



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN  
INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ENSER HÍBRIDO DE  
APLICACIÓN RESIDENCIAL.

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA

DISEÑO MECÁNICO - INGENIERÍA MECÁNICA

PRESENTA:

ING. GERARDO PÉREZ RAMOS



TUTOR:  
DR. VICENTE BORJA RÁMIREZ.

2010.

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: Dr. Marcelo López Parra.

Secretario: Dr. Leopoldo Adrián González González.

Vocal: Dr. Vicente Borja Ramírez.

1<sup>er</sup>. Suplente: Dr. Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich.

2<sup>do</sup>. Suplente: Dr. Adrián Espinosa Bautista.

Lugar o lugares donde se realizó la tesis:  
México D.F. Ciudad Universitaria, Facultad de Ingeniería.

TUTOR DE TESIS:

Dr. VICENTE BORJA RAMÍREZ.

---

FIRMA



## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a todas las personas que intervinieron para la realización de este trabajo y que me han apoyado a lo largo de mi formación académica, desde el apoyo incondicional de mis padres, hermanos, familiares, amigos, mi novia y las personas con las que trabajé, de las cuales aprendí a lo largo de mi estancia en el posgrado, entre ellas:

Al Dr. Vicente Borja Ramírez y Dr. Alejandro C. Ramírez Reivich los cuales me brindaron un sinnúmero de herramientas, conocimientos y experiencias, a ellos, por brindarme toda la confianza y apoyo para participar en el proyecto y ser el responsable del proyecto ante la empresa. Así como también a todos mis profesores, los cuales me guiaron en la licenciatura y posgrado.

A mis compañeros del posgrado: Ing. Joaquín Loaiza Martínez, Ing. Jesús Martínez López e Ing. Lia Gómez Mendiola los cuales fueron partícipes de este trabajo de diseño (desde la conceptualización hasta el prototipo funcional) y con los cuales eh crecido los últimos años, no solo físicamente sino académicamente, con los cuales eh vivido gratos momentos y experiencias relacionadas cuando se trabaja en equipo.

A mis compañeros Jonathan Peña Belmont y David Ibarra González, de los cuales se tuvo gran apoyo para la adquisición de equipo, selección de equipo de instrumentación, implementación de normas de refrigeración y pruebas de medición.

Por otro lado también quiero agradecer a los responsables de brindarnos la oportunidad de trabajar con la empresa colaboradora: Rosalba Cobos y Víctor Guerra junto con su equipo de trabajo, personas con las que se dio la comunicación universidad-empresa, de los cuales se obtuvo gran retroalimentación y apoyo para el desarrollo del proyecto.

Por ultimo quiero agradecer a dos grandes instituciones: UNAM y CONACYT, instituciones que me han brindado como a muchos otros una sólida formación académica y soporte económico respectivamente, dos cuestiones fundamentales cuando se habla de la continuidad académica.

**¡GRACIAS!**

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN GENERAL</b> .....	1
<b>OBJETIVOS</b> .....	3
<b>ALCANCES</b> .....	3
<b>CÁPÍTULO I. TRABAJO PREVIO (instalación residencial fotovoltaica autónoma).</b>	
I.1 Introducción del trabajo previo.....	4
I.2 Aplicaciones y tendencias del diseño de productos con uso de energía renovable (Tecnología fotovoltaica).....	6
I.3 Metodología de trabajo previo.....	7
I.4 Planeación de trabajo previo.....	7
I.5 Desarrollo del proceso (trabajo previo):	
I.5.1 Identificación de necesidades.....	7
I.5.2 Etapa de obtención de información de usuarios potenciales.....	9
I.5.3 Etapa de clasificación de información.....	9
I.5.4 Planteamiento de escenarios.....	9
I.5.5 Planteamiento de requerimientos.....	10
I.5.6 Desarrollo conceptual.....	10
I.5.7 Modelos conceptuales y pruebas de concepto.....	10
I.5.8 Análisis competitivo o estudio comparativo.....	11
I.6 Prototipo funcional-sistema de iluminación (trabajo previo).....	11
I.7 Resultados de prototipo funcional (trabajo previo).....	12
I.8 Conclusiones parciales de trabajo previo y trabajo posterior (enser doméstico híbrido con sistema de compresión de vapor).....	13
<b>CÁPÍTULO II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA (enser doméstico híbrido)</b> .....	14
II.3 Antecedentes de enseres domésticos no convencionales con sistemas de compresión de vapor.....	15
II.4 Metodología.....	16
<b>CAPÍTULO III. DISEÑO CONCEPTUAL</b> .....	16
III.1 Estudio comparativo; Búsqueda, análisis y síntesis de información: Patentes, productos comerciales análogos, artículos.....	17
III.2 Marcos comparativos.....	21
III.3 Definición de personas y escenarios.....	22
III.4 Definición de mercados.....	22
III.5 Modelos de negocios.....	23

III.6 Generación de alternativas de solución.....	23
III.7 Evaluación y selección del concepto.....	24
III.8 Descripción de los conceptos seleccionados.....	25
III.9 Definición de requerimientos.....	26
III.10 Establecimiento de especificaciones objetivo.....	27
III.11 Restricciones.....	28
<b>CAPÍTULO IV. DISEÑO A NIVEL SISTEMA.....</b>	<b>28</b>
IV.1 Propuestas de configuración del sistema.....	28
IV.2 Diagramas de componentes.....	30
IV.3 Configuración final del sistema.....	30
IV.4 Diagrama de componentes y funciones.....	30
IV.5 Modelo de la configuración final del sistema en 3D.....	30
<b>CAPÍTULO V. DISEÑO DE DETALLE.....</b>	<b>31</b>
V.1 Cálculo de carga térmica: .....	31
V.1.2 Consideraciones para el cálculo de la carga térmica.....	31
V.1.3 Datos de entrada.....	32
V.1.4 Resultados de la carga térmica.....	32
V.1.5 Comparación entre coeficientes de convección considerados.....	33
V.2 Definición de componentes principales.....	34
V.3 Dimensionamiento de componentes.....	35
V.4 Selección de componentes.....	36
<b>CAPÍTULO VI. PROTOTIPADO.....</b>	<b>36</b>
VI.1 Adquisición de componentes.....	36
VI.2 Modificaciones del concepto.....	37
VI.3 Construcción y puesta en marcha.....	37
<b>CAPÍTULO VII. PRUEBAS Y RESULTADOS.....</b>	<b>38</b>
VII.1 funcionamiento del prototipo.....	38
VII.2 Interacción entre el sistema de refrigeración y el sistema híbrido de alimentación eléctrica.....	41
VII.3 consumo de energía eléctrica de la red eléctrica convencional (prototipo vs convencional).....	41
<b>CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO.....</b>	<b>44</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>46</b>

## ANEXOS

- Anexo 1: Fichas técnicas de refrigeradores comerciales.
- Anexo 2: Patentes.
- Anexo 3: Fichas de patentes.
- Anexo 4: Componentes principales identificados.
- Anexo 5: Marcos o gráficos comparativos.
- Anexo 6: Escenarios.
- Anexo 7: Modelos de negocios.
- Anexo 8: Conceptos de solución.
- Anexo 9: Matriz de selección.
- Anexo 10: Parámetros de diseño.
- Anexo 11: Definiciones de acuerdo a NOM-015.
- Anexo 12: Propuestas de configuración del sistema.
- Anexo 13: Configuración final del sistema.
- Anexo 14: Cálculo de la carga térmica teórica.
- Anexo 15: Hoja de cálculo para carga térmica.
- Anexo 16: Componentes principales de prototipo.
- Anexo 17: Benchmarking de paneles FV.
- Anexo 18.1: Selección de componentes.
- Anexo 18.2: Hoja de cálculo para dimensionamiento FV.
- Anexo 19: Curvas de desempeño y comparativo de compresores (convencional-prototipo).
- Anexo 19.1: Detalles de adquisición de compresor-unidad de control.
- Anexo 19.2: Componentes adquiridos para la construcción y prueba del prototipo.
- Anexo 20: Ficha técnica de compresor.
- Anexo 21: Ficha técnica de compresor convencional.
- Anexo 22: Ficha técnica de paneles Solares.
- Anexo 23: Ficha técnica de cable.
- Anexo 24: Ficha técnica de batería.
- Anexo 25: Ficha técnica de controlador de carga.
- Anexo 26: Costos parciales.
- Anexo 27: Modificaciones de la configuración.
- Anexo 28: Actividades de construcción y puesta en marcha de prototipo.

## **INTRODUCCIÓN GENERAL:**

La principal forma de generar energía eléctrica en la actualidad es a través de plantas termoeléctricas, las cuales abarcan el 45%<sup>1</sup> de la capacidad efectiva instalada en México. La energía eléctrica producida por las plantas termoeléctricas se obtiene a partir de fuentes de energía primaria como los hidrocarburos y el carbón.

El gradual agotamiento y la difícil extracción de las reservas de fuentes de energía primaria han provocado el aumento de su valor monetario y por lo tanto el incremento del costo de la energía eléctrica. De esta forma, el crecimiento de la industria de energías renovables entre ellas la solar se verá beneficiada a largo plazo, ya que ese tipo de fuentes de energía son inagotables y no tienen costo.

De acuerdo con el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE), el refrigerador ocupa el segundo lugar dentro del consumo de energía eléctrica de una vivienda (sin aire acondicionado) en México. De ahí, la importancia de impulsar el desarrollo de sistemas de refrigeración alternos que funcionen con fuentes de energía renovable que minimicen el consumo de energía eléctrica de la red eléctrica convencional (REC).

Con base en lo anterior y con el trabajo reportado en el capítulo I sobre una instalación residencial autónoma fotovoltaica (FV) surgió el proyecto titulado “refrigerador híbrido” en el cual trabajarían colaborativamente la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y una empresa colaboradora con el fin de realizar propuestas que impulsen el desarrollo de tecnologías limpias en el área de refrigeración para reducir el consumo de energía eléctrica de la red eléctrica convencional (REC) y con ello los costos de funcionamiento.

Esta tesis está basada en dichos proyecto de investigación y desarrollo para los cuales unos de los objetivos fueron: generar conocimientos e innovaciones tecnológicas en el área de iluminación y sistemas de refrigeración domésticos a través del uso de fuentes de energía renovable.

El objetivo principal de estos proyectos fue diseñar y construir prototipos tanto de una instalación residencial autónoma FV (trabajo previo-sistema de iluminación-capítulo I) como de un enser doméstico híbrido que utilizara energía solar y energía eléctrica suministrada de manera convencional (REC).

El presente documento contiene los resultados del trabajo realizado en la estadía del posgrado en diseño mecánico tanto el trabajo previo (instalación residencial fotovoltaica autónoma con duración de 1 semestre [1], como el desarrollo y construcción del enser residencial híbrido FV-REC con sistema de compresión de vapor; las 6 etapas principales que constituyeron dicho proyecto, estos dos trabajos tienen gran relación y son complementarios, por lo que se decidió conjuntarlos en esta tesis.

---

<sup>1</sup> CFE. Comisión Federal de Electricidad. 23 de diciembre de 2008.

Debido a políticas de confidencialidad de la empresa colaboradora, parte de la información (anexos) del proyecto tiene un manejo estrictamente confidencial.

Los resultados del proyecto están constituidos principalmente por la definición del mercado al cual van dirigidos los productos, establecimiento de requerimientos, búsqueda, análisis y síntesis de información de patentes y/o productos similares existentes en el mercado, establecimiento de especificaciones objetivo, desarrollo conceptual, identificación de componentes principales, diagramas de funciones-componentes, propuestas de conceptos solución, dimensionamiento y selección de equipo, construcción, puesta en marcha y pruebas de prototipo vs convencional.

Para llevar a cabo la primera etapa del proyecto (“enser doméstico híbrido”) se siguió la metodología propuesta por el curso Diseño Sustentable tomado durante la maestría de diseño mecánico, que integró aspectos ambientales, económicos y sociales, durante el proceso de desarrollo del prototipo. Además, se incluyeron algunas técnicas utilizadas en el desarrollo de la instalación fotovoltaica autónoma (Capítulo I) aprendidas durante el curso *New Product Development* (NPD) realizado en el 2008 (Agogino et al, 2008) para la generación y selección de los conceptos finales.

Es importante señalar que cuando se trabaja en proyectos de desarrollo de productos o prototipos, el trabajo organizado en equipo es fundamental en el seguimiento de las metodologías de diseño utilizadas para este trabajo, todo lo presentado en esta tesis es la recopilación del trabajo en equipo llevado a cabo y mi aportación en gran medida como responsable del proyecto (enser híbrido FV-REC con sistema de compresión de vapor) ante la empresa colaboradora.

## **LOS OBJETIVOS DE ESTA TESIS SON:**

- Diseñar<sup>2</sup>, construir, probar y discutir sobre el desarrollo de un enser doméstico híbrido, que utilizan energía solar y energía eléctrica suministrada de manera convencional (REC), con el fin de disminuir el consumo de energía eléctrica tomado de la REC y por lo tanto el costo durante su funcionamiento.
- Generar investigación y conocimientos en el área de enseres domésticos que emplean fuentes de energía renovables.
- La futura implementación de este o similares sistemas híbridos o autónomos.
- Impulsar el desarrollo de este tipo de productos en México.

## **LOS ALCANCES DE ESTA TESIS SE DEFINIERON COMO:**

- Dar a conocer a la empresa las distintas tecnologías existentes y las utilizadas en equipos comerciales.
- Definir un concepto de enser híbrido con base en tecnologías existentes y comerciales.
- Construir y probar un prototipo.
- Reportar el proceso seguido y los resultados obtenidos.

## **CAPITULO I.**

---

<sup>2</sup> a, b y c.

<sup>a)</sup> Diseño conceptual: necesidades del cliente y usuario, identificación de productos competitivos, análisis de patentes, requerimientos, establecimiento de especificaciones objetivo, generación de conceptos, factibilidad de los conceptos generados, selección de concepto.

<sup>b)</sup> Configuración o diseño a nivel sistema: generación de arquitecturas alternativas del producto, definir los subsistemas e interfaces principales.

<sup>c)</sup> Diseño de detalle: definir dimensiones, materiales, ubicación, condiciones de frontera, carga térmica, dimensionamiento de equipo, selección de equipo.

Definiciones basadas en: (Ulrich y Eppinger, 2008), (Hernandez Goribar, E., 2009), (Melgarejo Moreno, P., 1995), (Photovoltaics, 2004), (Sanchez Maza, M.A., 2008), y experiencia propia.

## TRABAJO PREVIO: INSTALACIÓN RESIDENCIAL AUTÓNOMA FOTOVOLTAICA (Pérez *et al*, 2009).

### I.1 Introducción del trabajo previo.

Este trabajo previo, tuvo como objetivo presentar el proceso de diseño empleado en el proyecto “*Solar Installation*” (Instalación Solar) enfocado a encontrar áreas de oportunidad de la energía solar en México y con el cual se confirman los beneficios de utilizar una metodología de diseño y de trabajo en equipo, enfocada hacia la innovación, para desarrollar productos competitivos para un mercado determinado.

Como resultado de este trabajo previo, se desarrolló el concepto de un sistema de iluminación LED (diodo emisor de luz) – fotovoltaico, dirigido a casas habitación (Riveros, 2010), (Loaiza, 2010).

De acuerdo con las estadísticas anuales del 2008 del Sistema de Información Energética (SIE) de la Secretaria de Energía (SENER) y la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en México, el sector doméstico consume el 27 % de la energía total que se genera en el país; de este porcentaje, el 43% se destina sólo a iluminación, siendo el sector residencial el segundo gran consumidor de energía eléctrica, seguido por el sector comercial, y precedido por el sector industrial en el primer lugar (Fig. 1).

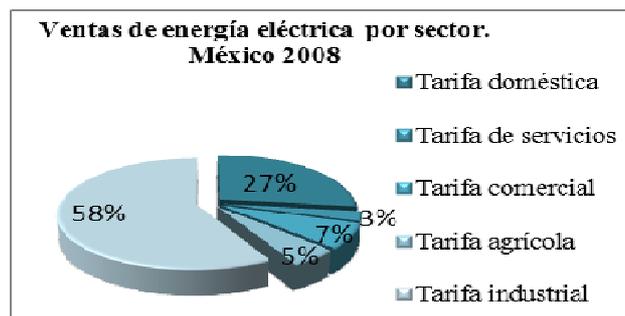


Figura 1. Venta de energía eléctrica por tarifa (MWh) (Pérez *et al*, 2009).

Lo que significa que en un año se registraron 28,362,204 usuarios en el sector residencial, con un consumo total de 4,762,982.50 MWh, y de los cuales 2,048,082.48 MWh fueron consumidos sólo en iluminación. En promedio, en un hogar situado en un clima templado, del consumo eléctrico total, el 35% es destinado a iluminación (Pérez *et al*, 2009).

De acuerdo con la Administración de Información Energética (EIA) de los Estados Unidos de América (Pérez *et al*, 2009), las ventas por sector en 2007 muestran que 37% del total de energía producida es dirigida al sector residencial (Fig. 2).

Teniendo en cuenta que por cada kilowatt-hora utilizado se “pierden” 2.2 kWh en su transmisión si se cambiaran las bombillas incandescentes por fluorescentes se reducirían las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por la electricidad hasta en un 36%, lo que representa 42.2 millones de toneladas al año (Pérez *et al*, 2009).

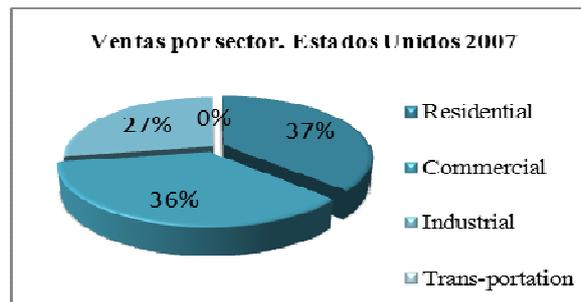


Figura 2. Ventas por sector en los EUA (Pérez *et al*, 2009).

A su vez, se puede ahorrar energía eléctrica destinada a la iluminación de viviendas hasta en un 74 % utilizando focos ahorradores de 22 W (Pérez *et al*, 2009); lo que representaría una gran disminución en el consumo eléctrico nacional, y una gran oportunidad para el uso de sistemas alternativos como los fotovoltaicos (FV) de bajo consumo eléctrico.

En cuanto al panorama solar nacional, la posición geográfica de México ofrece grandes ventajas para la energía fotovoltaica (FV). En varios de sus estados se mantiene una radiación solar promedio diaria de 281.36 Wh/m<sup>2</sup> y un promedio diario de 6-7 horas pico solar, con una temperatura promedio anual de 20.7° C (Pérez *et al*, 2009).

