,688.71	614.9	326.66	275.85	50.81	941.55	
10	20,064.38	624.33	317.23	267.53	49.7	941.55	
11	19,430.48	633.9	307.65	259.07	48.58	941.55	
12	18,786.86	643.62	297.93	250.49	47.44	941.55	
13	18,133.38	653.49	288.07	241.78	46.29	941.55	11,298.60
14	17,469.87	663.51	278.05	232.93	45.11	941.55	
15	16,796.19	673.68	267.87	223.95	43.92	941.55	
16	16,112.18	684.01	257.54	214.83	42.71	941.55	
17	15,417.68	694.5	247.05	205.57	41.48	941.55	
18	14,712.53	705.15	236.4	196.17	40.24	941.55	
19	13,996.57	715.96	225.59	186.62	38.97	941.55	
20	13,269.63	726.94	214.61	176.93	37.69	941.55	
21	12,531.55	738.08	203.47	167.09	36.38	941.55	
22	11,782.15	749.4	192.15	157.1	35.06	941.55	
23	11,021.25	760.89	180.66	146.95	33.71	941.55	
24	10,248.69	772.56	168.99	136.65	32.34	941.55	
25	9,464.29	784.41	157.15	126.19	30.96	941.55	11,298.60

26	8,667.86	796.43	145.12	115.57	29.55	941.55	
27	7,859.21	808.65	132.91	104.79	28.12	941.55	
28	7,038.17	821.04	120.51	93.84	26.67	941.55	
29	6,204.53	833.63	107.92	82.73	25.19	941.55	
30	5,358.12	846.42	95.14	71.44	23.69	941.55	
31	4,498.72	859.39	82.16	59.98	22.17	941.55	
32	3,626.15	872.57	68.98	48.35	20.63	941.55	
33	2,740.20	885.95	55.6	36.54	19.06	941.55	
34	1,840.66	899.54	42.02	24.54	17.47	941.55	
35	927.33	913.33	28.22	12.36	15.86	941.55	
36	0	927.33	14.22	0	14.22	941.55	

Tabla A.15 Condiciones de financiamiento por parte del banco.

Cálculo por Monto Solicitado	
Monto a Financiar	$11,600.00
Cobro de Seguro de Vida y Desempleo(No financiable)	$142.15
Comisión por Apertura	$0.00
Número de Pagos Fijos	36
Fecha de Simulación	13/11/2009
Tipo de Zona	No Fronteriza
Tasa Anual antes de IVA	32.00 %
Tasa Anual IVA incluido	36.80 %
Pago Fijo incluyendo IVA	$421.70
Tipo de Pago	Mensual

No de Pago	Saldo	Capital	Intereses con IVA	Intereses sin IVA	IVA de los Intereses(estimado)	Pago con IVA incluido	Pago total anual
0	11,600.00	0	177.87	154.67	23.2	177.87	5238.27
1	11,356.17	243.83	177.87	151.42	26.45	421.7	
2	11,108.60	247.57	174.13	148.11	26.01	421.7	
3	10,857.23	251.37	170.33	144.76	25.57	421.7	
4	10,602.01	255.22	166.48	141.36	25.12	421.7	
5	10,342.87	259.13	162.56	137.9	24.66	421.7	
6	10,079.76	263.11	158.59	134.4	24.19	421.7	
7	9,812.62	267.14	154.56	130.83	23.72	421.7	
8	9,541.38	271.24	150.46	127.22	23.24	421.7	
9	9,265.98	275.4	146.3	123.55	22.75	421.7	
10	8,986.36	279.62	142.08	119.82	22.26	421.7	
11	8,702.46	283.91	137.79	116.03	21.76	421.7	
12	8,414.19	288.26	133.44	112.19	21.25	421.7	
13	8,121.51	292.68	129.02	108.29	20.73	421.7	5,060.40
14	7,824.34	297.17	124.53	104.32	20.21	421.7	
15	7,522.62	301.73	119.97	100.3	19.67	421.7	
16	7,216.27	306.35	115.35	96.22	19.13	421.7	
17	6,905.22	311.05	110.65	92.07	18.58	421.7	
18	6,589.40	315.82	105.88	87.86	18.02	421.7	
19	6,268.73	320.66	101.04	83.58	17.45	421.7	
20	5,943.16	325.58	96.12	79.24	16.88	421.7	
21	5,612.59	330.57	91.13	74.83	16.29	421.7	
22	5,276.95	335.64	86.06	70.36	15.7	421.7	
23	4,936.16	340.79	80.91	65.82	15.1	421.7	
24	4,590.15	346.01	75.69	61.2	14.49	421.7	
25	4,238.83	351.32	70.38	56.52	13.86	421.7	5,060.40
26	3,882.13	356.7	65	51.76	13.23	421.7	
27	3,519.96	362.17	59.53	46.93	12.59	421.7	
28	3,152.23	367.73	53.97	42.03	11.94	421.7	
29	2,778.86	373.36	48.33	37.05	11.28	421.7	
30	2,399.77	379.09	42.61	32	10.61	421.7	
31	2,014.87	384.9	36.8	26.86	9.93	421.7	
32	1,624.07	390.8	30.89	21.65	9.24	421.7	
33	1,227.27	396.8	24.9	16.36	8.54	421.7	
34	824.39	402.88	18.82	10.99	7.83	421.7	
35	415.33	409.06	12.64	5.54	7.1	421.7	
36	0	415.33	6.37	0	6.37	421.7	

