



UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO

CAMPUS IRAPUATO – SALAMANCA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS

**“ESTUDIO TEÓRICO DEL ACOPLAMIENTO
ENTRE UN SISTEMA DIFUSIÓN-ABSORCIÓN
Y UNO FOTOVOLTAICO”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN MECATRÓNICA

PRESENTA:

MARTHA CECILIA ARELLANO ALAMILLA

DIRECTOR:

DR. JUAN MANUEL BELMAN FLORES

SALAMANCA, GTO.

ABRIL 2017

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haberme dado vida para llegar a cumplir esta meta, fue un camino lleno de dificultades pero también de muchos logros y alegrías.

A mis padres, Martha y Diego por haberme dado esta oportunidad para cumplir mis sueños, tener la paciencia para verme llegar hasta este punto y por ser mi mayor apoyo, siempre incondicional. Gracias por confiar en mí.

A mis hermanas Angie y Lety por ser mi ejemplo y como hermanas mayores, nunca dejarme sola y aconsejarme.

A Diego y Anely por endulzarme los momentos amargos con sus ocurrencias y espero ser un apoyo y buen ejemplo a seguir.

A mis 4 abuelos, a mis tíos y tías y primos, que siempre me daban palabras de ánimo, gracias por el apoyo otorgado y sus palabras de admiración, gracias por estar conmigo en este camino. Todos saben que fue un camino lleno de dificultades, pero con unión lo logramos.

A mis amigos de la Universidad, por hacer de mi estancia en este lugar una de las mejores experiencias de mi vida, por estar conmigo en los momentos difíciles y por recordarme que tengo la capacidad de realizar las cosas cuando me sentí derrotada.

A todos y cada uno de mis profesores, por compartir cada conocimiento adquirido conmigo y ayudarme a ser una profesional e inculcar el amor por la ingeniería. En especial a mi asesor el Dr. Juan Manuel Belman Flores, por confiar en mi capacidad y ayudarme a desarrollar habilidades de investigación.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE GENERAL	4
ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE TABLAS	7
NOMENCLATURA	8
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN	9
1.1 INTRODUCCIÓN	10
1.2 OBJETIVO	11
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	11
1.4 CONTENIDO	12
CAPÍTULO 2 REFRIGERACIÓN SOLAR ELÉCTRICA	15
2.1 ENERGÍA RENOVABLE	16
2.2 ENERGÍA SOLAR.....	18
2.3 PANELES FOTOVOLTAICOS	20
2.3.1. CELDA FOTOVOLTAICA	21
2.3.1.1 PRIMERA GENERACIÓN	23
2.3.1.2. SEGUNDA GENERACIÓN	23
2.3.1.3 TERCERA GENERACIÓN	23
2.4 REFRIGERACIÓN	25
2.5 REFRIGERACIÓN FOTOVOLTAICA.....	26
2.5.1 COMPONENTES EXTRAS	27
CAPÍTULO 3 REFRIGERADOR BAJO ESTUDIO	29
3.1 DESCRIPCIÓN FÍSICA DEL SISTEMA DAR	31
3.2 PROCESO DE REFRIGERACIÓN DE UN DAR.....	34
CAPÍTULO 4 DIMENSIONAMIENTO	37
4.1 CRITERIOS DE PARTIDA.....	39
4.1.1 DEFINICIÓN DE OBJETIVOS.....	39
4.1.2 PROYECCIÓN DE LA INSTALACIÓN	39
4.1.3 DEFINIR LOS TIEMPOS DE UTILIZACIÓN.....	40