En México el sector solar está en crecimiento. Existen alrededor de 119 empresas pertenecientes a la Asociación Nacional de Energía Solar, de las cuales sólo 65 dedican el 100% de sus actividades al sector solar, ya sea a través de calentadores solares o de paneles FV. La mayoría de ellos son distribuidores e importadores de sistemas FV o térmicos (Pérez *et al*, 2009).

El número de viviendas particulares habitadas en el país es de 24.7 millones, con un promedio de 4.2 habitantes. De cada 100 viviendas, 92 son casas particulares y 8 departamentos en edificios. El tamaño de las viviendas medido a partir del número de cuartos, muestra que casi la mitad (48.8%) tenían entre uno y tres, 37% contaba con cuatro o cinco cuartos y solo 12.7% disponía de seis o más. Esto resulta en un promedio de 3.6 cuartos por vivienda en el país (Pérez *et al*, 2009), por lo que en el proyecto de instalación solar residencial se tomaron en cuenta estos datos para diseño conceptual.

Este trabajo previo, presento un proyecto que tuvo el propósito de desarrollar un producto que contribuyera a disminuir el consumo de energía residencial explorando la aplicación de energía solar generada por celdas fotovoltaicas.

Las actividades principales del proyecto fueron: planteamiento de la misión, análisis del mercado, identificación de necesidades de los usuarios, planteamiento de posibles escenarios de actuación, listado de los requerimientos y especificaciones objetivo, desarrollo conceptual, prueba de conceptos, y manufactura y prueba de prototipo. El concepto que resultó de este proyecto fue titulado “*Solar Flexible Lighting, Helping the enviroment improving your lighting*”, y fue desarrollado a nivel conceptual respaldado con un prototipo y pruebas del mismo. Este proyecto (trabajo previo) se realizó como parte de un curso binacional (Agogino *et al* 2008) y tuvo una duración de cinco meses (1er semestre de estancia en posgrado).

La siguiente sección de este capítulo provee información sobre la energía fotovoltaica y sobre las oportunidades de su uso para iluminación y otros usos domésticos. Luego se describe la metodología seguida durante el desarrollo del proyecto, el cual se divide en tres etapas: planeación, identificación de necesidades y desarrollo conceptual. Al final de este capítulo se presentan

conclusiones parciales de este trabajo previo que incluyen notas sobre el Diseño y Construcción de Enser Híbrido de Aplicación Residencial.

## I.2 Aplicaciones y tendencias de diseño sobre la energía fotovoltaica.

La energía FV tiene una gran variedad de aplicaciones entre las que se encuentran la comunicación, refrigeración, bombeo, purificación de agua, iluminación, monitoreo ambiental, marina, aviación, residenciales y comerciales. La mayoría de los sistemas fotovoltaicos están formados por paneles solares, regulador de carga, módulo de carga, inversor y la carga (Pérez *et al*, 2009).

Generalmente, los paneles FV están conformados por celdas FV de silicio que transforman la energía del Sol en forma de luz en corriente eléctrica directa (DC) generada por la diferencia de potencial entre dos placas con cargas eléctricas opuestas. La eficiencia de las celdas varía en función de su composición: silicio monocristalino, policristalino o amorfo (Pérez *et al*, 2009).

La tecnología FV es considerada confiable por sus ventajas: durabilidad, bajo costo de mantenimiento, modularidad, seguridad e independencia. Por el contrario, el alto costo inicial, la variación en la disponibilidad de la radiación solar, el almacenaje de energía, y el aún bajo nivel de eficiencia son desventajas que frenan el mercado FV (Pérez *et al*, 2009).

Las **tendencias de diseño** (Pérez *et al*, 2009) para reducir las desventajas antes mencionadas son:

- Reducir la cantidad de energía requerida por los equipos (utilizando dispositivos más eficientes) y con ello disminuir el número de paneles FV.
- Eliminar o disminuir el uso de dispositivos adicionales tales como baterías, controladores de carga e inversores.
- Incrementar el uso de aparatos de DC en casas y oficinas.
- Diseñar dispositivos FV fáciles de usar e instalar.

En particular, los Sistemas FV de corriente directa con almacenaje de energía son útiles cuando es necesaria la disponibilidad de energía en días muy nublados, durante la noche o cuando se necesita de un suministro constante de energía eléctrica. Para estos casos las baterías son la solución más común. Estos sistemas (Fig.3), incluyen básicamente módulos FV, controladores de carga y baterías, y dependen en gran medida de las condiciones geográficas, climáticas locales y de las necesidades de consumo eléctrico (Pérez *et al*, 2009). Esta configuración es muy utilizada en sistemas de iluminación.

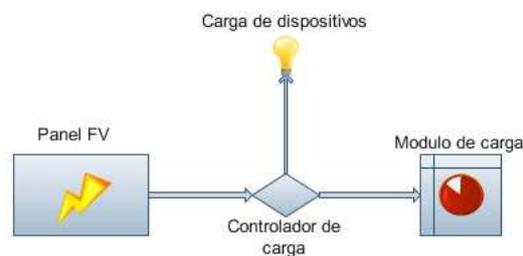


Figura 3. Sistema FV de DC con almacenaje de energía (Pérez *et al*, 2009).

En general los sistemas FV son muy personalizados y requieren, en la mayoría de los casos, de asistencia técnica especializada para su instalación y mantenimiento. La tecnología FV genera empleos en investigación, manufactura, diseño, desarrollo e instalación (Pérez *et al*, 2009).

En resumen, las aplicaciones de la tecnología FV con gran potencial de impacto económico y ambiental son la iluminación y refrigeración. La iluminación LED impulsada por tecnologías FV, aunque requiere de una inversión inicial mayor respecto a los sistemas convencionales, genera beneficios económicos, ambientales y sociales a largo plazo.

### **I.3 Metodología de trabajo previo.**

El proyecto sobre el trabajo previo (instalación residencial autónoma FV) inició con la participación colaborativa entre el área de diseño mecánico de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, la Universidad de California Campus Berkeley y la comercializadora de instalaciones solares y otros productos ecológicos Real Goods.

Equipos multidisciplinarios de México y de EEUU compartieron información y se retroalimentaron para desarrollar conceptos de productos usando energías renovables. Estos proyectos se realizaron durante el curso “*New Product Development Process: Design Theory and Methodology*” (Agogino *et al*, 2008). Los conceptos y prototipos finales se presentaron ante jueces académicos, empresarios y estudiantes, quienes criticaron y enriquecieron la exhibición desde una postura funcional y comercial basada en el proceso de innovación con fines cien por ciento de aprendizaje académico.

Este proceso de diseño fue dirigido al mercado mexicano para casa habitación buscando un enfoque de innovación que cambiara la experiencia en adquisición, instalación, uso y mantenimiento de sistemas FV convencionales. El proceso que se siguió (fig. 4) para el desarrollo del concepto se basó en una metodología de diseño y desarrollo de productos (Ulrich y Eppinger, 2008) y comprendió las siguientes etapas: planeación, desarrollo del concepto, diseño a nivel sistema, diseño de detalles, pruebas, refinamiento y fabricación de prototipo.

### **I.4 Planeación de trabajo previo.**

En esta etapa la principal tarea se enfocó en la detección de oportunidades para la aplicación de la energía solar FV en México. Esto se logró con una búsqueda extensa de información estadística referente a la energía, datos demográficos, evaluación de diversos productos solares fotovoltaicos en el mercado y entrevistas. Esta fase de planeación concluyó con la declaración de la misión del producto, que incluyó:

- Descripción del producto: sistema solar de iluminación LED para habitaciones con autonomía de 5 horas y también recarga de celulares y iPod's.
- Mercado primario: personas que viven en zonas urbanas que buscan independencia en iluminación, ahorro económico a mediano plazo e interesadas en comenzar una vida ecológica.
- Beneficios propuestos: menor costo en comparación con sistemas similares, producto fácil y rápido de instalar, versatilidad y libertad de movimiento, instalación escalable.

### **I.5 Desarrollo del proceso.**

#### **I.5.1 Identificación de necesidades.**

La identificación de necesidades fue el paso más importante del desarrollo del proyecto, pues en él se especificó el problema para el cual se iba a diseñar.

Esta fase se compone de dos momentos principales: la etapa de obtención de información de usuarios potenciales, y la etapa de clasificación de información (Ulwick, 2002) y (Seybold, 2002).

La primer etapa se llevó a cabo por medio de tres técnicas: las entrevistas uno a uno, los grupos de enfoque, y la observación; siendo ésta última la herramienta más sutil y eficaz, pues no queda reflejada la postura fingida que el usuario adquiere cuando se le interroga sobre sus actividades personales, con la finalidad de proyectar la actitud de una persona que realmente no es (Pérez et al 2008; Riveros, 2008).

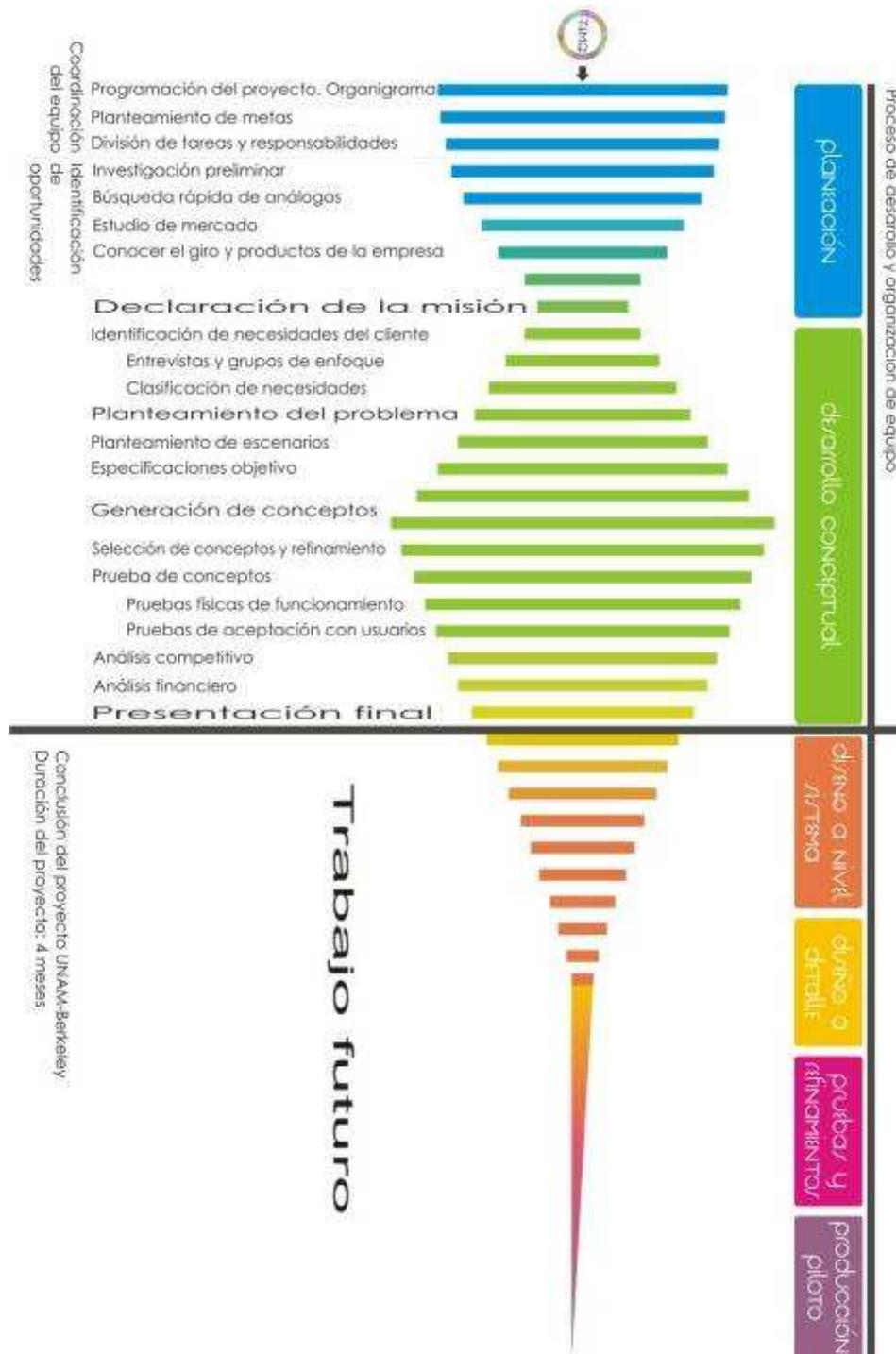


Figura 4. Diagrama de proceso de diseño utilizado en trabajo previo (Pérez et al, 2009; Riveros, 2010).

### **I.5.2 Etapa de obtención de información de usuarios potenciales.**

En esta etapa se entrevistaron personas en función de su relación con energías renovables. Estas entrevistas se registraron con grabación de video y notas a mano (Ulrich y Eppinger, 2008).

Es importante mencionar que el método utilizado para entrevistar a la población rural fue muy distinto al empleado para entrevistar a la urbana. En este último caso, se planteó la entrevista como una plática común. El objetivo en esta fase fue obtener la mayor cantidad de información sin intimidar con nuestra presencia ni mucho menos con nuestras preguntas. El resultado fue una serie de datos que superaron las expectativas iniciales de información.

Las conclusiones más representativas en esta etapa fue que la iluminación y refrigeración son una necesidad básica de los usuarios urbanos y rurales. Lo anterior, apoyado con los datos estadísticos presentados en la sección de introducción de este trabajo previo, el objetivo inicial de este trabajo previo que fue la conceptualización de una instalación solar y no un enser doméstico, todo lo anterior dio la pauta para proponer un producto de iluminación alimentada por sistemas FV.

### **I.5.3 Etapa de clasificación de información.**

Se interpretaron los datos de las entrevistas sin procesar en términos de las necesidades del usuario a manera de requerimientos o características del producto, para luego ser organizadas en una jerarquía según su enfoque ergonómico, funcional, estético, de producción y de mercadotecnia. Las necesidades se clasificaron de acuerdo al método Kano (Walden, 1995) como se muestra a continuación:

- Las necesidades que deben ser, son las que el cliente da por hecho que el producto debe tener:
  - Seguro, económico, eficiente y funciona en condiciones extremas.
- Las necesidades de primera necesidad, son aquellas que hacen que la satisfacción del cliente sea proporcional al nivel de funcionalidad del producto. Las necesidades de este tipo fueron:
  - Autosuficiente, autónomo, estandarizado, interface amable con el usuario, fácil de instalar, intuitivo y lógico, mantenimiento mínimo y accesible.
- Las ventajas competitivas fueron:
  - Portable, escalable, divertido, integrable y ecológico.

### **I.5.4 Planteamiento de escenarios.**

Para la definición de escenarios de usuarios, en primer lugar se realizaron "gráficos comparativos" (Beckman y Barry, 2007) en donde se analizaron y clasificaron a los usuarios entrevistados (18).

Las personas entrevistadas, fueron consideradas en relación con las energías renovables, por lo que se consideró usuarios potenciales en la zona rural de Hidalgo y usuarios en la zona urbana de la Ciudad de México, desde los que no contaban con energía eléctrica, los que utilizaban un pequeño panel FV para un par de focos, calentadores solares, instalaciones autónomas (Casa solar Ajusco), hasta un sistema de interconexión a la red utilizado en una tienda de autoservicio (The Green Corner).

El 44 % de los usuarios están gran parte del tiempo en casa, el 55 % no siempre está en casa. El 44 % conoce las energías renovables (E.R.), 38% ha escuchado sobre las E.R. y el 16 % no conoce las E.R. El 33% tiene libre acceso a la información de tecnología (internet), el 44 % tiene acceso regular y el 22% no tiene acceso a ese tipo de información. También que el 50 % de los usuarios utiliza la energía eléctrica de 8 a 12 horas (principalmente en iluminación), el 38 % la utiliza de 4 a 6 horas y el resto casi no la utiliza. Por último, el 55 % recién conoce las E.R. el 11 % ya conocía las E.R., el 5% son seguidores de estas tecnologías y al resto no le interesa (Pérez *et al*, 2009).

### **I.5.5 Planteamiento de requerimientos.**

Los requerimientos del producto se establecieron a partir de las necesidades identificadas y las características de un sistema fotovoltaico. Estos fueron: número de partes, volumen, masa, tipo de unión, consumo eléctrico, ángulos planos y formas, tiempo de instalación, intensidad de iluminación, temperatura, autonomía, costos parciales, colores, símbolos, luces, acabados, tipo de conexiones, carga eléctrica, capacidad de almacenamiento de carga y horas pico solar promedio (Pérez *et al*, 2009).

Una vez enlistados los requerimientos, paralelamente con la generación de conceptos, creación de prototipos y pruebas funcionales; se obtuvieron las especificaciones objetivo (mayor información, consulte referencia; Pérez *et al*, 2009).

### **I.5.6 Desarrollo conceptual de trabajo previo.**

La etapa de desarrollo conceptual fue la de mayor libertad creativa, extensa y rica en ideas. El objetivo en esta etapa fue obtener el mayor número de conceptos relacionados con los paneles fotovoltaicos dejando de lado los juicios de valor como lo proponen (Heiman y Laurel, 2007) y (Harris, 2002).

En total se generaron 32 conceptos (véase: Pérez *et al*, 2009; Riveros, 2010). El desarrollo conceptual se realizó en cuatro fases donde se generaron ideas, que más tarde fueron filtradas y seleccionadas mediante criterios basados en los requerimientos del producto. A partir de los conceptos seleccionados, se generaron otros nuevos y se mejoraron algunos otros. Éstos, a su vez, fueron nuevamente evaluados para hacer una nueva selección.

Para la tarea de generación conceptual se recurrió a cinco métodos: lluvia de ideas, analogías y metáforas, atributos, conceptos de relaciones forzadas y matrices comparativas con concepto de referencia. Los criterios usados en las matrices de comparación fueron: dimensiones pequeñas, pocas piezas, multi-cargador (capacidad de cargar diversos aparatos al mismo tiempo), efecto de luz natural, durable, bajo costo de producción, estándar, escalable, integrado, adaptable o integrable a las casas mexicanas, interface lógica e intuitiva, de fácil mantenimiento, de fácil instalación, forma parte de la vida del usuario, divertido, eficiente, uso en interiores y exteriores, bajo consumo de energía eléctrica y seguro.

### **I.5.7 Modelos conceptuales y pruebas de concepto.**

Conjuntamente con los modelos conceptuales, se crearon nuevamente escenarios y modelos de visualización (físicos y virtuales), los cuales fueron probados con usuarios potenciales, obteniendo información fundamental para la propuesta final (Pérez *et al*, 2009).