Referencias bibliográficas

[1]. Engineering Design. Dieter G. E. 2nd ed. Ed. McGraw Hill. United States. 1992.

[2]. Engineering Design; a systematic approach. Pahl G. y Beitz W. 2nd ed. Ed. Berlin Springer- Verlag. Alemania. 1986

[3]. www.peltier-info.com

[4]. Evaluation of Design Systems at the Design Stage. Aguirre, G. Tesis de doctorado, Cambridge, Inglaterra. 1992.

[5]. Form Structure and Mechanism. Macmillan Education. French, M., Hong Kong. 1992.

[6]. Comparative Design Study of Quarter Turn Pneumatic Valve Actuators. Ramírez R., Tesis de doctorado. Lancaster Inglaterra, 1995.

[7]. Estudio de diseño comparativo de un corrector de cinta. Olivares Guajardo Gustavo. Artículo, México 2006.

[8]. Material Selection in Mechanical Design. Michael Ashby. 2nd ed. Ed. ButterWort-Heinemann. 1992.

[9]. Conceptual Design for Engineers. French M. 3d. Ed. Springer. England. 1999.

[10]. Conceptual Design for Engineers. French, M.J., The Design Council. Springer-Verlag, London. 2nd ed. 1985.

[11]. 2009 Buildings Energy Data Book. U.S. Department Of Energy.

[12]. Paper: Cost Engineering within a model-based design process for a satellite system. O. Quirmbach1, M. Wilke, E. Igenbergs D. Dornier Satellite Systems GmbH. Postfach, Munich, Germany.

[13]. Paper: Feasibility Study of an Automotive Thermoacoustic Refrigerator. Luke Zoontjens, Carl Howard, Anthony Zander and Ben Cazzolato.

[14]. Paper: A methodology for modeling manufacturing cost at conceptual design. Sumaira Rehman, Marin D. Guenov.

[15]. Computer Integrated Design, Cranfield College of Aeronautics, Cranfield.

[16]. Paper: Design of a 126 Litre Refrigerator/Freezer Commercial Prototype. M. Davis, B. Manners and P. Clarke Hydrocool Pty Ltd. Australia.

[17]. www.rae.es

[18]. Gómez Mendiola Lia, Loaiza Martínez Joaquín, Martínez López José de Jesús, Pérez Ramos Gerardo. Proyecto de diseño de enseres domésticos hibrido. Posgrado de la Facultad de Ingeniería, UNAM 2009 – 2010

[19]. The mechanical Design Porcess, David G. Ullman, 2nd edition. McGraw Hill. United States 1997.