4.2 COMPONENTES DE LA INSTALACION FOTOVOLTAICA	41
4.2.1 BANCO DE BATERÍAS	41
4.2.2 CÁLCULO DE LA POTENCIA DE LOS PANELES	45
4.2.2.1 PRIMAVERA	46
4.2.2.2 VERANO	47
4.2.2.3 OTOÑO	48
4.2.2.4 INVIERNO	49
4.2.3 DIMENSIONAMIENTO DEL REGULADOR	52
4.2.4 DIMENSIONAMIENTO DEL INVERSOR	54
CAPÍTULO 5 RESULTADOS Y ANÁLISIS ECONÓMICO	55
5.1 VARIACIÓN DEL NÚMERO DE DÍAS DE AUTONOMÍA.....	60
5.2 VARIACIÓN DE POTENCIA DE LOS PANELES	61
5.3 VARIACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR	62
5.4 ANÁLISIS ECONÓMICO DEL SISTEMA.....	64
5.5 APOYOS GUBERNAMENTALES.....	69
CONCLUSIONES	71
REFERENCIAS	74
ANEXOS	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Participación de las energías renovables en la producción mundial de electricidad, 2014.	17
Figura 2.2 Espejos de Arquímedes en Siracusa.	19
Figura 2.3 Funcionamiento interno de un panel solar.	21
Figura 2.4 Conexión en paralelo de celdas solares.	22
Figura 3.1 Componentes principales del sistema DAR bajo estudio.	32
Figura 3.2 Descripción del interior del DAR bajo estudio.	33
Figura 3.3 Apariencia externa del frigobar experimental	34
Figura 3.4 Proceso de refrigeración	36
Figura 4.1 Gráfica del comportamiento de la irradiación en primavera.	47
Figura 4.2 Gráfica del comportamiento de la irradiación en verano.	48
Figura 4.3 Gráfica del comportamiento de la irradiación en otoño.	49
Figura 4.4 Gráfica del comportamiento de la irradiación en invierno.	50
Figura 4.5 Gráfica del comportamiento de la irradiación promedio anual (2010-2013).	51
Figura 4.6 Diagrama de un regulador tipo shunt.	53
Figura 5.1 Esquema de la red diseñada.	57
Figura 5.2 Acumulador comercial seleccionado.	58
Figura 5.3 Regulador seleccionado.	58
Figura 5.4 Inversor de onda senoidal seleccionado.	59
Figura 5.5 Módulo policristalino SolarLand 100W 12V	59
Figura 5.6 Variación de N_p en un rango definido para el número de días autónomos.	61
Figura 5.7 Variación de número de paneles conforme varia la potencia de estos .	62
Figura 5.8 Comportamiento del N_p con el comportamiento de la radiación promedio anual.	63
Figura 5.9 Comportamiento del N_p respecto a la radiación solar por estación del año.	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5.1 Especificaciones del acumulador seleccionado	58
Tabla 5.2 Especificaciones del regulador seleccionado.....	59
Tabla 5.3 Especificaciones del inversor seleccionado.	59
Tabla 5.4 Especificaciones del panel seleccionado.	60
Tabla 5.5 Cotización por componente del acoplamiento.....	65
Tabla 5.6 Costo anual en un frigobar conectado a la red eléctrica.	67
Tabla 5.7 Cálculo del valor presente neto en 6 años.	68
Tabla 5.8 Cálculo de la TIR en 6 años.	68

NOMECLATURA

As	Arsénico, elemento químico.
BANOBRAS	Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos.
C	Capacidad nominal en un acumulador [A·h]
Capa N	Capa de material semiconductor cargada negativamente.
Capa P	Capa de material semiconductor cargada positivamente.
COP	Coefficiente de rendimiento en sistemas de refrigeración.
Cu	Valor de la capacidad útil que debe tener un acumulador [W·h]
DAR	Refrigeración difusión-absorción.
E	Energía real útil [W·h]
Et	Potencia de consumo [W·h]
Ep	Cantidad de energía diaria producida por los paneles [W·h]
Ga	Galio, elemento químico.
H	Valor de la energía total incidente sobre 1 m ² [kW/m ²]
H.S.P	Número de horas de sol pico sobre horizontal [kW·h]
Ka	Factor de energía perdida por autodescarga.
Kb	Factor de energía que no entra en la batería/acumulador.
Kc	Factor de pérdidas de rendimiento del convertidor.
Kv	Factor de otras pérdidas en sistema.
N	Número máximo de días d autonomía.
Np	Número de paneles.
P	Potencia nominal del panel [W]
Pd	Máxima descarga admisible en el acumulador [%]
PV	Photovoltaics (fotovoltaico)
R	Constante total de factor de pérdidas en la instalación.
SEDESOL	Secretaría de Desarrollo Social en México.
Unión P-N	Estructura fundamental de un semiconductor.
Vbat	Voltaje de la batería [v]

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

Los científicos estudian el mundo tal como es; los ingenieros crean el mundo que nunca ha sido.