### **I.5.8 Análisis competitivo o estudio comparativo.**

Con base en los conceptos seleccionados, se realizó el análisis competitivo comparando sus ventajas y desventajas con productos análogos en el mercado nacional e internacional.

Para esta tarea se elaboraron matrices comparativas donde se enfrentaron dos oposiciones claras, (portable vs. no portable, muchas piezas vs. pocas piezas, dentro de la casa vs. fuera de la casa y cuesta más de \$500 USD vs. cuesta menos de \$500 USD) con las que fuera útil comparar los conceptos y los productos existentes (Pérez *et al*, 2009).

### **I.6 Prototipo funcional-sistema de iluminación.**

A partir de los conceptos generados en la tercera ronda (Pérez *et al*, 2009), modelos conceptuales, pruebas de conceptos y los resultados del análisis competitivo se determinó construir un prototipo que retomara como principal concepto la flexibilidad y como concepto secundario la escalabilidad, portabilidad, modularidad y facilidad de uso e instalación. Para el diseño FV se usaron metodologías existentes (Photovoltaics, 2004) y (Sanchez Maza, M.A., 2008). Entre las características que se tomaron en cuenta para el diseño del sistema de iluminación se incluyeron:

1. Iluminación de bajo consumo de energía.
2. Sistema de iluminación compatible con el sistema FV.
3. Intensidad de iluminación adecuada para leer.
4. Iluminación de tipo homogénea no puntual.
5. Costo del sistema de iluminación menor al del panel solar.

A partir de estas características se manufacturó un prototipo funcional (Fig. 5). El sistema completo (Fig. 6) consta de cinco elementos principales:

- Panel solar: es el encargado de captar la energía solar incidente para generar una corriente eléctrica.
- Regulador de carga: integrado con módulo de recarga de aparatos.
- Batería: da una autonomía al sistema de 3.5 horas diarias.
- Sistema de iluminación LED.
- Módulo de recarga de celulares y iPod's: es el encargado de gestionar el consumo de la batería y la carga, evitando sobrecargas o descargas profundas, alargando así la vida útil del sistema.



(a)



(b)

Figuras 5. Fotos de prototipo funcional (Pérez *et al*, 2009).

El prototipo se implementó en 2 semanas.

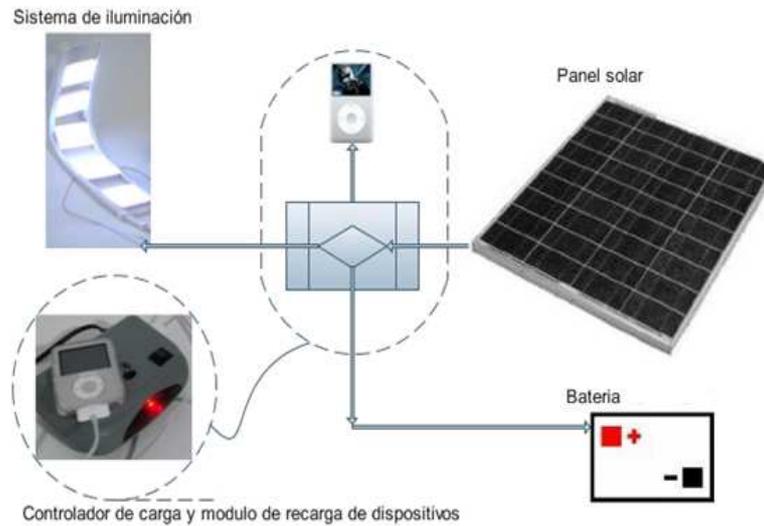


Figura 6. Sistema de prototipo-concepto (Pérez *et al*, 2009).

### I.7 Resultados de prototipo funcional.

A partir de las pruebas y observaciones realizadas con el prototipo funcional, se obtuvieron las siguientes ventajas:

- El consumo del sistema es de 25 Watts.
- La iluminación es de tipo homogénea (Fig. 7(a)).
- Se redujo el costo del sistema total gracias a la compatibilidad de la tecnología LED con los sistemas fotovoltaicos, y de esta manera **se eliminó el uso del inversor**.
- Se logró la flexibilidad del sistema.
- El costo del sistema de iluminación es menor que el costo del sistema fotovoltaico.

Se realizaron diversas pruebas de iluminación en cuartos oscuros (Figuras 5 y 7), así como también pruebas de funcionamiento. Se identificaron los siguientes aspectos que se deben mejorar:

- El calentamiento del sistema.
- La intensidad de iluminación.
- El tiempo de manufactura y ensamble.
- El tiempo de instalación.

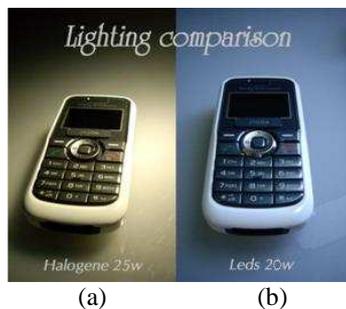


Figura 7. Comparativo de iluminación halógena y de prototipo (Pérez *et al*, 2009).

## **I.8 Conclusiones de trabajo previo y trabajo posterior (enser doméstico híbrido con sistema de compresión de vapor).**

Se confirmaron los datos obtenidos en la investigación con el análisis de detección de necesidades, es decir, **la iluminación y la refrigeración son unas necesidades fundamentales en aplicaciones residenciales, las cuales presentan grandes consumos energéticos que pueden minimizarse con el diseño de sistemas DC alimentados con sistemas fotovoltaicos.**

Se logró manufacturar un prototipo funcional el cual tuvo buena aceptación por usuarios potenciales, se analizó la interacción del usuario-prototipo (instalación y uso), se consiguió la facilidad de instalación en el tiempo propuesto, se logró la facilidad de conexión y uso mediante las conexiones eléctricas utilizadas (USB, RCA, conectores-pin), se obtuvieron el tipo de iluminación y la autonomía deseadas.

El sistema de iluminación cumplió con los objetivos planteados, los cuales fueron: un sistema de bajo consumo de energía, iluminación de tipo homogénea, flexible y un costo menor con relación al panel fotovoltaico. También se detectaron las áreas de oportunidad de este sistema, las cuales son: mejorar la intensidad luminosa, evitar el sobrecalentamiento del sistema, disminuir el tiempo de manufactura y ensamble, y proponer una alternativa al riel flexible.

La tarea principal como trabajo posterior a este trabajo previo fue investigar las posibilidades de crecimiento en los mercados principales: campismo e instalaciones urbanas para iluminación, **refrigeración residencial y comercial.** Cada una de ellas con un fuerte potencial en el mercado norteamericano y mexicano.

Respecto a la funcionalidad del prototipo, se trabajará en mejorar la intensidad de iluminación respetando las características de homogeneidad que se lograron en el prototipo, tomando como principales premisas la reducción del consumo eléctrico y del costo.

La metodología usada resultó una buena forma de detección y clasificación de necesidades, también nos permitió crear un buen número de conceptos, los cuales fueron probados y de donde se pudo converger a un prototipo funcional del cual se obtuvo buenos comentarios por parte de usuarios potenciales, jueces y profesores. Por otro lado, se considera que el tiempo de desarrollo fue corto para este trabajo previo, pero de gran aprendizaje, por lo que en algunas etapas se forzó a terminar para poder seguir con el proyecto del trabajo previo, así concluir a tiempo y pasar al siguiente proyecto relacionado y complementario (enser doméstico híbrido con sistema de compresión de vapor).

## CÁPÍTULO II.

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En muchas de las viviendas de México (sin aire acondicionado), el refrigerador consume en promedio casi la tercera parte de la energía eléctrica en el hogar (figura 8). Por otro lado, el crecimiento acelerado de la demanda de energía eléctrica, el aumento del costo de los combustibles fósiles para generarla y las altas emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), hacen llamado al desarrollo de tecnologías innovadoras y sustentables.

Por lo anteriormente expuesto y trabajo previo, se propuso el proyecto del desarrollo de un enser híbrido que redujera el uso de energía eléctrica de la red eléctrica convencional (REC), utilizando fuentes de energía renovables como la solar (figura 8).



Figura 8. Propuesta del prototipo.

La importancia del proyecto radicó en el uso de fuentes de energías renovables, las cuales generan energía limpia que no se agota ni produce gases de efecto invernadero (GEI) que son causantes del cambio climático. Esta propuesta tiene un futuro prometedor en la industria debido al creciente interés de la sociedad por adquirir productos que no dañen al medio ambiente. Además, el desarrollo de energías renovables se ha convertido en uno de los sectores con mayor potencial de crecimiento.

De ahí que en este proyecto se desarrolló el diseño conceptual, configuración o diseño a nivel sistema, diseño de detalle, construcción y evaluación de prototipo de un enser doméstico híbrido con sistema de compresión de vapor.

## II.1 Antecedentes de enseres domésticos no convencionales.

Los enseres solares han tenido grandes avances tecnológicos y abarcan diversos sistemas como los mostrados en la figura 9.

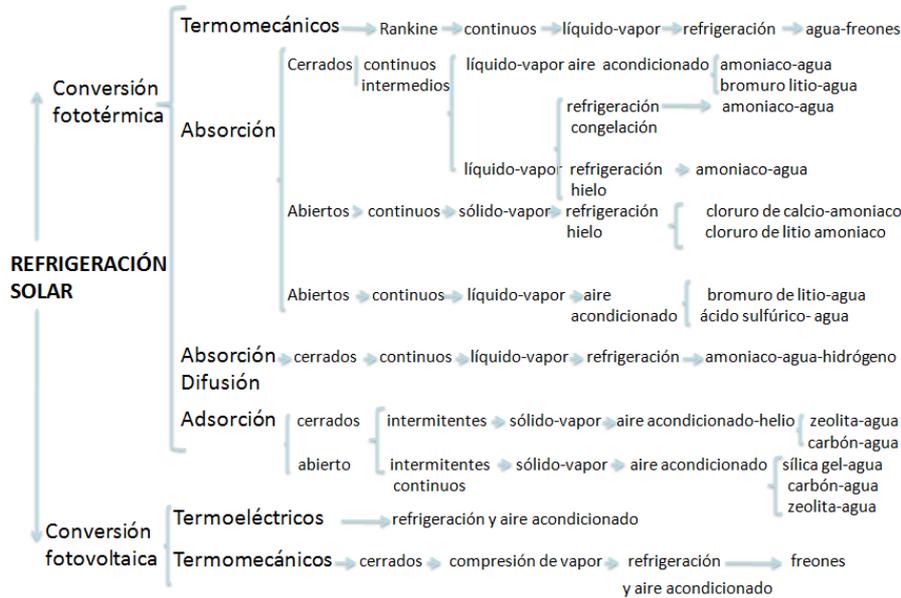


Figura 9. Clasificación de sistemas de refrigeración solar. (Pilatosky, 2004)

Las tecnologías fototérmicas son mayoritariamente aplicadas a un uso externo al residencial y a equipos integrales siendo lo contrario para equipos fotovoltaicos con sistemas de compresión de vapor y termoelectrónicos (aplicaciones internas y modulares).

Por otro lado, los equipos fototérmicos resultan menos familiares a usuarios y técnicos, aunque ya tienen bastante tiempo de ser utilizados, sin embargo los ciclos de compresión predominan. En cuanto a los equipos termoelectrónicos, su elevado costo y falta de información es un impedimento para su aplicación, por lo que son mayoritariamente aplicados a refrigeración de baja escala ( $\leq 60$  W de capacidad).

No obstante los equipos fotovoltaicos han sido ampliamente usados en el sector salud. A finales de 1985, se habían instalado 600 refrigeradores solares en el mundo, en 1993, cerca de 3700 de los cuales la mitad se instalaron en África y al final de 1997 se instalaron 7000 (Pilatosky, 2004).

Cabe mencionar que las patentes más recientes van encaminadas no solo al almacenamiento eléctrico sino al almacenamiento térmico e incremento de la eficiencia, para ello se procura la eliminación o disminución de controladores de carga, baterías, inversores y promover el uso de equipos de corriente continua (Sección I.2) y equipos con control electrónico que mejoran la eficiencia en el manejo de energía fotovoltaica disponible. Incluso se dice que equipos de refrigeración con esas características en algunas aplicaciones como la domestica requieren de entre 95 y 120 Watts de potencia fotovoltaica (FV) (Pilatosky, 2004) o incluso menor como se ha demostrado en algunos artículos (Foster et al, 2009), aunque esto irá disminuyendo como avance la tecnología de captación.

Por otro lado, no se encontraron conceptos, prototipos, patentes o refrigeradores comerciales híbridos que utilizaran la combinación FV-REC en su sistema de alimentación energética.

## **II.2 Metodología.**

Una vez definido el problema conjuntamente con la empresa y conociendo los antecedentes del problema, para llevar a cabo la primera etapa del proyecto (enser doméstico híbrido) se siguió la metodología propuesta por el curso tomado durante la maestría de diseño mecánico; Diseño Sustentable, que integró aspectos ambientales, económicos y sociales, durante el proceso de desarrollo del prototipo. Además, se incluyeron algunas técnicas utilizadas en el desarrollo de la instalación fotovoltaica autónoma (trabajo previo) aprendidas durante el curso *New Product Development* (NPD) realizado en el 2008 (Agogino et al 2008) para la generación y selección de los conceptos finales.

Una vez elegido el concepto a desarrollar, teniendo el gabinete a utilizar (proporcionado por la empresa), se procedió al cálculo de la carga térmica cuyo cálculo se basó en la experiencia previa de curso de aire acondicionado y refrigeración tomado en la licenciatura e impartido por el Ing. Rodrigo Bengoechea Olguín y de metodologías revisadas en las bibliografías de Hernández Goribar Eduardo (2009) y Melgarejo Moreno Pablo (1995), utilizando parámetros usados y proporcionados por la empresa colaboradora, parámetros como: coeficientes de conductividad, espesores, y coeficientes de película o de convección.

Se dimensionó, comparó y seleccionó el equipo necesario para la construcción del prototipo, el cual se construyó, se puso en marcha y se analizó su desempeño contra un refrigerador con el mismo tipo de gabinete el cual utilizó un sistema de refrigeración convencional proporcionado por la empresa.

## **CAPÍTULO III.**

### **DISEÑO CONCEPTUAL**

En este capítulo se presentan los resultados de la primera etapa del proyecto. Estos resultados fueron los siguientes:

- Estudio comparativo de enseres comerciales: termoeléctricos, híbridos (energía solar y eléctrica), de absorción y de compresión de vapor.
- Fichas de productos comerciales.
- Fichas de patentes de enseres termoeléctricos, híbridos (energía solar y eléctrica), de absorción, adsorción y de compresión de vapor.
- Tabla de componentes principales de enseres comerciales híbridos y solares.
- Análisis funcional de componentes principales del sistema por compresión de vapor.
- Análisis funcional para determinar el tamaño del sistema fotovoltaico.
- Marcos comparativos.
- Definición de personas y escenarios.
- Definición de mercados.
- Modelos de negocios.
- Tablas de conceptos de solución.
- Matriz de selección de conceptos.
- Conceptos de solución seleccionados

### III.1 Estudio comparativo.

Cuando se diseña y desarrolla un producto, una etapa previa a la generación de conceptos es la búsqueda de información, lo que brinda la confianza de que se han explorado, si bien no todo, si una gran parte de las alternativas.

Ulrich y Eppinger (2009) recomiendan realizar una búsqueda externa e interna previa al desarrollo conceptual, por lo que este estudio comparativo está basado en dicha referencia.

Una búsqueda externa puede incluir un estudio comparativo, que puede contener la consulta de expertos, búsqueda-análisis de patentes, búsqueda-análisis de productos comerciales, generación de marcos comparativos e investigación sobre la tecnología utilizada.

Para este estudio comparativo, se consultaron páginas web, bases de datos en internet, folletos, revistas y algunos artículos (ver referencias) con relación a la refrigeración no convencional. Se analizaron 11 marcas de enseres no convencionales existentes en el mercado. Fueron analizados 34 productos, entre los cuales se encontró: termoeléctricos, de absorción, de compresión de vapor, los cuales algunos eran híbridos (gas y REC) para abastecer a un sistema de por absorción. Para su análisis se elaboraron 18 fichas técnicas (tabla 1, anexo1), las cuales contienen la siguiente información: marca, modelos, dimensiones, sistema de refrigeración, tipo de aislante, consumo de energía eléctrica, valores de voltaje, precio, entre otras.

Se identificaron 34 enseres domésticos no convencionales de 11 empresas, que utilizan fuentes de energía alterna a la REC:

1. Promethean Power Systems.
2. Sun Danzer.
3. Sun Frost.
4. Dometic.
5. Solarchil.
6. Solar Power Inc.
7. Solatron Technologies.
8. Sub-Zero.
9. Polar Power Inc.
10. Shangyu Electronic CO.
11. Crystal Cold.

De las marcas mencionadas anteriormente, se encontraron diversos sistemas:

- 13 Fotovoltaicos autónomos con sistema de compresión de vapor (**tipo A**-figura 10).
- 1 Con sistema híbrido (compresión de vapor-celdas termoeléctricas) y abastecido por paneles FV (**tipo B**-figura 10).
- 1 Solar- con sistema por absorción (**tipo C**-figura 10).
- 12 DC autónomos con la posibilidad de usar Panel/es FV como medio de alimentación (**tipo D**-figura 10).
- 4 Gas como alimentación – absorción (**tipo E**-figura 10).
- 3 Híbridos (gas-electricidad) como alimentación y absorción (**tipo F**-figura 10).

Tabla 1. Ejemplo de ficha técnica de enseres comerciales.