[20]. http://www.profesorenlinea.cl/Ciencias/AlimentosConserva.htm

[21]. http://www.alimentacion-sana.com.ar/informaciones/novedades/conservacion.htm
[22]. http://inventors.about.com/library/inventors/blrefrigerator.htm
[23]. http://www.findingdulcinea.com/features/science/innovations/great-inventions/the-refrigerator.html
[24]. Salazón y secado de pescados. Manuel Fraga Montero. Tesis profesional. Universidad de las Palmas de Gran Canaria. 1964. www.ulpgc.es
[25]. http://www.thermoelectrics.caltech.edu/history_page.htm
[26]. www.sundanzer.com
[27]. Product design and development. Karl T. Ulrich, Steven D. Eppinger. Fourth edition. McGraw Hill 2008.
[28]. http://www.flickr.com/photos/wbelmonte/3537942334/
[29]. http://www.flickr.com/photos/litlnemo/3776949993/
[30]. http://www.flickr.com/photos/mikorz/2282947856/
[31]. http://www.parishequipment.com/old_fashion_equip_.htm
[32]. http://communities.canada.com/montrealgazette/blogs/greenlife/archive/2009/05/13/want-60-for-your-old-fridge-call-hydro-quebec.aspx
[33]. http://www.flickr.com/photos/lara604/423411549/
[34]. http://www.flickr.com/photos/59646927@N00/404238168/
[35]. http://www.teecoproducts.com/catalog/images/Consul_parts_breakdown_diagram.JPG
[36]. http://www.refrigeraciontorrey.com
[37]. http://www.contactopyme.gob.mx/benchmarking/conceptos/ben_mod.asp
[38]. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. Edited by Antonio Luque and Steven Hegedus. Editorial Wiley. UK 2003
[39]. Maycock P, *Photovolt. News* 20 (2), 1 (2001).
[40]. Desing to Cost. N. Benan,BSc AMIMechE. Lucas Automotive Advanced Engineering Centre, Solihull, West Midlands, University Of London.
[41]. Fotovoltaics, Design and Instalation Manual. By Solar Energy International.
[42]. Ingeniería Económica; E. P. DeGarmo, W. G. Sullivan, J. A. Bontadelli, E. M. Wicks; Prentice Hall. Décima edición. 1998.
[43]. Product Design and Development. Ulrich – Epinger, 4th edition, 2008, Ed. McGraw Hill.
[44]. www.sundanzer.com
[45]. www.cfe.gob.mx
[46]. www.mabe.com.mx
[47]. Comparative design study for airport pavement. US Department of Transportation. Federal Aviation Administration. May 2007.

[48]. Final report on study of alternative tank materials. Joan Muerller leile and Rod Osborne of Batelle; and Mark Greenwood of Composite Solution Consultants. June 2006.

[49]. Steel vs. Plastics: The Competition for Light-Vehicle Fuel Tanks. Peter J. Alvarado. JOM Journal. The Minerals, Metals and Materials Society. 1996.

[50]. Comparative study of design with application to Engineering design. Earl C, Eckert C, Bucciarelli L, Whitney D, Knight T, Stacey M, Blackwell A, Macmillan S, Clarkson P J. International Conference on Engineering Design ICED 05 Melbourne, Australia, August 15-18,2005.

[51]. NORMA Oficial Mexicana NOM-015-ENER-2002, Eficiencia energética de refrigeradores y congeladores electrodomésticos. Límites, métodos de prueba y etiquetado. Secretaria de energía.

[52]. www.bancomer.com

[53]. www.cfe.gob.mx

[54]. Tesis de maestría: Desarrollo, construcción y prueba de un dispositivo termoeléctrico. Lia Gómez Mendiola. Posgrado de la Facultad de Ingeniería, 2010.

[55]. Tesis de maestría: Diseño y construcción de enser híbrido de aplicación residencial. Gerardo Pérez Ramos. Posgrado de la Facultad de Ingeniería, 2010.

[56]. Tesis de maestría: Metodología para el diseño y desarrollo de productos innovadores: Sistema solar de suministro de energía eléctrica para camping. Joaquín Loaiza Martínez. Posgrado de la Facultad de Ingeniería, 2010.