Theodore Von Karman

1.1 INTRODUCCIÓN

Hoy en día se presentan severos problemas con la demanda de energía eléctrica en los diversos sectores de nuestra sociedad, por lo tanto, la energía es considerada como un factor esencial para el desarrollo de cualquier país. Lo que se busca es reinventar en las formas de generación de energía eléctrica (específicamente) con las que se obtenga una mejor calidad de la energía, así como un menor impacto ambiental. Lo anterior es debido a que se ha observado que, a lo largo de los años, la utilización de energías convencionales ha tenido un notable impacto negativo a nuestro entorno, por lo que el uso de energías renovables es cada vez más popular (Panwar et al., 2011).

Actualmente, la refrigeración artificial es un mecanismo indispensable en nuestras vidas, ya sea para el sector comercial, doméstico o de salud. La tecnología por compresión de vapor para generar frío predomina alrededor de un 80% en las aplicaciones a nivel mundial. Esta tecnología contribuye al calentamiento global por el tipo de energía de entrada y a su vez, por el tipo de fluidos refrigerantes donde algunos contribuyen al deterioro de la capa de ozono, algunos otros en el calentamiento global. Además, la tecnología por compresión de vapor implica alrededor de un 30% del consumo de la energía mundial (Kattakayam y Srinivasan, 1998). Sin embargo, existen otras alternativas en la producción de frío, las cuales suelen ser tecnologías más sustentables, una de ellas la difusión-absorción. Así como hay opciones alternas para la refrigeración, también existen para la generación de energía eléctrica, una de ellas es el aprovechamiento de la energía solar.

Debido al escenario ambiental actual se está direccionando al uso de sistemas alternos, entre ellos, los activados térmicamente o con un bajo consumo energético. En este sentido, los sistemas difusión-absorción para refrigeración representan una alternativa viable. El uso de estos sistemas (frigobar) supone un consumo de energía mínimo, además, su activación se puede realizar por medio de energía fotovoltaica, lo cual resulta muy amigable ya que ayuda a contribuir a la reducción del consumo energético y, además, en la parte ambiental por el tipo de fluidos de

trabajo de estos sistemas (amoniac-agua e hidrógeno como gas inerte). En este sentido, este trabajo de tesis propone el estudio del acoplamiento de un sistema de difusión-absorción con un panel fotovoltaico.

1.2 OBJETIVO

Analizar y dimensionar un sistema híbrido basado en la tecnología difusión-absorción (frigobar de baja capacidad de enfriamiento y volumétrica) y un sistema fotovoltaico desde el punto de vista conceptual. El sistema fotovoltaico se utilizará para activar el sistema de refrigeración mediante el acoplamiento entre ambos. Para ello, se han planteado los siguientes objetivos específicos en este trabajo:

- o Dimensionamiento del acoplamiento fotovoltaico para la activación del sistema de refrigeración, para esto, se tomarán en cuenta los estudios de radiación solar por mes y por estación del año en la ciudad de Salamanca, Guanajuato.
- o Análisis de la rentabilidad (factibilidad) de este tipo de sistemas híbridos, tomando en cuenta la potencia de refrigeración, así como el costo económico que implica cada uno de los componentes del sistema.
- o Simular el comportamiento del sistema y su dimensionamiento haciendo uso del software Matlab, analizando las diferentes situaciones que pudieran presentar inconvenientes en el funcionamiento del acoplamiento.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Un sistema de refrigeración es un dispositivo indispensable en distintos sectores de la sociedad, por ejemplo, en los procesos industriales en donde se requiere lograr temperaturas por debajo de los 0°C; el sector de la alimentación es de los que más demanda de refrigeración representan, sobretodo, en lugares con altas temperaturas donde es indispensable mantener los alimentos en buen estado; otro sector importante que requiere de estos sistemas es el de la salud, ya que existen

vacunas y medicamentos que necesitan conservarse a temperaturas más bajas que el ambiente. Otros sectores que potencializan la refrigeración son el comercial, el residencial e incluso el del transporte.