Marca y Tipo	Modelos	Mercado	Estilo	Capacidad	Ficha No.
Shangyu Beier Electronic Co., Ltd. Fotovoltaico autónomo	BEIER	Residencial	Vertical	Total: 158 litros Enfriador: 98 litros	6
Consumo (diario, mensual o bimestral)	Sistema de refrigeración	Características y tipo de aislante	Alimentación		
NA	Compresión	Poliuretano	2V or 24V, potencia de entrada;72 W		
Mantenimiento	Tipo de compresor	Elementos extra (panel solar, baterías, planta diesel, etc.)	Precio por unidad		
NA	Compresor DC	Incluye panel solar, batería plomo-acido y controlador de carga	NA		
Características especiales	Versatilidad de uso de fuentes de energía	Dimensiones (alto x ancho x fondo) [in]	Comentarios extras		
	Incluye adaptador AC/DC	NA	País de origen: China		

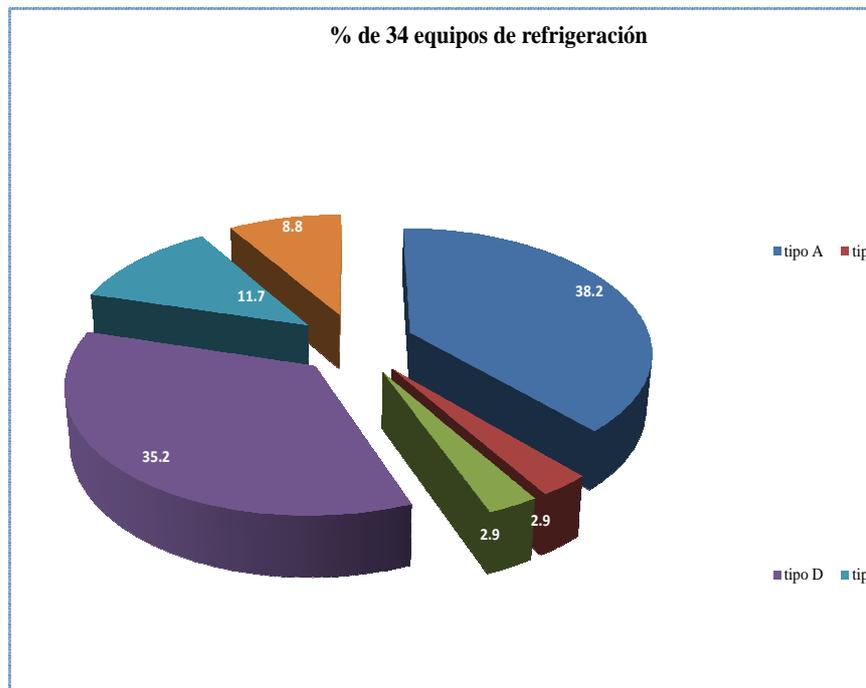


Figura 10. Porcentajes de tipos de enseres encontrados en el mercado.

En el análisis de los 34 equipos no convencionales existentes en el mercado, solo se encontraron enseres con sistemas del tipo: termoelectrico, de absorción y de compresión de vapor (y algunas combinaciones como termoelectrico-compresión), Algunos de los anteriores eran híbridos en su

sistema de suministro de energía (REC-GAS) o solo contaban con 1 solo medio de alimentación energética (REC, gas (butano y/o propano), fotovoltaico o fototérmico).

Así mismo, se hizo una búsqueda de patentes sobre enseres no convencionales enfocados al uso de energías renovables y tecnologías alternas al ciclo de compresión de vapor a través del buscador en línea *Free Patents Online* y en la base de datos de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI, WIPO por sus siglas en inglés). Se localizaron 35 patentes sobre el tema (Anexo 2), de las cuales fueron analizadas un total de 20. Las patentes incluyen enseres termoeléctricos, híbridos (energía solar y eléctrica convencional), de absorción, adsorción y de compresión de vapor. Su análisis consistió en la elaboración de fichas técnicas (anexo 3) como la mostrada en la tabla 2, que sintetizan su principio de funcionamiento y sus componentes principales, además se incluyen figuras y esquemas representativos.

En la figura 11 se puede ver un resumen de las tecnologías comerciales y patentes encontradas enfocadas al uso de energías ajenas a la REC.

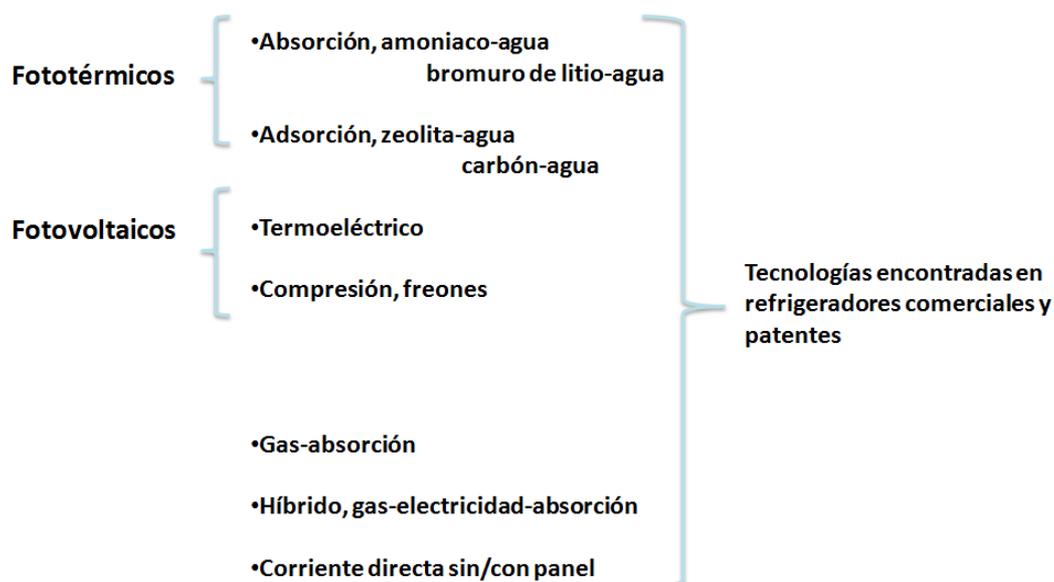


Figura 11. Tipo de tecnologías encontradas en enseres comerciales y patentes enfocadas al uso de energías alternas a la REC.

Basándose en estos dos tipos de fichas (enseres comerciales, patentes analizadas y enfocados al uso de energías renovables) se realizó un análisis y una identificación de los componentes principales de los enseres comerciales, los cuales fueron sintetizados en tablas descriptivas (anexo 4) como la mostrada en la tabla 3.

Tabla 2. Ejemplo de ficha técnica de patentes analizadas.

**TÍTULO: SOLARE KOMPAKT**

**No. de publicación internacional: WO 2004/065865 A1**

Fecha de publicación internacional: 5/08/2004

Antigüedad aproximada 5 años

**DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO**

- 1.- Sistema compacto portátil para producir hielo, la máquina funciona exclusivamente con un generador fotovoltaico.
- 2.- Lo principal de la invención es el desarrollo de hielo a partir del sol, la máquina es autónoma y puede ser usada en posiciones flexibles, le toma una hora iniciar su operación, después de haber sido conectada a un flujo de agua.
- 3.- El sistema se encuentra dentro de una estructura (2), tiene al menos un sistema de refrigeración por compresión para alimentar el productor de hielo (13), el cual es conectado individualmente o en grupos.
- 4.- Los elementos que forman al sistema son los siguientes: unidad de conversión de energía (3), módulo de carga (8), alimentación de agua (16) y un dispositivo aislado de almacenamiento de hielo (20).
- 5.- El invento cuenta con un generador fotovoltaico, el cual es colocado en el exterior de la estructura (2).

**DIBUJO GENERAL DEL DISPOSITIVO**

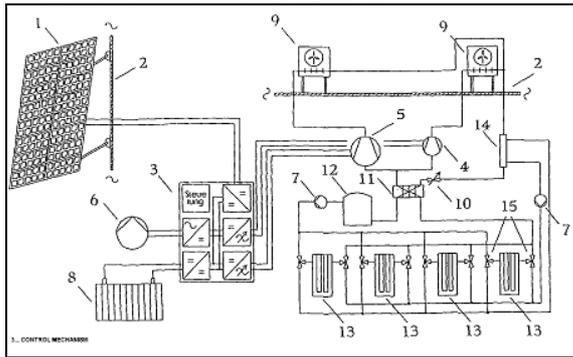


Figura a. Conexión entre dispositivos FV, control electrónico, y sistema de refrigeración

**DIBUJO –DETALLES**

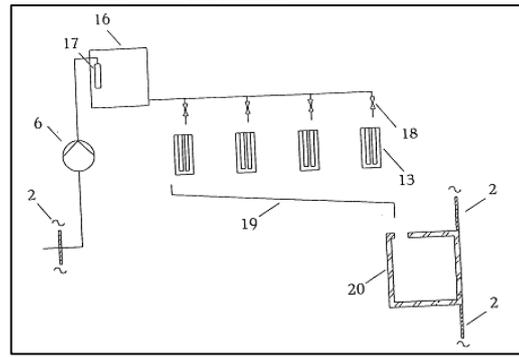


Figura b. Arreglo de congeladores y almacenamiento de hielo.

**COMPONENTES PRINCIPALES**

**FUNCIÓN**

COMPONENTES PRINCIPALES	FUNCIÓN
Estructura (2)	Contiene el sistema de refrigeración por compresión para producción de hielo.
Productor de hielo (13)	Se encarga de congelar el agua, este sistema puede estar conectado individualmente o en grupos.
Unidad de conversión de energía (3)	"Supongo que se trata de un controlador de carga o/ e inversor", el cual controla la carga de las baterías o convierte de corriente directa a corriente alterna.
Un modulo de carga (8)	Consta de un banco de baterías, el cual almacena energía.
Alimentación de agua (16)	Provee agua al productor de hielo de manera constante.
Generador fotovoltaico (1)	Alimenta con energía al sistema.

Tabla 3. Ejemplo parcial de tabla descriptiva de componentes principales de enseres comerciales.

Tipo de uso	#	Nombre	Descripción	Principio	Imagen o esquema representativa	Ejemplos
Compresión de vapor	1	Compresor recíprocante de corriente directa DC con control electrónico.	Se trata de un compresor hermético que trabaja con corriente directa y puede ser de velocidad variable.	Su principio de funcionamiento es a base de pistón-cilindro, el pistón está acoplado a un cigüeñal el cual es impulsado por un motor DC y controlado por una unidad electrónica.		Los refrigeradores Sun Danzer en sus modelos DCR50&DCF50, DCR165&DCF165 y DCR225&DCF255, SOLAR CHILL y FREEZ SOLAR utilizan este tipo de compresor con un control automático en función de la energía disponible.
	2	Compresor recíprocante de corriente alterna.	Se trata de un compresor hermético que trabaja con corriente alterna.	Su principio de funcionamiento es a base de pistón-cilindro, el pistón está acoplado a un cigüeñal el cual es movido por un motor AC.		Los refrigeradores convencionales con ciclo de compresión de vapor utilizan este tipo de compresor.
Aislamiento	3	Poliuretano	Utilizado como aislante térmico. Se trata de una espuma de poliuretano que se utiliza para reducir la transferencia de calor, su densidad es de 30-50 kg/m³.	La capacidad de aislamiento térmico del poliuretano se debe al gas aprisionado en las celdillas cerradas del entramado del polímero.		Refrigeradores de las marcas Solatron Technologies y Polar Power, utilizan este tipo de aislante con diferentes espesores.

\*(Todos los refrigeradores a los que se hace referencia se muestran en el estudio comparativo de refrigeradores no convencionales y comerciales)

### III.2 Marcos o gráficos comparativos.

Estas representaciones gráficas sirvieron para identificar nichos de mercado y detectar oportunidades para la innovación. Los marcos comparativos representaron gráficamente la información recopilada en el *benchmarking* y en la búsqueda de patentes. Para la elaboración de estas representaciones se involucraron aspectos como el costo, consumo de energía, el uso de energías renovables y tecnologías existentes en el mercado (figura 12, anexo 5).

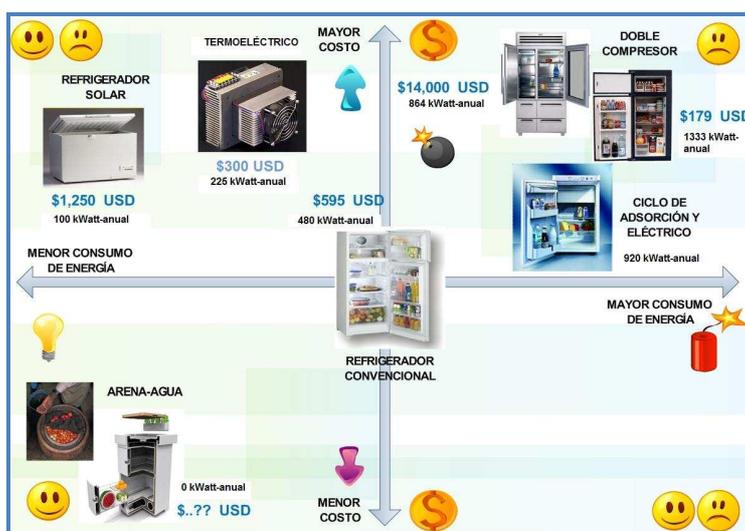


Figura 12. Ejemplo de marco comparativo: Consumo de energía vs Costo.

### III.3 Definición de personas y escenarios.

Esta técnica consistió en representar necesidades de posibles usuarios a través de perfiles, los cuales se denominaron personajes. Los personajes sirvieron para describir en forma narrativa a usuarios y se les asignó un nombre propio, edad, profesión, clase social y en algunos casos una familia.

Así mismo, se definieron escenarios, que describieron el contexto de la interacción personaje-producto en situaciones de uso. El contexto describe el lugar donde se utiliza el producto y el tiempo (figura 13-anexo 6).

**ESCENARIO** : Adquisición de un **refrigerador híbrido** al comprar una vivienda sustentable



Nombre	• Ana
Edad	• 30
Estado civil	• Casada
Hijos	• 1
Profesión	• Psicóloga
Clase social	• Media

Ana vive en una casa **sustentable** que adquirió a través de un crédito hipotecario (*hipoteca verde*) que ofrece el INFONAVIT.

Figura 13. Ejemplo de Personaje y escenario.

### III.4 Definición de mercados.

A partir de las necesidades de la empresa y los modelos de negocio realizados en la sección anterior, el producto estaría dirigido en primer lugar, al sector doméstico (esto fue de principal interés para la empresa, el resto fueron opciones exploratorias) ya fuera por compra directa o a través del Programa de Viviendas Sustentables desarrollado por la Comisión Nacional de Viviendas (CONAVI) y al sector hotelero ubicado en las playas principales de México. Por otro lado, el mercado secundario contempla microempresas como tiendas de abarrotes, ultramarinos y misceláneas (figura 14).



Figura 14. Mercado primario y secundario.

### **III.5 Modelos de negocios.**

En un inicio se plantearon diversos mercados en los cuales se podría introducir el producto la idea era analizar la viabilidad de otro mercado ajeno al sector doméstico-compra directa, tales como: recreativo-portátil, comedores industriales, dormitorios estudiantiles, cárceles, zonas rurales, oficinas, corporativos, equipo médico especializado, viviendas sustentables, hoteles y tiendas de abarrotes.

Finalmente fueron seleccionados tres mercados que se consideraron con mayor potencial para comercializar el producto en México. Los mercados alternativos, al sector doméstico-compra directa, seleccionados fueron: viviendas sustentables, hoteles y tiendas de abarrotes/ultramarinos.

Para establecer los modelos de negocios de estos mercados se realizó una investigación apoyada en fuentes de información electrónicas<sup>3</sup>, a partir de las cuales se reunió información que sirvió para estimar el volumen de cada mercado. Posteriormente se hizo una aproximación del costo por unidad del producto y finalmente se realizó un cálculo de las posibles ganancias esperadas para un periodo de tiempo determinado para cada mercado (Anexo 7).

### **III.6 Alternativas de solución.**

Con base en la información obtenida a partir de patentes, estudio comparativo, marcos comparativos, definición de personas y escenarios, modelos de negocios, definición de mercados y retroalimentación de la empresa, se generaron 11 conceptos de posibles soluciones. Se decidió que dichos conceptos estuvieran enfocados a enseres híbridos domésticos debido a intereses de la empresa. Los conceptos generados consistieron en diversas configuraciones de sistemas y se muestran en tablas como la mostrada en la tabla 4 (Anexo 8), las cuales contienen la siguiente información:

- a) Componentes básicos del sistema de refrigeración.
- b) Descripción del arreglo de interconexión de los componentes.
- c) Principio de funcionamiento.
- d) Ventajas y desventajas de las configuraciones propuestas.
- e) Bocetos, esquemas o imágenes de cada componente.
- f) Esquema general del sistema.

---

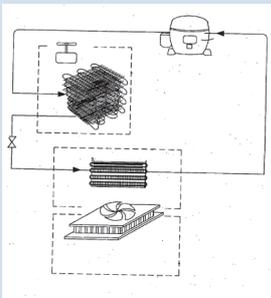
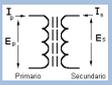
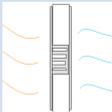
<sup>3</sup> CONAVI. Consejo Nacional de Vivienda.  
INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

### III.7 Evaluación y selección del concepto.

El método empleado para evaluar y seleccionar los 10 conceptos finales consistió en la elaboración de una matriz (Anexo 9) de selección propuesta por Ulrich y Eppinger (2009). Cada concepto fue evaluado usando criterios de sustentabilidad, otros propuestos por el equipo de diseño y acordados con la empresa. El procedimiento de selección consistió en asignar puntos a cada concepto. De esta forma, se seleccionaron 2 conceptos finales (8 y 10, anexo 8).

Los criterios de evaluación y selección se relacionaron principalmente con aspectos ambientales, de los cuales destacan la reducción de consumo de energía eléctrica durante la vida útil del producto y el uso de energías renovables.

Tabla 4. Tabla parcial de uno de los conceptos propuestos.

CONCEPTO 2: Red-FV -compresión DC-celdas termoelectricas-almacenamiento térmico					
Tipo de uso o componente	Descripción	Principio	Ventajas y desventajas	Imagen o esquema representativo	Boceto
Celdas FV	Conectadas mediante un control electrónico a las celdas termoelectricas y/o al compresor DC, para proveer energía eléctrica durante el día.	Celdas fotovoltaicas de silicio.	Ventajas: proveen al sistema de cierta autonomía, los paneles FV tienen una larga vida útil (15-20 años) y su mantenimiento radica en mantener limpia la superficie de captación. Desventajas: elevado costo y compleja instalación.		
Interconexión a la red	Interconexión a la REC, de tal forma que cuando no sea suficiente o no exista generación FV, el sistema de compresión y/o termoelectrico toma de la REC la energía requerida.	Puede ser un sistema basado en un transformador (un adaptador AC-DC)	Ventajas: al ser de interconexión a la red, no se requiere una potencia elevada en los paneles (>50 W). Desventajas: utilizado en lugares donde es necesaria una toma de corriente eléctrica.		
Almacenamiento térmico	Contiene el lado frío de la(s) celda(s) termoelectrica(s), de tal forma que las celdas comenzarían la refrigeración del depósito térmico, el cual está ubicado en las paredes del gabinete.	Inercia térmica	Ventajas: uso de refrigerantes amigables con el medio ambiente, tales como soluciones salinas, agua o polímeros especiales en lugar de refrigerantes R-134 u otro. Permite mayor autonomía en la conservación de una temperatura determinada.		