Enfocándose en los sistemas de refrigeración de baja potencia de enfriamiento, que entregan una potencia frigorífica entre 50 y 250 W tienen ya una aplicación clara, aunque aún muy limitada, esta se puede extender a lugares en donde no existe el suministro de energía eléctrica, lo que los hace muy útiles, a su vez, proporcionaría una mejor calidad de vida en estas zonas. Mediante el acoplamiento entre sistemas energéticos, como es el caso de un sistema fotovoltaico y uno de difusión-absorción, puede representar un punto interesante tecnológico y de investigación, así como de optimización entre estos sistemas para que sean viables tanto económica como energéticamente. Es así, que en este trabajo de licenciatura se pretende analizar, dimensionar y simular el acoplamiento entre ambos sistemas, esperando como resultados el estudio económico y de componentes según la potencia frigorífica que existen en el mercado nacional.

1.4 CONTENIDO

A continuación, de manera breve se describe el contenido de esta tesis a través de los capítulos.

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se ofreció una breve descripción del contenido de este trabajo de tesis y la distribución de ella. Además, se justifica de manera clara el objetivo del trabajo.

Capítulo 2. REFRIGERACIÓN SOLAR ELÉCTRICA

El análisis del funcionamiento de un sistema de refrigeración activado mediante energía eléctrica se presenta en este capítulo. Teniendo previo conocimiento y estudio de los sistemas fotovoltaicos para presentar un mejor escenario.

Capítulo 3. FRIGOBAR BAJO ESTUDIO

En este capítulo se describe el frigobar basado en la tecnología difusión-absorción, conociendo su rango de energía de activación, potencias frigoríficas, fluidos de trabajo y volúmenes en el mercado nacional.

Capítulo 4. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA

Teniendo análisis previos del sistema fotovoltaico y del sistema de refrigeración se realizará una primera propuesta del acoplamiento, esto incluirá el diseño de todos los componentes necesarios para hacer funcional el sistema. Después se realizará el estudio económico y sus aplicaciones. Para esto, se dará una propuesta sobre posibles fondos o apoyos nacionales para este tipo de proyectos en el país, sobre todo aquellos aplicados en zonas desfavorables por el suministro eléctrico.

Capítulo 5. RESULTADOS

Acorde a lo investigado y desarrollado en este trabajo de licenciatura, en este capítulo se muestran los principales resultados, ayudándose de datos visuales como gráficas y diagramas del sistema y su funcionamiento, así como las variaciones de este.

Capítulo 6. CONCLUSIONES

En este capítulo, de acuerdo a los análisis y resultados obtenidos se llega a una conclusión general.

CAPÍTULO 2 REFRIGERACIÓN SOLAR ELÉCTRICA

La Ingeniería es el arte de modelar materiales que no comprendemos completamente, en formas que no podemos analizar precisamente o soportando fuerzas que no podemos prever exactamente, de manera tal que el público no tenga razones para sospechar la extensión de nuestra ignorancia.

Dr. Ar Dykes.

Cuando hablamos de un sistema de refrigeración solar nos referimos a un acoplamiento de paneles fotovoltaicos y un dispositivo eléctrico de refrigeración, obviamente con todos los componentes adicionales que se requieran para el óptimo funcionamiento del sistema híbrido. Para un mejor entendimiento, en este capítulo se describirán algunos conceptos y se dará una breve explicación de los diferentes factores a tomar en cuenta en estos sistemas.