Los aspectos económicos y sociales se relacionan de manera indirecta con los criterios de selección del producto. En el ámbito económico, el uso de tecnologías limpias impulsa la transición de una economía basada en combustibles fósiles cada vez más caros a otra basada en energía renovable, la cual no tiene costo.

En cuanto al aspecto social, la inversión en fuentes de energía renovable o de baja emisión de CO<sub>2</sub> contribuye con la generación de millones de empleos. Según un informe del Consejo Climático de Copenhagen, se crearán aproximadamente 3 millones de empleos en EE.UU. para el año 2025 con el desarrollo de tecnologías limpias<sup>4</sup>, todo esto aunado a la educación de la gente en cuanto al funcionamiento, instalación, uso y manejo de tecnologías con el uso de energía renovable.

Los criterios de carácter sustentable fueron establecidos por el equipo de diseño. Estos criterios se seleccionaron tomando como referencia la guía titulada “*The designer’s field guide for sustainability: an overview of sustainable product development and the product life cycle*”<sup>5</sup> y los sugeridos en el manual titulado “*Design for Sustainability: A practical approach for developing economies*”<sup>6</sup>. Este manual es una publicación dirigida a pequeñas y medianas empresas (PYMES) interesadas en la innovación de productos sustentables y pertenecientes a economías en vías de desarrollo. El documento fue publicado por la UNEP<sup>7</sup> en conjunto con la Universidad Tecnológica de Delft y expertos en eco-diseño.

### III.8 Descripción de los conceptos seleccionados.

Los dos conceptos seleccionados (8 y 10, anexo 8) son configuraciones de sistemas que contribuyen con la reducción de componentes o la reducción del consumo de energía eléctrica tomado de la red eléctrica convencional mediante el uso de la energía solar. El primer concepto seleccionado (No.8) está constituido principalmente por celdas termoelectricas y contenedores de almacenamiento térmico. El segundo (No.10) combina el sistema por compresión de vapor (utilizando un compresor DC) abastecido de energía eléctrica mediante la combinación de energía de la REC y de paneles fotovoltaicos y contenedores de almacenamiento térmico.

Estos conceptos de solución se consideran alternativas sustentables, contribuyendo con la disminución de residuos sólidos y/o emisiones de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), esto último a través del uso de energías alternas como la solar, para suministrar energía eléctrica.

A partir de este punto, el proyecto se dividió en 2, ambos relacionados con enseres híbridos (enser híbrido FV-REC con sistema de celdas termoelectricas llevado por la Mtra. Lia Gómez Mendiola (Gómez, 2010) y refrigerador híbrido FV-REC con sistema de compresión de vapor llevado a cabo por mí y del cual surge esta tesis “Diseño y construcción de enser híbrido de aplicación residencial”) ambos proyectos y tesis relacionados con los 2 conceptos finales aceptados por la empresa colaboradora, por lo que cada proyecto tomó su propio camino.

Habiendo aclarado esto, se comenta que en las siguientes secciones solo se refiere al proyecto: enser híbrido FV-REC con sistema de compresión de vapor.

---

<sup>4</sup> Diputación de Barcelona, 2009. Invertir en fuentes de energía renovable permitiría crear millones de empleos. [Online]. Disponible en: <http://www.suelosolar.es/newsolares/comentar.asp?id=743> [Fecha de acceso: 5 de junio de 2009].

<sup>5</sup> [18] LUNAR DESIGN, INC., 2006. *The designer’s field guide for sustainability: An overview of sustainable product development and the product life cycle*. [Online]. Disponible en: [http://www.lunar.com/docs/the\\_designers\\_field\\_guide\\_to\\_sustainability\\_v1.pdf](http://www.lunar.com/docs/the_designers_field_guide_to_sustainability_v1.pdf) [Fecha de acceso: mayo de 2009].

<sup>6</sup> [19] Crul, M., R., M. & Diehl, J., C. 2007. *Design for Sustainability: A practical approach for developing economies*. [e-book]. The Neatherlands: Delft University of Technology, Faculty of Industrial Design Engineering, p.65.

Disponible en: <http://www.d4s-de.org/> [Fecha de acceso: abril de 2009].

<sup>7</sup> UNEP: United Nations Environment Programme.

### III.9 Definición de requerimientos.

A partir de la información obtenida de la empresa, presentación de los conceptos seleccionados a la empresa, pláticas con el equipo de diseño de la empresa y de acuerdo con los criterios de diseño sustentable, se definieron y revisaron conjuntamente con la empresa los requerimientos del prototipo, los cuales se expresaron con base en los siguientes lineamientos:

- En términos de lo que el producto tiene que hacer y no cómo podría hacerlo.
- Utilizando fraseo positivo y no negativo.
- Expresando la necesidad como un atributo del producto.

Los requerimientos fueron jerarquizados de acuerdo a su importancia por el equipo de diseño y se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Requerimientos (1ra Etapa).

No.	Enunciado del cliente	Requerimiento	Imp.
1	El sistema tomará como referencia sistemas existentes en el mercado para evaluar su eficiencia y consumo energético.	El sistema toma como referencia sistemas existentes en el mercado para evaluar su eficiencia y consumo energético.	2
2	El sistema funcionará con energía eléctrica suministrada de manera convencional y una fuente de energía renovable.	El sistema opera con energía eléctrica de la red y una fuente de energía renovable.	1
3	El sistema no utilizará energía eléctrica de la red durante un periodo de tiempo determinado.	El sistema funciona sin energía eléctrica de la red durante un periodo de tiempo determinado.	1
4	El sistema reducirá el consumo energético promedio actual.	El sistema disminuye el consumo de energía eléctrica de la red con respecto a un convencional.	1
5	Se utilizará la configuración adecuada que genere el mejor desempeño del equipo.	El sistema tiene mayor eficiencia que un refrigerador convencional.	1
6	El sistema utilizará tecnologías disponibles en el mercado.	El sistema utiliza tecnologías existentes en el mercado.	1
7	El sistema será de uso doméstico.	El sistema es de uso doméstico.	2
8	El sistema necesitará poco mantenimiento.	El sistema requiere mantenimiento similar a un convencional.	2

Fecha de revisión: 5 de agosto de 2009

### III.10 Establecimiento de especificaciones objetivo y restricciones.

Las especificaciones objetivo y restricciones para cada sistema híbrido se definieron con base en: tiempo de estadía en el posgrado, los requerimientos mencionados anteriormente, información y retroalimentación proporcionada por el equipo de asesores de la empresa (anexos 10 y 11). A continuación se muestran las especificaciones objetivo del enser operado por compresión de vapor (Tabla 6).

Tabla 6. Especificaciones objetivo del enser por compresión de vapor.

MEDIDA	IMPORTANCIA	UNIDADES	VALOR MARGINAL	VALOR IDEAL
Consumo energético anual máximo <sup>a</sup>	1	kWh/año	319	<309
Temperatura interior de la unidad congelante <sup>b</sup>	1	°C	-9.4 – 0 <sup>c</sup>	-9.4
Temperatura interior de la unidad refrigerante	1	°C	2 – 5 <sup>c</sup>	3.3
<b>Dimensiones Exteriores del gabinete</b>				
Altura	1	M	1.28	1.28
Ancho	1	M	.585	.585
Profundidad	1	M	.605	.605
<b>Volumen Interno del gabinete</b>				
Total	2	m <sup>3</sup>	0.218	0.218
<b>Aislante (141b/22+)</b>				
Coefficiente de conductividad	2	W/m°C	0.02408	0.02408
<b>Espesor del aislante (141b/22+)</b>				
Paredes Laterales	2	M	0.028	0.028
Puerta	2	M	0.036	0.036
Pared Trasera	2	M	0.028	0.028
Pared Superior	2	M	0.028	0.028
Pared Inferior	2	M	0.028	0.028
<b>Autonomía</b>				
Horas de autonomía <sup>d</sup>	1	H	3 – 6	4.5

<sup>a</sup> Esto en relación al refrigerador referencia (proporcionado por Mabe).

<sup>b</sup> Clase 2, según norma NOM-O15 (Anexo 11). Capacidad: 7.7 ft<sup>3</sup>.

<sup>c</sup> Según NOM-015, a una temperatura ambiente de 32 grados Celsius.

<sup>d</sup> Esto en relación al promedio de horas pico solar en México (Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México, 2009).

### III.11 Restricciones.

-Para la finalización del proyecto se tiene hasta el mes de junio de 2010, esto debido a que se desea comenzar con tramites de obtención de grado para el mes de julio y así cumplir con el tiempo de estadía requerido en la maestría.

-Se tiene que respetar la configuración del gabinete (ser lo menos invasivo), esto para reducir el impacto visual sobre el paradigma de refrigerador doméstico.

-El enser a diseñar es de uso doméstico, esto debido a que se pretende introducir para el uso casero en interiores y no se pretende hacer cambios bruscos en hábitos de uso, dimensiones y estética de estos electrodomésticos.

-El enser híbrido debe operar con energía de la red eléctrica convencional (REC) y energía renovable, con el fin de reducir el consumo eléctrico tomado de la red eléctrica convencional.

-El prototipo debe requerir poco mantenimiento, es decir, por lo menos igual que los enseres convencionales (limpieza y descongelamiento).

-Para el desarrollo del prototipo se debe considerar la zona centro del país (Distrito Federal-Ciudad Universitaria-UNAM).

## CAPÍTULO IV.

### DISEÑO A NIVEL SISTEMA.

En este capítulo se presentan diversas propuestas de posibles configuraciones del sistema híbrido por compresión, las propuestas incluyen diagramas generales de componentes y funciones principales. Posteriormente se describe la configuración final del sistema a través de diagramas de funciones-componentes y un modelado en CAD.

#### IV.1 Propuestas de configuración del sistema.

Circuito básico de refrigeración: en la figura 15 se muestra el circuito básico utilizado en sistemas de compresión de vapor, necesita de cuatro componentes: compresor y condensador, que se ubican en la zona de alta presión en el sistema, un dispositivo de expansión y un evaporador que conforman la zona de baja presión.

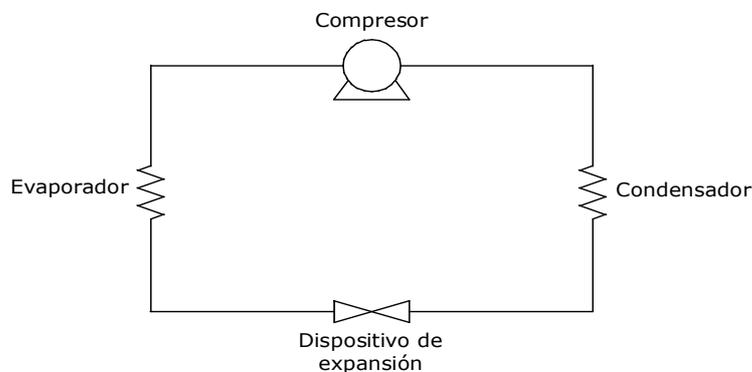


Figura 15. Circuito básico de un sistema por compresión de vapor.

Comúnmente cuando se trata de suministrar energía eléctrica a un enser con energía solar se hace un arreglo de paneles fotovoltaicos que tenga la potencia mínima necesaria para poner en funcionamiento a su compresor para el cual se dimensiona dicho arreglo. Adicionalmente puede utilizarse un banco de baterías, que es alimentado directamente por los paneles fotovoltaicos a través de un regulador de carga. Las baterías almacenan energía eléctrica para alimentar un inversor de corriente, que convierte la energía de corriente directa (DC) de las baterías a corriente alterna (AC), finalmente este dispositivo (inversor) es el que mantiene una alimentación constante al enser, ya sea esta de 110V o 220V y con 60Hz o 120Hz (figura 16).

Generalmente los sistemas que de alguna manera se consideran como solares, utilizan paneles fotovoltaicos para alimentar sistemas de refrigeración operados por corriente alterna. Los sistemas que se alimentan en su totalidad por energía proveniente del sol, utilizan sistemas de compresión de vapor en su mayoría, usan compresores de corriente directa y de velocidad variable para mantener su operación a pesar de las perturbaciones en cuanto a energía captada.

La figura 16 muestra un diagrama donde se muestran los componentes comúnmente utilizados por los sistemas de refrigeración que funcionan con corriente alterna y que son alimentados por paneles fotovoltaicos.

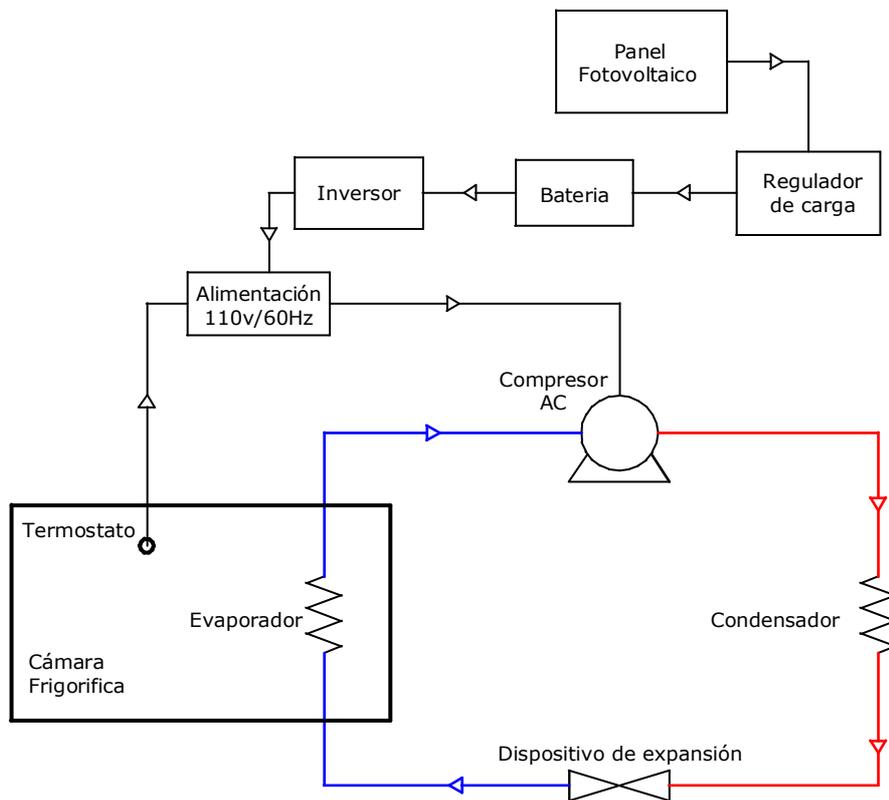


Figura 16. Diagrama de un enser convencional alimentado por un arreglo fotovoltaico.

Se han realizado experimentos para mejorar la eficiencia de sistemas de compresión de vapor en los cuales el principal aporte ha sido la implementación de un sistema de control independiente que puede integrarse en las unidades fotovoltaicas o en los compresores de velocidades variables.

Debido a que en los sistemas de refrigeración por compresión, el elemento principal en el ciclo es el compresor, se realizó una búsqueda de diagramas de componentes y cableado de distintos compresores (anexo 12), tomando como antecedentes para esta búsqueda: el trabajo previo (capítulo I) en cuanto a las tendencias de diseño FV, el estudio comparativo mostrado con anterioridad y las referencias (Michael K. 2002), (Robert E. 2004), (Pedersen 2004), (Kaplanis 2006) y (Axaopoulos 2009).

Para esta sección, se partió de las propias configuraciones que sugieren fichas técnicas de algunos componentes considerados y el estado del arte en general.

Se elaboraron 4 alternativas de configuración del sistema híbrido por compresión de vapor de acuerdo al concepto seleccionado, en la Tabla 1 del anexo 12 se muestran cada una de las alternativas de las configuraciones propuestas con los componentes que las integran. Las configuraciones están constituidas por tres unidades principales: unidad de energía, unidad de control y la unidad de refrigeración. En la unidad de refrigeración se encuentra la unidad de compresión.

#### **IV.2 Diagrama de componentes.**

Las alternativas propuestas y la seleccionada son representadas por medio de diagramas de bloques de componentes y se especifican sus ventajas y desventajas (Anexo 12).

#### **IV.3 Configuración final del sistema.**

La configuración del sistema de refrigeración seleccionada hace referencia a la alternativa 3 indicada en la sección IV.2 (Anexo 12). Dicha configuración se realizó a través de diagramas de bloques de componentes, funciones principales y modelos del sistema en 3D. En el anexo 12 se especifican los criterios que se tomaron en cuenta para la selección de la configuración final del sistema.

#### **IV.4 Diagrama de componentes y funciones.**

La configuración del sistema seleccionada está constituida por tres unidades principales: unidad de energía, unidad de control y la unidad de refrigeración (anexo 13). En la unidad de refrigeración se encuentra la unidad de compresión. La descripción detallada de la configuración general del sistema de refrigeración y la función que cada componente desempeña dentro de él, se puede consultar en el Anexo 13.

#### **IV.5 Modelo de la configuración final del sistema en 3D.**

Se elaboró una representación virtual de la estructura física general del sistema de refrigeración en 3D (figura 17), la cual no fue la final debido a cuestiones detalladas en el capítulo referente al prototipado (capítulo VI). En ella se especifica la posible ubicación de los componentes que tendría el prototipo (no se incluyen los sistemas de alimentación).

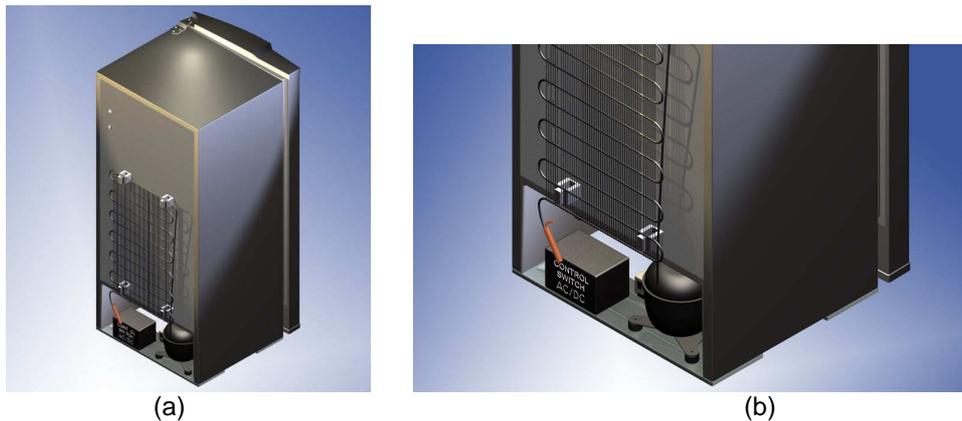


Figura 17. Modelado en CAD de la Propuesta 3 realizado por el ingeniero J. de Jesús Martínez López. a) Vista en isométrico del lateral trasero del refrigerador; b) acercamiento donde se observa el espacio que posiblemente ocupará el control-“switch” y el compresor en el sistema nuevo.