2.1 ENERGÍA RENOVABLE

Uno de los más grandes problemas que enfrentamos en la actualidad es la demanda de energía eléctrica en los diferentes ámbitos de la sociedad, siendo los más demandantes el sector industrial y la sociedad dinámica, lo que hace que la energía sea un factor determinante para definir el nivel de desarrollo de un país.

Como es bien conocido, la principal fuente de energía proviene de combustibles fósiles que tiene un alto impacto medioambiental y además altos costos de refinación, por lo que en los últimos años el uso de fuentes no convencionales de energía se ha diversificado como soluciones alternativas al daño ambiental y a la sobredemanda de energía.

La energía renovable puede ser definida como una fuente sustentable que respeta el medio ambiente y que a su vez está disponible por un extenso periodo de tiempo sin efectos adversos (Panwar et al., 2011).

La implementación de energías no convencionales para la generación de electricidad ha ido en crecimiento constante y contribuye al 9% de la energía global producida (Marechal et al., 2005). Con el uso e implementación de estas tecnologías alternas se pretende tener un impacto en la calidad de vida de los habitantes de las zonas rurales en las cuáles no se tiene los beneficios de energía eléctrica.

La mayoría de la energía de México proviene de la tecnología termoeléctrica y solamente el 2.6% del total de la energía generada proviene de fuentes de energía no convencionales. En el año 2012, de un total de 52,534 MW generados de energía

REFRIGERACIÓN SOLAR ELÉCTRICA

solamente 1 MW fue generado por energía fotovoltaica, 598 MW de Eoloeléctrica y 812 MW de Geotérmica, lo que resulta poco comparados con los 14,608 MW generados por la Termoeléctrica. Para el año 2015 se tuvo registrado 874 MW de energía Geotérmica, 699 MW de Eoloeléctrica y solo 6 MW por fotovoltaica (<http://egob2.energia.gob.mx/portal/electricidad.html>). Por estas estadísticas se puede deducir que la generación de energía por fuentes no convencionales aún es muy poca y se siguen utilizando fuentes que dañan nuestro entorno.

La participación de las energías renovables varía dependiendo del nivel de desarrollo del país, de sus fuentes tradicionales de energía primaria y las políticas que se tienen para el uso de energías renovables, en el año 2013 en México la aportación de las energías renovables fue del 7.9%. Como se muestra en la Figura 2.1, en el año 2014 la capacidad instalada para generar electricidad a partir de fuentes renovables a nivel mundial llegó al 22.8% de la capacidad total y otras formas de energía se mantuvieron en un nivel con poca varianza (http://climateobserver.org/wp-content/uploads/2014/08/Mexico_Estrategia-Nacional-de-Energia_2013-2027.pdf).

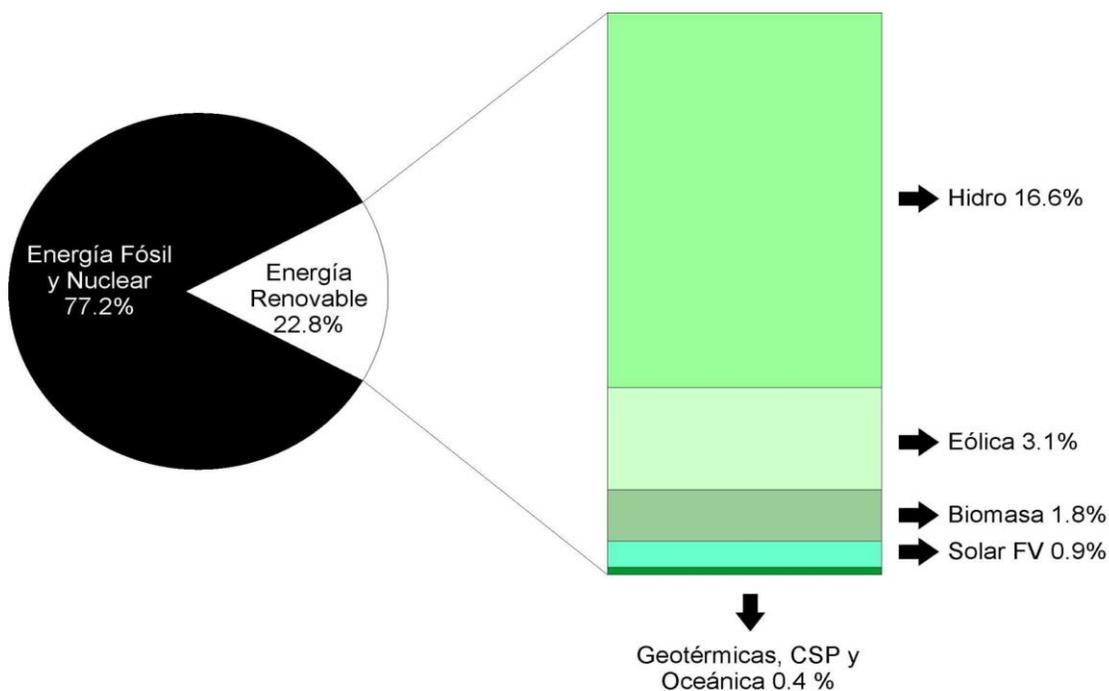


Figura 2.1 Participación de las energías renovables en la producción mundial de electricidad, 2014.

Actualmente, de todas las formas no convencionales de energía, la energía solar fotovoltaica es la de mayor crecimiento en el mundo además que de todas las fuentes de energía renovables, la solar es la más importante debido a su abundancia, sostenibilidad y completamente libre de costo (Rubisel et al., 2003).

2.2 ENERGÍA SOLAR

El Sol es la estrella que, por efecto gravitacional de su masa, domina el sistema planetario en el que está incluida la Tierra. Mediante la radiación de su energía electromagnética, aporta directa o indirectamente toda la energía que mantiene la vida en la Tierra, porque todo el alimento y el combustible proceden en última instancia de las plantas que utilizan la energía de la luz del Sol, esto la hace imprescindible para el desarrollo de la vida. Esta estrella es la responsable del ciclo del agua, la fotosíntesis, etc.

La energía solar es el resultado de las reacciones termonucleares que ocurren dentro del núcleo del Sol y que provocan que este desprenda radiación electromagnética. Llega a la Tierra a través del espacio en cuantos de energía llamados fotones, que interactúan con la atmósfera y la superficie terrestres (Li ZF y Sumathy K., 2000). La intensidad de la radiación solar que llega a la Tierra no es constante debido a la absorción y a la dispersión de la radiación que origina la interacción de los fotones con la atmósfera.

Las propiedades que tiene esta radiación son: luz visible, infrarroja y ultravioleta. Todas las energías en la Tierra son originadas a partir del Sol (directa o indirectamente) excepto la nuclear, marítima y geotérmica (Kalkan N. et al., 2012).

Desde las antiguas civilizaciones se ha tratado de aprovechar este recurso natural. Los griegos fueron los primeros en diseñar sus casas para aprovechar la luz solar (400 a.C). Los romanos utilizaron por primera vez el vidrio que les ayudó a atrapar calor en sus casas, además de mantenerlas iluminadas (<http://solar-energia.net/historia>).

REFRIGERACIÓN SOLAR ELÉCTRICA

Otra de las primeras referencias históricas que se puede encontrar al uso de la energía solar se encuentra en la antigua Grecia con Arquímedes. Durante la batalla de Siracusa en el siglo III a.C. que enfrentó a los romanos y los griegos, algunos escritos relatan cómo Arquímedes utilizó unos espejos hexagonales, como el mostrado en la Figura 2.2, hechos de bronce para reflejar los rayos solares concentrándolos en la flota romana con el objetivo de destruirla.