## CAPÍTULO V.

### DISEÑO DE DETALLE

En este capítulo se describen las consideraciones que se tomaron en cuenta para calcular la carga térmica del sistema de refrigeración, los datos de entrada y los resultados obtenidos a partir del cálculo realizado de manera teórica. Los cálculos se detallan en una memoria de cálculo y en una hoja de cálculo que se anexa en esta tesis.

Posteriormente, en la sección de definición de componentes, se muestran características generales de diferentes modelos y marcas de los dispositivos que formarán parte del sistema de refrigeración. En seguida se muestran los componentes seleccionados para la configuración del sistema de refrigeración. La descripción del proceso para la selección de los componentes se describe en un documento adicional que se anexa en el presente trabajo.

#### V.1 Cálculo de carga térmica.

##### V.1.1 Consideraciones para el cálculo de la carga térmica.

Para el cálculo de la carga térmica teórica, se consideraron los siguientes tipos de carga:

- a) Carga por transmisión
- b) Carga por infiltración
- c) Carga por almacenamiento térmico
  - Por calor sensible de congelación
  - Por calor latente de congelación
- d) Carga por enfriamiento y/o congelación de los alimentos

**Nota 1:** se asumió que el enser funcionará bajo la sombra debido a que su uso es doméstico, por lo tanto las ganancias de calor debido al efecto solar (radiación) no se tomarán en cuenta.

En el anexo 14 se muestra a detalle cómo se calculó cada tipo de carga térmica, el procedimiento que se siguió para el cálculo de la carga térmica, así como las fórmulas utilizadas.

### V.1.2 Datos de entrada.

Para realizar el cálculo de la carga térmica se utilizaron los datos que se muestran en la tabla 7.

### V.1.3 Resultados de la carga térmica.

En la Tabla 8 se muestran los resultados finales de la carga térmica por transmisión, infiltración, almacenamiento térmico y alimentos calculados de manera teórica. El valor del coeficiente de convección utilizado para realizar los cálculos se obtuvo a partir de la información proporcionada por la empresa.

Tabla 7. Datos utilizados para el cálculo de la carga térmica.

DATOS DE ENTRADA		UNIDADES
Temperatura interior del enser		4 °C
Temperatura exterior al enser		28 °C (condiciones extremas en la ciudad de México para refrigeración doméstica [SMN])
Humedad relativa del aire		80 %
Presión atmosférica		101325 Pa
No. de aperturas promedio de la puerta		25
Dimensiones del enser : alto, ancho y fondo		1280, 585 Y 605 mm
Paredes del enser	Espesor	30 mm
	Coeficiente de conductividad	0.02408 W/m°C
Sustancia que realizará la función de almacenamiento térmico	Masa por día	2 Kg
	Calor latente de congelación	334.9 (kJ/kg)
	Calor específico por debajo del punto de congelación	2.09 kJ/kg°C
	Temperatura de congelación	0 °C
	Temperatura final de dicha sustancia	-9 °C
Producto a refrigerar	Masa por día	5 kg (agua)
	Calor específico por encima del punto de congelación	4.169 kJ/kg°C
Factor de seguridad		10 %
Horas de funcionamiento del compresor		12 h

Tabla 8. Resultados de la carga térmica del enser híbrido: solar-compresión. Con coeficientes de película utilizados por GE.

CARGA TÉRMICA		W
$q_{transmisión}$	Por conducción a través de las paredes y puerta del refrigerador	42.97
$q_{infiltración}$	Por infiltración (apertura de puertas)	2.02
$q_{at}$	Por almacenamiento térmico (latente y sensible)	8.18
$q_{alimentos}$	Por alimentos	5.78
$q_{total}$	Carga térmica total (para un periodo de 24 h)	64.86
$Q_{TH}$	Carga térmica horaria calculada con base en el número de horas de funcionamiento del compresor (potencia de refrigeración requerida por el compresor)	129.72

En el anexo 15 se incluye la hoja de cálculo en donde se muestran los resultados obtenidos.

#### V.1.4 Comparación entre el coeficiente de convección “hc” especificado por la NBE, GE y CIE.

Con el fin de verificar los resultados obtenidos de la carga térmica calculada con los coeficientes establecidos por la NBE (Melgarejo, 1995), se realizó el cálculo de la carga térmica utilizando los valores de los coeficientes de convección propuestos por General Electric (GE) y por el Centro de Investigación en Energía (CIE). Se obtuvo una comparación entre los resultados (Figura 16).

Tabla a. Resultados de la carga térmica del refrigerador híbrido: solar-compresión de vapor. (Con coeficientes de película tomados de [MELGAREJO])

CARGA TÉRMICA		W	Tabla b. Con coeficientes de película utilizados por GE		Tabla c. Con coeficientes de película estimados por el CIE	
$q_{transmisión}$	Por conducción a través de las paredes y puerta del refrigerador	46.9	W	42.97	W	36.01
$q_{infiltración}$	Por infiltración (apertura de puertas)	2.02				
$q_{at}$	Por almacenamiento térmico (latente y sensible)	8.18				
$q_{alimentos}$	Por alimentos	5.78				
$q_{total}$	Carga térmica total (para un periodo de 24 hrs)	69.2				
$Q_{TH}$	Carga térmica horaria calculada con base en el número de horas de funcionamiento del compresor (potencia requerida por el compresor)	138	5.78	2.02	8.18	
			64.86	5.7892	57.20	
			129.72		114.41	
$Q_{TH}$	de horas de funcionamiento del compresor (potencia requerida por el compresor)					
$Q_{TH}$	de horas de funcionamiento del compresor (potencia requerida por el compresor)					

Figura 16. Tablas de resultados de cálculo de carga térmica con diferentes coeficientes de película.

En la Tabla 9 se presenta el porcentaje de error de la carga térmica tomando como referencia la carga térmica obtenida a partir de los datos de la NBE y posteriormente comparada consigo misma y con la carga obtenida a partir de los valores propuestos por GE y por el CIE. También se tomaron como referencia los valores obtenidos con los datos de GE y del CIE.

Tabla 9. Porcentaje de error de la carga térmica obtenida a partir de los datos de la NBE, GE y CIE.

Referencia / Comparación	Porcentaje de error (%)		
	NBE	GE	CIE
NBE	0	6.27	17.34
GE	6.69	0	11.81
CIE	20.97	13.39	0

% de error mínimo – valores proporcionados por GE.

Como se puede observar el valor del coeficiente de convección utilizado (proporcionado por la NBE) para el cálculo de la carga térmica con respecto al proporcionado por GE tiene un porcentaje de error del 6.2 %, por lo que los resultados obtenidos de la carga térmica no presentan una variación significativa.

Por otro lado, en el cálculo realizado, bajo los parámetros (coeficientes de película) utilizados por GE, la transferencia de calor por transmisión resultó de 42.97 W (figura 16-tabla b), por lo que la desviación en comparación con los datos proporcionados<sup>8</sup> por la empresa sobre la carga térmica por transmisión en barreras de un refrigerador de 9 ft<sup>3</sup> es del 4.9 %. Esta desviación nos da la confianza de que lo calculado según la teoría no está muy alejado de los resultados obtenidos por la empresa.

## V.2 Definición de componentes principales.

Se elaboraron tablas y gráficas con características generales de componentes (compresores, unidades electrónicas y paneles FV, anexo 16) que integran la configuración del sistema de refrigeración seleccionado. Las tablas y gráficas contienen marcas, modelos y una descripción general de cada componente. La tabla 1 del anexo 16 incluye los siguientes componentes:

- Compresores DC
- Unidad electrónica para compresor DC

Las tablas y gráficas del anexo 17 incluyen: paneles fotovoltaicos.

En el anexo 17 se reporta el análisis de 3 marcas (Kyocera, Condumex y ERDM Solar) de paneles FV y 4 distribuidores en México. Se revisaron especificaciones tanto de paneles FV como para el sistema de compresión de uso directo, esto con el fin de analizar la compatibilidad de sistemas y la relación con el precio de distintas marcas (figura 18) y proveedores de paneles FV.

<sup>8</sup> Como referencia, en un refrigerador con congelador de 9 ft<sup>3</sup>, las ganancias de calor en el compartimiento refrigerador es de 60.29 BTU/hr = 17.66 W y en el congelador es de 79.58 BTU/hr = 23.32 W.

“No se mencionan condiciones exteriores e interiores, tampoco se especifica a que se le atribuyen esas ganancias de calor, por lo que se supone que se deben a la transferencia de calor por transmisión (q<sub>transmisión</sub>): conducción y convección. Lo anterior significa que se tienen aproximadamente **40.96 W** de transferencia de calor en el compartimiento (congelador-refrigerador)”. [Fuente: Mabe]

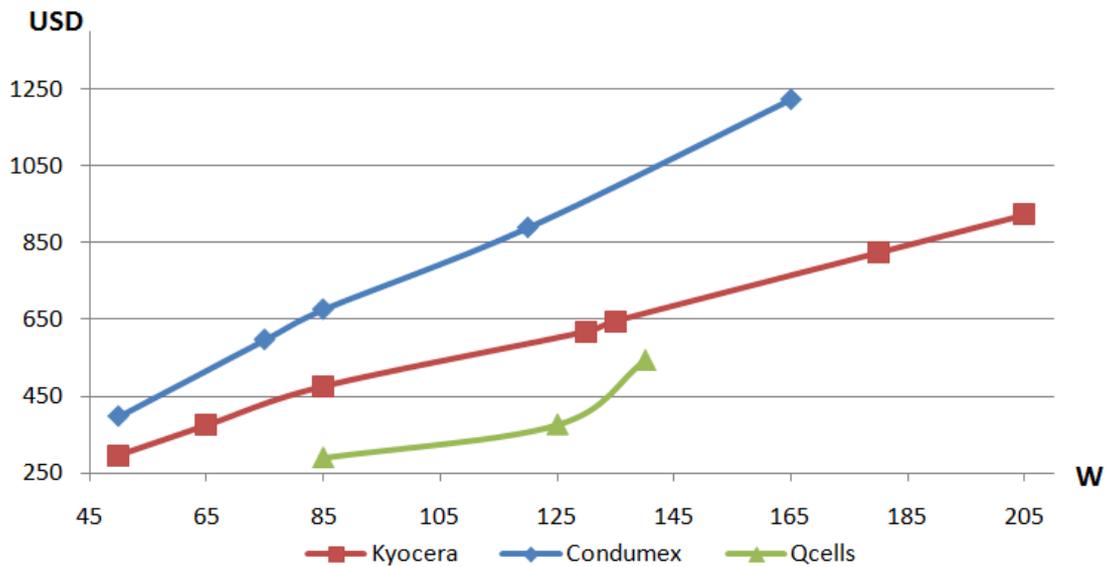


Figura 18. Gráfico de potencia vs precio de paneles fotovoltaicos.

Es importante señalar que en las fases siguientes referentes a las secciones V.3 y V.5 (de dimensionamiento y selección de componentes respectivamente) no se tenía previsto los posibles cambios debidos a la no disponibilidad de algunos equipos en el mercado como muestra más adelante el capítulo siguiente referente al prototipado (capítulo VI) por lo que en algunas tablas no aparecen todos los componentes que integran al prototipo final pero pueden consultarse los detalles en anexo 18.1.

### V.3 Dimensionamiento de componentes.

Una vez seleccionado el corazón del prototipo (compresor) con el previo cálculo de carga térmica y estado del arte mencionados en anexo 18, se pasó al dimensionamiento paneles FV, cable (muy importante en sistemas FV debido a las corrientes elevadas que se manejan, caídas de tensión e incremento del costo), baterías, controladores de carga y fuente de alimentación AC-DC (anexo 18.2).

Para el dimensionamiento FV (baterías, paneles FV, controlador de carga y cable) se tomó en cuenta la metodología descrita en el libro *PHOTOVOLTAICS* y las recomendaciones aprendidas durante IV curso taller de tecnologías solares tomado en el Centro de Investigaciones en Energía (CIE)-UNAM del 9 al 12 de junio de 2009 con duración de 32 horas.

En dicho curso se hizo énfasis en la norma de la *National Electrical Code* (NEC) que es un estandard estadounidense para la instalación segura de alambrado y equipos eléctricos. Dicha norma es parte de la serie de normas de prevención de incendios publicada por la *National Fire Protection Association* (NFPA).

Para mayor detalle del cálculo de los equipos, consideraciones y procedimiento revisar anexos 18.1 y 18.2.

#### **V.4 Selección de componentes.**

En la tabla 3 mostrada en el anexo 18.1 se muestra la marca, modelo y número de componentes seleccionados para el sistema de refrigeración seleccionado. El procedimiento de selección se puede consultar con mayor detalle en el mismo anexo.

### **CAPÍTULO VI.**

#### **PROTOTIPADO.**

En este capítulo se presenta el proceso de adquisición de componentes, construcción y puesta en marcha del prototipo, se considera que son temas de gran relevancia, ya que refleja cómo en muchas ocasiones del diseño conceptual al prototipado se presentan cambios inesperados, cambios debido a situaciones no planeadas en esta etapa.

##### **VI.1 Adquisición de componentes.**

Una vez definidos los dispositivos a adquirir, se pasó a la tarea de la compra de componentes. Casi todo lo que se necesitó se pudo adquirir por medio del departamento de compras de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. La única excepción fue la adquisición del compresor seleccionado junto con su control electrónico, hubo un contratiempo con estos dispositivos.

Es por ello que finalmente se decidió realizar el contacto directo con los representantes y distribuidores en México (MERETI) de dichos componentes, lo anterior trajo consigo un retraso las etapas referentes al capítulo VI y VII.

Nota 2: MERETI es uno de los pocos distribuidores con quien es posible adquirir este tipo de equipos (al menos en la zona centro del país), aunque no todos los equipos del catálogo, esto debido a políticas internas de la empresa que lo manufactura y vende.

Las situaciones comentadas en el anexo 19.1 cambiaron la forma en que se planteó la construcción del prototipo (en otras palabras, cambio la propuesta conceptual), debido a que la unidad que se consiguió trabaja en un rango de voltaje diferente al seleccionado para el prototipo y no es de uso directo FV (sin baterías), por lo que se propuso a la empresa realizar el cambio exponiendo las razones, el cambio estaría basado en la utilización del compresor seleccionado pero con unidad de control disponible para México, haciendo la aclaración de que se trataría del mismo compresor seleccionado solo con la característica de que se utilizaría una batería "pequeña" a manera de capacitor para poder alimentar a la unidad de control con la que se dispone en México, en otras palabras, no fue posible conseguir todos los dispositivos concebidos en el diseño conceptual por lo que se tuvo que adecuar el concepto.

La empresa asintió el cambio ya que finalmente se probaría que este tipo de compresor es adaptable a los gabinetes de la empresa para 7.7 pies<sup>3</sup> con la adaptación de suministro de energía híbrida (FV-RED), con lo que se seguiría cumpliendo con parte de las especificaciones objetivo y restricciones del proyecto.

Nota 3: cabe aclarar que el "switchero" se realizaría de forma más fácil, al tratarse de una alimentación constante por parte de la batería.

Posteriormente a estos sucesos, debido a que no se dimensionaron y seleccionaron: la batería y el controlador de carga, se procedió a realizar los cálculos y selección, los cálculos fueron anexados en el capítulo V, anexo 18.2, de diseño de detalle.

Los componentes adquiridos para la construcción del prototipo se muestran en el anexo 19.2. Sus respectivas fichas técnicas pueden consultarse del anexo 20 al 25, y en el anexo 26 puede encontrarse información referente a los costos del prototipo.

## VI.2 Modificaciones del concepto.

Para esta etapa, se contaba con material o dispositivos disponibles (mencionado en capítulo VI.1, anexos 19.2-25) y 2 refrigeradores 1 puerta 7.7 cuft<sup>3</sup>, figura 20, convección natural para la construcción de prototipo y pruebas comparativas.



Figura 20. Refrigerador MABE 7.7 ft<sup>3</sup> proporcionado para la implementación del prototipo.

**Modificaciones:** como se mencionó en el capítulo anterior, debido a los problemas presentados en la adquisición de la unidad electrónica seleccionada relacionado con el compresor, se modificó la configuración original (anexo 27).

## VI.3 Construcción y Puesta en marcha.

En esta etapa, se plantearon 11 actividades para cumplir con tiempos acordes al último periodo semestral de estadía en el posgrado, de las cuales se muestra parte del proceso en cada una en el anexo 28.

1. Sustitución de compresor y arranque en gabinete de 7.7 ft<sup>3</sup>, instalación de válvula de proceso y filtro desecador.
2. Arranque del compresor con sistema de refrigeración y uso de batería dimensionada para el prototipo.
3. Instalación FV funcionando con interruptor y fusibles.
4. Prototipo funcionando con sistema fotovoltaico.
5. Pruebas de caracterización (voltaje, corriente y capacidad del compresor) de sistema fotovoltaico-compresor.
6. Prototipo funcionando con conexión a la red eléctrica convencional (REC).
7. Pruebas de caracterización (voltaje, corriente y capacidad) de sistema conectado a la REC-compresor.
8. Análisis de datos de pruebas de funcionamiento con ambos sistemas (FV y REC) y toma de decisiones sobre el control de “switcheo”.

9. Construcción de control de “switcheo”.
10. Pruebas de prototipo con control de “switcheo”.
11. Refinamiento de prototipo.

## CAPÍTULO VII.

### PRUEBAS Y RESULTADOS.

Para este proyecto se realizó un reporte detallado para la empresa sobre la instrumentación y pruebas generales realizadas al refrigerador híbrido con sistema de compresión de vapor, llevado a cabo por David Ibarra y Jonathan V. Peña, cuyo título es: “METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE REFRIGERADORES HÍBRIDOS”. Los tipos de pruebas y datos reportados para esta tesis son mostrados con la intención de respaldar los objetivos, alcances y restricciones de este trabajo, lo mostrado a continuación está enfocado a:

- Comprobar el funcionamiento del prototipo de acuerdo al desarrollo conceptual, configuración, diseño de detalle, selección-adquisición de componentes y prototipado.
- Reportar la interacción entre el sistema de refrigeración y el sistema híbrido de alimentación eléctrica.
- Reportar el consumo de energía eléctrica del prototipo en comparación con el refrigerador convencional

#### VII.1 Funcionamiento del prototipo

En esta sección se hace referencia sobre algunos parámetros de funcionamiento del prototipo. En la figura 21 puede observar una gráfica realizada a partir de las mediciones realizadas en la zona de captación de energía solar. Se observa el voltaje en un día arbitrario, lo cual fue de gran relevancia para la determinación del “switcheo” en el prototipo. En la gráfica se puede observar un voltaje mayor a 15V por poco más de 10 horas.

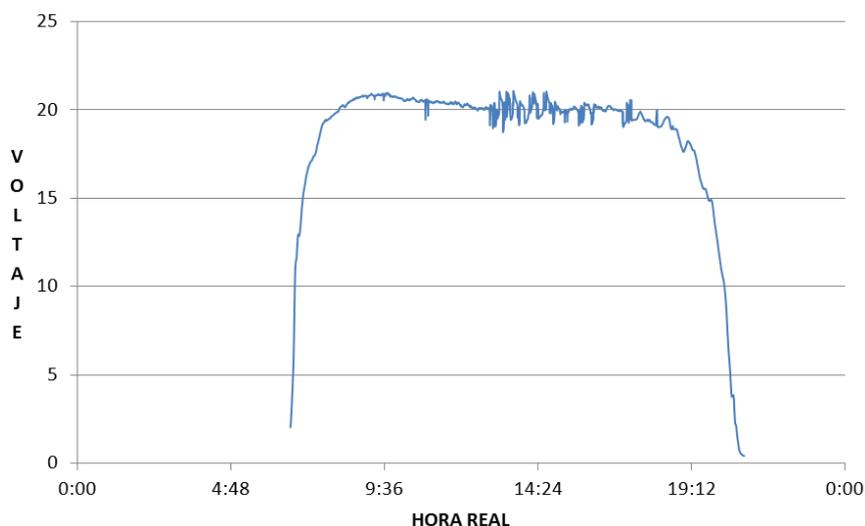


Gráfico de voltaje en sistema de captación vs tiempo.

Para la prueba comparativa del prototipo solo conectado a la REC, el prototipo se mantuvo con la perilla del termostato en el # 4, y a 3500 rpm, con fuente de alimentación AC-DC (basada en transformador), y dos ventiladores (en fuente AC-DC y en la unidad de control del compresor), temperatura ambiente inicial en cámara de pruebas de 24.44 °C, las lecturas fueron tomadas cada 60 segundos en sensores y Watts up, en la figura 22 y 23 se observan las temperaturas alcanzadas en el prototipo.

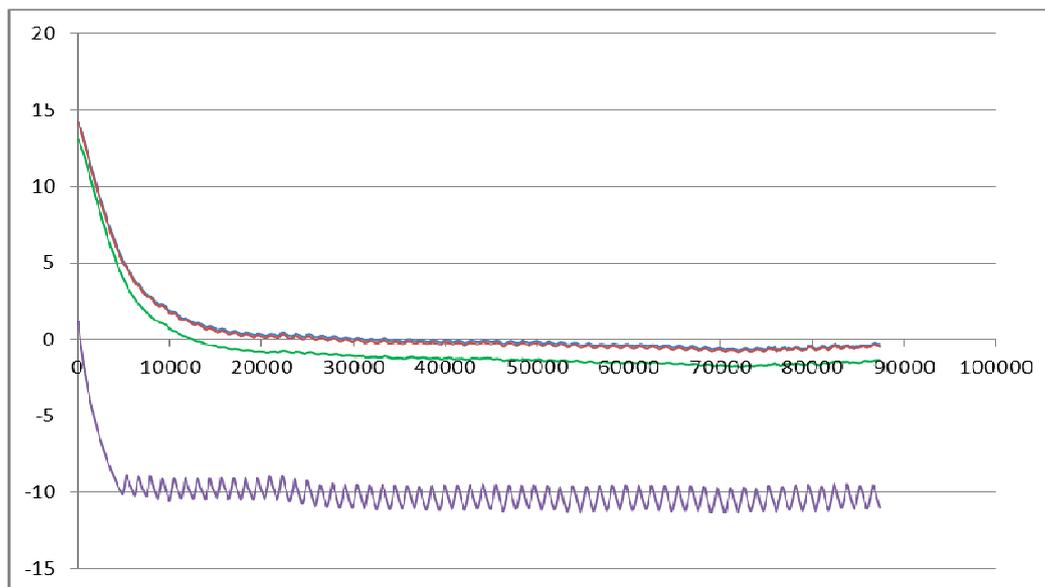


Figura 22. Temperaturas [°C] alcanzadas en prototipo solo conectado a la REC vs tiempo [s] (24 horas).

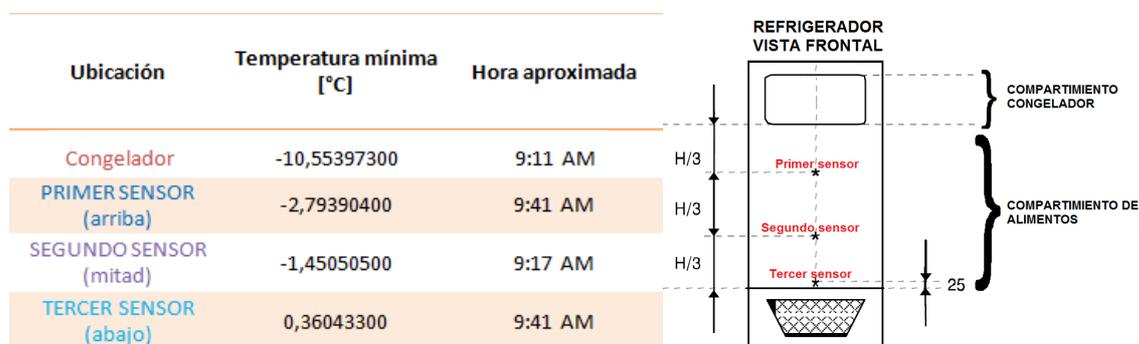


Figura 23. Temperaturas mínimas alcanzadas en pruebas 24 h en prototipo solo conectado a la REC.

Para el prototipo se tuvieron:

61 ciclos de 23 minutos en promedio.

Potencia máxima de 108 W.

Potencia mínima de 12 W.

Corriente AC máxima de 1.011 A.

Corriente AC mínima de .125 A.

En la figura 24 y 25 se muestran las temperaturas conseguidas en la misma prueba para el refrigerador convencional con la perilla del termostato en el # 6.

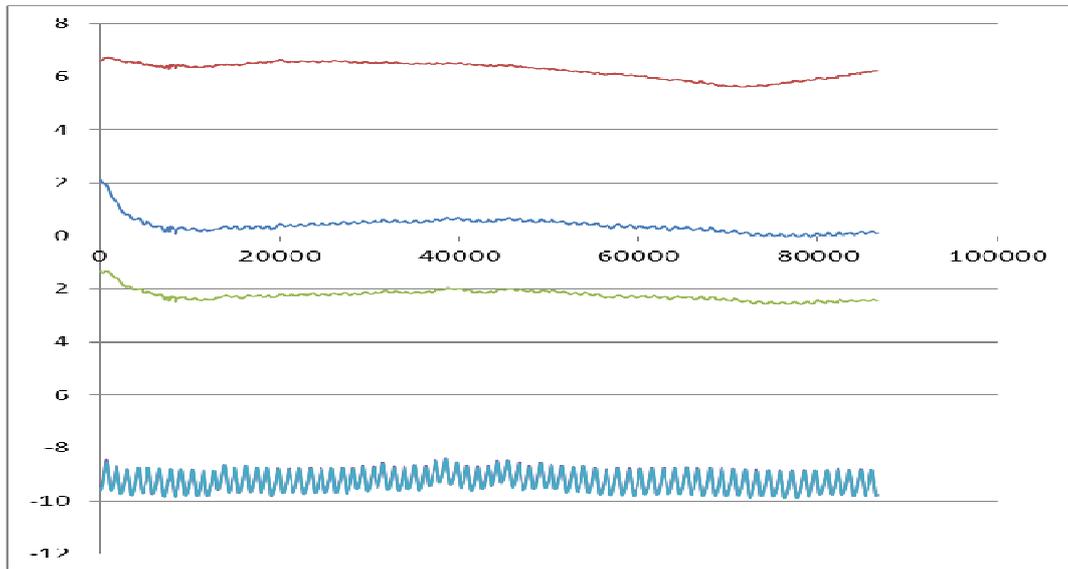


Figura 24. Temperaturas [°C] alcanzadas en enser convencional vs tiempo [s] (24 horas).

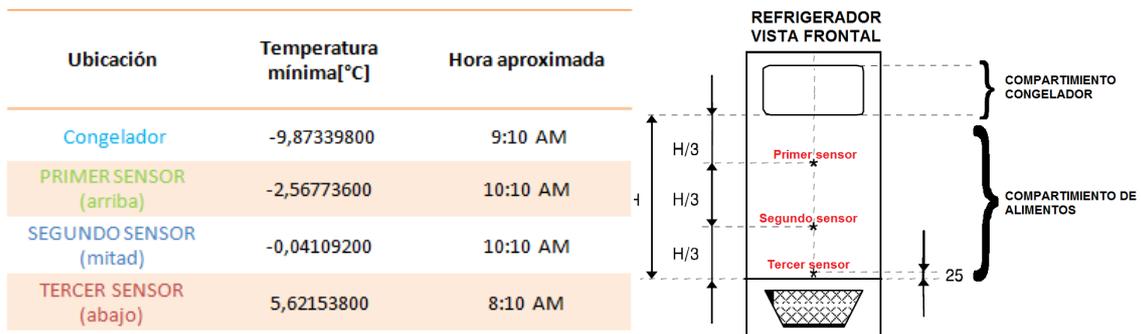


Figura 25. Temperaturas mínimas alcanzadas en pruebas 24 h en refrigerador convencional.

Para el refrigerador convencional se tuvieron:

70 ciclos de 21 minutos en promedio.

Potencia máxima de 92.4 W.

Potencia mínima de 0 W.

Corriente AC máxima de 3.59 A.

Corriente AC mínima de 0 A.

Para esta prueba (ambos refrigeradores conectados solo a la REC) se tuvo un consumo del prototipo elevado de aprox. 1400 Wh de energía, que en comparación con el consumo del convencional (aprox. 930 Wh) resultaba bastante elevado, por lo que se recurrió a dos acciones:

-Al alcanzarse temperaturas más bajas en el prototipo que el convencional y con ello un mayor consumo, se decidió reducir las RPM del compresor, lo que traería como consecuencia una nivelación en las temperaturas obtenidas en prototipo y convencional (lo que proporcionaría un mejor marco de comparación), como consecuencia un menor consumo de energía y menor temperatura en el compresor y unidad de control del compresor.

-También se decidió eliminar los 2 ventiladores de 12 V (aprox. 10 W c/u) instalados en un inicio, teniendo en cuenta que la fuente de alimentación AC-DC no se calienta en exceso (según mediciones realizadas) y que la unidad electrónica del compresor cuenta con una protección anti-sobrecalentamiento de tal forma que al censar 100 grados centígrados en aletas de la unidad electrónica, el compresor para y arranca cuando la temperatura este por debajo de 90 grados centígrados con 66 segundos de atraso.

Al realizar las acciones anteriormente señaladas, ya con la perilla del termostato en # 1 (en prototipo) en donde se presentaban los ciclos de paro y arranque del compresor, a 2500 RPM, se consiguieron temperaturas similares en ambos refrigeradores (convencional; de -9.6 [°C] en congelador y de -1.3 (arriba, figura 23) a 0 [°C] en refrigerador y prototipo; de -9 [°C] en congelador y de -1.5 (arriba, figura 25) a 0 [°C] en refrigerador). Con paros de 7 a 10 minutos y arranques de 21 a 24 minutos en el compresor utilizado en el prototipo.

Lo anterior trajo consigo una reducción en el consumo de energía del prototipo (24 horas), por lo que en una prueba realizada el día 1 de junio, con el prototipo solo conectado a la REC se obtuvo un consumo del prototipo en 18 horas de 850 Wh (considerando 6 horas de autonomía) y en 24 horas de 1,119 Wh (aun elevado por el autoconsumo de la fuente de alimentación AC-DC (aprox.13 Wh)).

## **VII.2 Interacción entre el sistema de refrigeración y el sistema híbrido de alimentación eléctrica.**

Una vez que se implementó la unidad de control de “switcheo”, se realizó la primera prueba completa al prototipo y convencional; en cámara de pruebas, con sensores de temperatura según norma y consumo AC.

El comportamiento del prototipo es de tal forma que aprovecha al máximo la energía solar FV que puede captar, las horas de autonomía están en función del nivel de radiación diaria, de 4 a 5 horas en días muy nublados hasta más de 10 horas en días muy soleados

## **VII.3 Consumo de energía eléctrica de la REC (prototipo vs convencional).**

La prueba considerada para analizar el consumo del prototipo vs convencional (24 horas) se realizó, con ambos refrigeradores en cámara de pruebas, con sensores de temperatura y consumo AC.

De dicha prueba resultó un consumo de energía en el prototipo de: **814 Wh** (gráfico inferior de la figura 26-a).

Nota 4: se debe considerar que la fuente de alimentación AC-DC y dispositivos de control de “switcheo” tienen un autoconsumo de aprox. de 18.8 Wh (aprox. 450 Wh de energía en 24 h) como puede verse en el gráfico superior de la figura 26-a. Por lo que al considerarse fuentes autoconmutadas tanto para la alimentación del compresor como al control de “switcheo” y no unas basadas en transformador como las utilizadas en el prototipo, según fuente [43] se podría tener eficiencias del orden del 89 %, se podría reducir el autoconsumo aprox. a 9Wh (aprox. 216 Wh de energía en 24 horas), por lo que realizando esas suposiciones se tendría un consumo del prototipo de:

$$814 \text{ [Wh]} - 450 \text{ [Wh]} + 216 \text{ [Wh]} = \mathbf{580 \text{ [Wh] en 24 horas}}$$

Cabe también mencionar que en esta prueba se consiguió una autonomía de 13 horas de un total de 24 h (puede observarse en el gráfico superior de la figura 26-a), lo que fue en un día soleado, lo cual tiene un comportamiento similar al gráfico de voltaje en el sistema de captación (figura 21). En un día muy nublado la autonomía estaría en función de la energía almacenada en la batería (de 4 a 5 horas) y por lo tanto el consumo sería del orden del convencional, teniendo en cuenta la nota 4.

En dicha prueba, la energía consumida por el enser convencional en 24 horas resultó de: **1060 Wh** (figura 26-b).

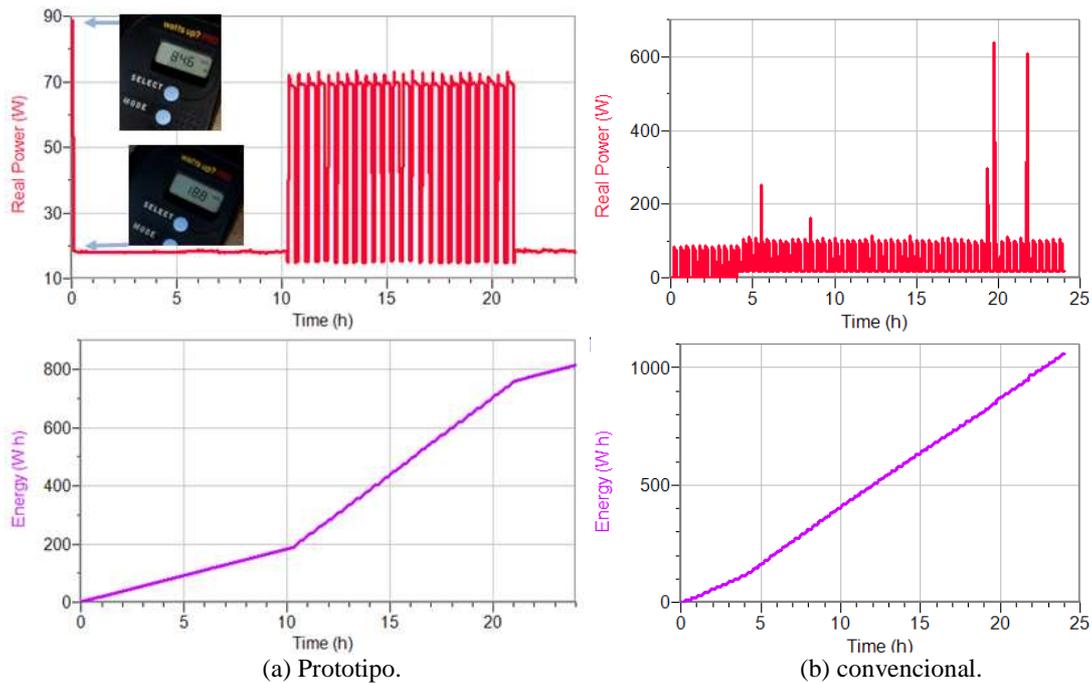


Figura 26. Graficas de potencia y energía vs tiempo (24 h).

Realizando el análisis de los resultados en cuanto al consumo de energía, podemos ver que puede **reducirse hasta en un 45 %** con la suposición de la nota 4 y un **23 %** usando fuentes de alimentación basadas en transformadores como las utilizadas en el prototipo.

En cuanto a las temperaturas obtenidas en ambos enseres para esta prueba de consumo de energía de la REC, se obtuvieron temperaturas muy similares. En la figura 27 y 28 se observa la temperatura ambiente, la cual fue común por tratarse de la misma prueba de manera simultánea, así mismo la temperatura de la cámara de pruebas, en la que se observa cómo esta cumplió con su objetivo, el cual fue amortiguar la variación de temperatura a lo largo de la prueba (24 h). Se observa que las temperaturas alcanzadas en el prototipo en el compartimiento del congelador fueron más bajas (por debajo de  $-8^{\circ}\text{C}$ ). Por otro lado, el convencional alcanzó su punto más bajo de  $-8.1^{\circ}\text{C}$  en aproximadamente 3.13 h (con algunos paros y arranques previo a alcanzar dicho valor) y el prototipo de  $-8.1^{\circ}\text{C}$  en 2.86 h y  $-10.4$  en 3.9 h (el prototipo trabajó continuamente hasta alcanzar los  $-10.4^{\circ}\text{C}$  y posterior a esto comenzó con los paros y arranques).

En cuanto a las temperaturas obtenidas en el compartimiento del enser, se observa en las figuras 27 y 28 que se tuvieron temperaturas más bajas en el prototipo híbrido (pero en el intervalo adecuado según norma- anexo 11), pero más homogéneas en el convencional, se observa también que en el

prototipo híbrido se obtuvieron temperaturas en el enser (arriba) en el intervalo de congelador (cuestión que se puede solucionar modificando los paros y arranques del compresor).

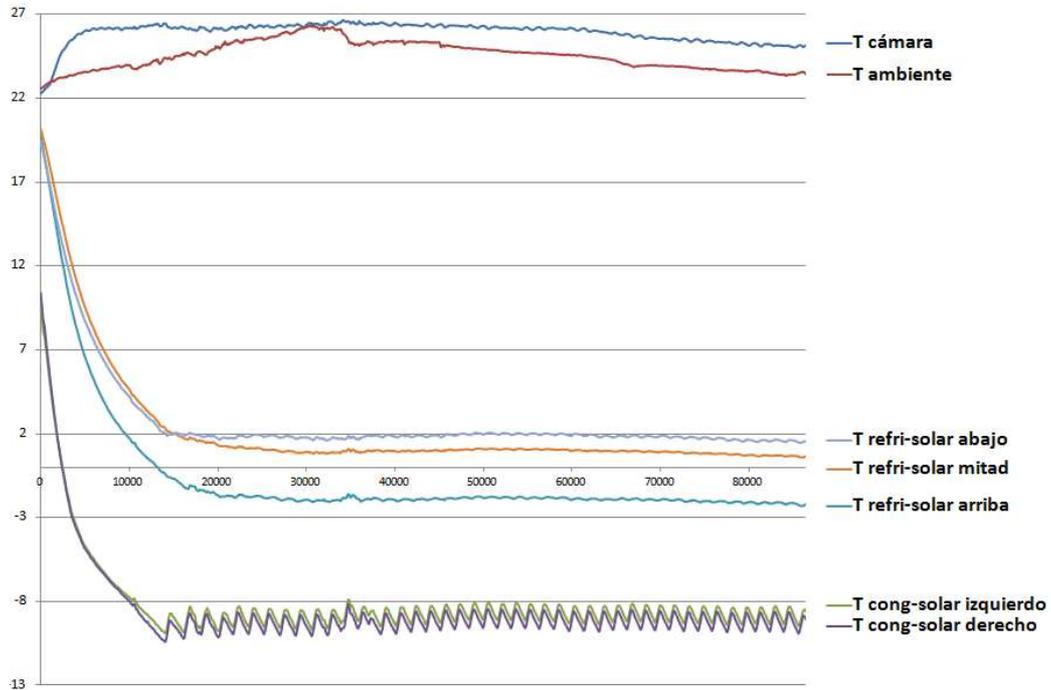


Figura 27. Gráfico de temperaturas [°C] en termopares (7) vs tiempo [s] (24 horas) en prototipo híbrido.

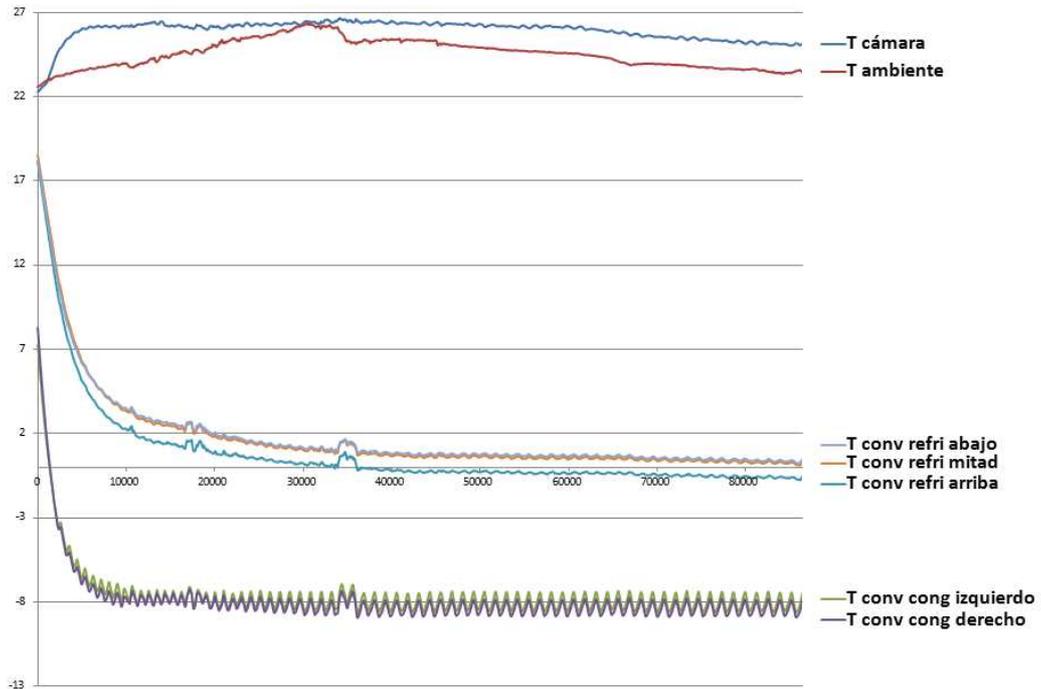


Figura 28. Gráfico de temperaturas [°C] en termopares (7) vs tiempo [s] (24 horas) en enser convencional.

## CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO.

Se consiguió diseñar y construir el prototipo híbrido de enser doméstico salvo algunos cambios relacionados con la transición del diseño conceptual-adquisición de componentes-construcción, cumpliendo con los objetivos, alcances y especificaciones objetivo, logrando la reducción del consumo de energía de la REC en comparación con el convencional.

Con el cálculo de la carga térmica, se observó el balance entre la potencia del compresor y espesor de aislante, si se aumentara el espesor de aislante en el gabinete, la potencia de compresor sería mucho menor que el obtenido teóricamente (situación deseable y cuestión que se esperaba), de ahí que los enseres comerciales del estudio comparativo realicen compresores de iguales o similares características al seleccionado y usen paredes aislantes de 10 cm de espesor en promedio. Por lo que de tenerse mayor espesor en el aislante del gabinete, la potencia nominal de los paneles FV sería menor.

Se pudo comparar los datos obtenidos inicialmente en el cálculo de la carga térmica con los datos obtenidos al modificar los datos de coeficientes de película (proporcionados por la empresa), se comprobó que la forma en que se calculó es correcta, ya que se tuvieron resultados muy similares a los de la empresa, por lo que se acordó conjuntamente con los miembros del equipo en ella que los coeficientes a considerar de manera definitiva en los cálculos de carga térmica, serían los usados por GE.

En cuanto a la selección del compresor, analizando las gráficas del estudio comparativo (Anexo 19), y cálculo de carga térmica se puede concluir que: El compresor seleccionado cumple con la capacidad de refrigeración requerida y disminución de consumo eléctrico.

En el proceso de dimensionamiento y selección de equipo para el prototipo de enser doméstico híbrido (FV-REC) construido, se previó una reducción del 35.8 % el consumo eléctrico tomado de la red eléctrica convencional (REC) con respecto al convencional. Cuestión que no estuvo alejada de la realidad pues realizando el análisis de los resultados en cuanto al consumo de energía eléctrica de la REC, podemos ver en el capítulo de resultados que el consumo puede **reducirse hasta en un 45 %** con la suposición de la nota 4 y un **23 %** usando fuentes de alimentación basadas en transformadores como las utilizadas en el prototipo.

Cabe señalar que esta disminución de energía eléctrica de la REC se consiguió sin dejar de lado la capacidad de refrigeración, ya que como puede observarse en las gráficas de temperatura de la sección VII.3, las temperaturas en el prototipo y convencional tienen rangos muy similares y de acuerdo a la norma NOM 015, siendo incluso más bajas en el prototipo.

Se consiguió las condiciones necesarias de refrigeración aumentando las horas de operación del compresor, así también, aprovechando el recurso solar (aprovechando la energía generada por el arreglo fotovoltaico) de tal forma que se obtiene el máximo aprovechamiento de captación, consiguiendo así un mayor tiempo de autonomía al planteado en un inicio.

En cuanto a las horas de autonomía, se pretendía que en el enser a modificar aprovechara la energía que pudiera captarse durante el periodo de horas pico solar diario (5 en promedio), de esa manera tener al menos de 4 a 5 horas de autonomía, cuestión que se mejoró (obteniendo un máximo de 13 horas como puede observarse en la figura 26-a gráfico superior) al implementar el sistema capacitivo con el que cuenta el prototipo.

Por otro lado, se sabe que el recurso solar es variante y habrá días en los que sea escaso. En ese periodo es donde el sistema operará gracias a la alimentación de la red eléctrica convencional (REC) mediante el sistema de control y “switcheo” que hace posible el funcionamiento del compresor DC. Dicho control satisface las condiciones de operación censando entre el sistema de captación y energía disponible de la batería.

Se expuso a la empresa la metodología de trabajo experimental a seguir a fin de determinar el comportamiento del sistema, cómo identificar su demanda energética y disponibilidad de potencia de los componentes a integrar, así como la obtención de perfiles de temperaturas de operación que permitirán el estudio dinámico del enser. Además, estos resultados permitieron establecer parámetros de diseño definitivos que posibilitaron pasar a la fase de acople con el control electrónico y ensayos del sistema prototipo.

Se consiguió reportar de forma continua el proceso seguido a través del proyecto de tal forma que se elaboraron reportes parciales para la empresa colaboradora, los cuales sirvieron como base para el desarrollo de esta tesis y trabajos relacionados con mis estudios de maestría.

Por otro lado se vivió el proceso de adquirir un compresor de esas características. Estos compresores DC y más los de uso directo para aplicación FV en México es escaso, lo que dificultó su adquisición y sin embargo, se cree que este tipo de equipos tienen gran potencial para futuras implementaciones en el área de enseres domésticos, portátil y comercial en México.

#### **Como trabajo futuro:**

- Acoplar de mejor manera (de manera directa) la señal de captación al control de “switcheo”
- Revisar y ajustar los rangos de voltaje censados en el control de “switcheo” tanto para el sistema de captación como de almacenaje de energía.
- Pasar de los circuitos en *protoboard* a tarjetas de circuitos impreso.
- Caracterizar el funcionamiento y el desempeño del prototipo en cámaras de propósito especial.
- Mejorar el sistema de “switcheo” y control de carga implementando más señales de control.
- Implementar el sistema de almacenamiento térmico (PCM) con un compresor de uso directo.
- Conseguir autonomía total y no temporal.
- Diseño, construcción, prueba y discusión sobre el desarrollo de un compresor de uso directo con enfoque de uso doméstico.

## REFERENCIAS

Gerardo Pérez, Joaquín Loaiza, Leslie M. Riveros, Vicente Borja, 2009, Diseño conceptual de sistema de iluminación LED– Fotovoltaico, memorias del XV congreso internacional de la SOMIM, pagina 75.

Leslie Riveros, 2010, Metodología de diseño-innovación basada en el usuario, Tesis profesional para obtener el Título de Diseñador Industrial.

Joaquín Loaiza, 2010 Diseño y Desarrollo de Productos Innovadores: Sistema Solar de Suministro de Energía Eléctrica para Camping, Tesis profesional para obtener el grado de maestría en ingeniería, diseño mecánico.

Lia Gómez, 2010, Desarrollo, construcción y prueba de un dispositivo termoeléctrico, Tesis profesional para obtener el grado de maestría en ingeniería, diseño mecánico.

Agogino, A.M., Beckman, S.L., Shedroff, N., Borja, V. (2008). Syllabus of the course “*Managing the new product development process: Design theory and methods*”.

Agogino, A.M., Beckman, S. L., Borja, V., López, M., Shedroff, N., Ramírez, A.C. (2008) “Teaching multinational, multidisciplinary sustainable product development”, (DETC2008-49388) Conference Proceedings: DETC’08, Design Engineering Technical Conference and Computers and Information in Engineering Conference, American Society of Mechanical Engineers, August, Brookling, New York, E.U.A.

Ulrich, K.T., Eppinger S.D., (2008). Diseño y desarrollo de productos-enfoque multidisciplinario. 3<sup>ra</sup> edición. Mc Graw Hill.

Ulwick, A., W, (2002). Turn customer input into innovation. Harvard Business Review. [www.hbr.org](http://www.hbr.org)

Seybold, P. B., (2001). Get inside the lives of your customers. Harvard Business Review. [www.hbr.org](http://www.hbr.org)

Walden, D. Special Issue on Kano’s Methods for Understanding Customer Defined Quality, (1993). Center for Quality Management Journal, 2, (4).

Beckman, S. L., y Barry, M., (2007). Innovation as a learning process: Embedding design thinking. California review management, 50, (1).

Heiman, E., Laurel, B. (2007).The critique. CCA.

Harris, R., Enero (2002). Creative Thinking Tecnique. <http://www.virtualsalt.com/crebook2.htm>

Photovoltaics - Design and installation manual, (2004). Solar energy international.

Miguel, A., Sánchez, Maza, (2008). Energía solar fotovoltaica, 1<sup>ra</sup> edición. Limusa.

Isaac Pilatowsky Figueroa, (abril de 2004). Oportunidades de enfriamiento solar en Iberoamérica. Seminario internacional de energía solar, medio ambiente y desarrollo.

Hernández Goribar, E., 2009. *Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración*. México: Limusa

Melgarejo Moreno Pablo, 1995, Aislamiento, cálculo y construcción de cámaras frigoríficas. 1ra edición, Ediciones A. Madrid Vicente.

Rodríguez, Y, Arencibia, K, Vite, M. Compresores utilizados en la refrigeración doméstica. Calidad y fiabilidad. [Revistaciencias.com](http://Revistaciencias.com) (2006)

Ensayos de compresores para fluidos refrigerantes. UNE 86-202-84 (ISO 917). Diciembre 2000 España

Monserrat Jordá J., Ruiz Mansilla, "*Compresores*" ETSEIB. UPC. Departamento de máquinas y motores térmicos. 2001. España 56 p

Thomachan A. Kattakayam, K. Srinivasan. Photovoltaic panel-generator based autonomous power source for small refrigeration units. Department of mechanical engineering, Indian institute of science, Bangalore, India 1996. Solar Energy 56 (1996) 543-552

J. Gwillin, P. Polack, K Marks. The feasibility of a batteryless PV powered vaccine fridge  
Sustainable Energy Programmes  
(2002)

S. Tau, I. Khan-E.A. Uken. Solar assisted space cooling  
Department of electrical engineering, Cape Technikon  
Domestic use of energy conference  
(2002) 123-128

Michael K. Ewert, David J. Bergeron III, Robert E. Foster, Oral LaFleur. Photovoltaic direct-drive, battery-free solar refrigerator field test results. NASA Johnson space center, SunDanzer refrigeration inc, College of engineering-New Mexico State University, Texas Southern University-School of Technology-Houston  
Proceedings of solar  
ASES (2002)

Robert E. Foster-Luis Estrada, Lilly M. Ojinaga, José L. Esparza, Arturo Romero-paredes Rubio. SW Refrigeradores de uso directo en México, Technology development institute, College of engineering-New Mexico State University, Win rock international, secretaria de desarrollo municipal del estado de Chihuahua, ecoturismo y nuevas tecnologías S.A. de C.V.  
México (2004)

Pedersen Per, Poulsen Soren, Katic Ivan  
Solarchill-a solar FV refrigerator without battery  
Danish technological institute  
Denmark 2004

Kaplanis Socrates, Papanastasiou Nikolaos  
The study and performance of a modified conventional refrigerator to serve as a PV powered one  
Renewable Energy 31  
(2006) 771-780

K. Azzouz, D. Leducq, D. Gobin. Cemagref.  
Performance enhancement of a household refrigerator by addition of latent heat storage: refrigerating processes unit-france.  
Univ Pierre et Marie Curie-CNRS-France  
International journal of refrigeration 31 (2008) 892-901

Axaopoulos Petros, Theodoridis Michael  
Design and experimental performance of a FV Ice-maker without battery.  
Solar Energy 83 (2009) 1360-1369

## Mesografía

Beltrán R.G., (n.d.). *Refrigerador solar - ciclo de absorción intermitente*. Disponible en: [http://www.riraas.net/documentacion/CD\\_02/RefrigeraSolarBELTRAN.pdf](http://www.riraas.net/documentacion/CD_02/RefrigeraSolarBELTRAN.pdf) [Fecha de acceso: Abril de 2009]

Foster E.R. et al., (n.d.). *Refrigeradores fotovoltaicos de uso directo en México*. [Internet]. Disponible en: [http://solar.nmsu.edu/publications/ANES\\_PV\\_.pdf](http://solar.nmsu.edu/publications/ANES_PV_.pdf) [Fecha de acceso: abril de 2009].

Free Patents Online. *Search Patents*. [Online]. Disponible en: <http://www.freepatentsonline.com/search.html> [Fecha de acceso: mayo de 2009].

World Intellectual Property Organization. *Search International Patent Applications*. [Online]. Disponible en: <http://www.wipo.int/pctdb/en/> [Fecha de acceso: mayo de 2009].

Crul, M.R., M. & Diehl, J.C., 2007. *Design for Sustainability: A practical approach for developing economies*. [e-book]. The Neatherlands: Delft University of Technology, Faculty of Industrial Design Engineering. Disponible en: <http://www.d4s-de.org/> [Fecha de acceso: abril de 2009].

Hawken, P. et al., 1999. *Natural Capitalism: The Next Industrial Revolution*. [e-book]. New York: Little, Brown & Co. Disponible en: <http://www.natcap.org/sitepages/pid5.php> [Fecha de acceso: Junio de 2009].

Design, Inc., 2006. *The designer's field guide for sustainability: An overview of sustainable product development and the product life cycle*. [Online]. Disponible en: [http://www.lunar.com/docs/the\\_designers\\_field\\_guide\\_to\\_sustainability\\_v1.pdf](http://www.lunar.com/docs/the_designers_field_guide_to_sustainability_v1.pdf) [Fecha de acceso: mayo de 2009].

Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México, 2009, disponible en: [http://www.sener.gob.mx/webSener/res/0/ER\\_para\\_Desarrollo\\_Sustentable\\_Mx\\_2009.pdf](http://www.sener.gob.mx/webSener/res/0/ER_para_Desarrollo_Sustentable_Mx_2009.pdf) [fecha de acceso: mayo d 2010]

Mabe -<http://www.mabe.com.mx/>

Danfoss- <http://www.danfoss.com/>

Servicio meteorológico nacional- <http://smn.cna.gob.mx/>

Kyocera- <http://www.kyocerasolar.com>

Microm - <http://www.microm.com.mx>

Erdm- <http://www.erdm-solar.com>

Arci- <http://arci.com.mx/>

Solartronic- <http://www.solartronic.com/>

Omega- <http://www.omega.com/>

Labview- <http://www.ni.com/labview/esa/>

Fuentes de alimentación - <http://www.weidmuller.com/es>