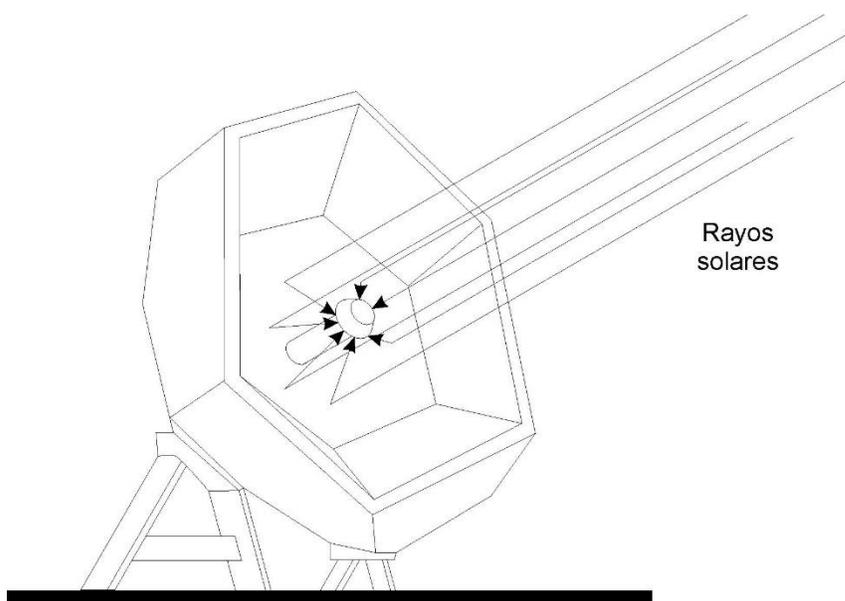


Figura 2.2 Espejos de Arquímedes en Siracusa.

Debido a la amenaza de la escasez de la energía, científicos han incrementado el estudio de la energía solar en los últimos años (Li ZF y Sumathy K., 2000). Actualmente se están planteando tecnologías viables para capturar y mantener la energía solar para diferentes usos, tales como, calentamiento de agua, cocinar, calefacción, generación de energía y refrigeración. Muchos países están aceptando que la energía solar tiene un potencial enorme debido a su limpieza, bajo precio y su disponibilidad natural, además de que se sabe que la máxima radiación solar se da entre los meses de mayo a septiembre (Hassan HZ et al. 2012) por lo que en este rango de tiempo se puede aprovechar de una manera máxima esta energía natural.

REFRIGERACIÓN SOLAR ELÉCTRICA

Los científicos afirman en estudios recientes que el Sol arroja sobre nuestro planeta cuatro mil veces más energías que la que se consume en todo el mundo. Con estos datos se puede decir que bastaría con cubrir con colectores solares un 0.5% de los desiertos existentes en la Tierra para poder satisfacer las necesidades eléctricas de todos los humanos en el planeta.

Una de las mayores formas de aprovechar la energía del Sol es transformarla en energía eléctrica, aunque también es posible utilizarla para generar calor, según un informe la capacidad instalada a nivel mundial era de 77 GW a finales del 2004 (<http://www.worldwatch.org>). En el año de 2014 la generación de energía fotovoltaica a nivel mundial fue de 177 GW, concentrándose en mayor medida en Alemania, China Japón, Estados Unidos e Italia con un 74.2% del total mundial. Sin embargo, es la generación de energía eléctrica no convencional que tiene un mayor énfasis de desarrollo y aplicación.

Cada vez son más los países que se suman al aprovechamiento de la energía solar para diversas actividades y necesidades humanas, sobre todo cuando se habla de problemas con la refrigeración y el enfriamiento, como, por ejemplo, el aire acondicionado. Estas tecnologías de enfriamiento solar se están convirtiendo en un punto importante en el desarrollo de nuestro planeta ya que están abriendo puertas con las que se logran resolver los problemas de refrigeración existentes en los diferentes rubros de la sociedad que nos llevan a tener una mejor calidad de vida.

2.3 PANELES FOTOVOLTAICOS

Los dispositivos más populares creados para la captación de la energía solar y lograr aprovecharla de una manera eficiente en diferentes sistemas son los paneles fotovoltaicos que a su vez, están formados por celdas solares, éstas básicamente son semiconductores cuya eficiencia y costo varían dependiendo del material y los métodos de manufactura con los que están hechos. La mayoría de las celdas comerciales existentes en el mercado están hechas de silicio. El efecto que producen estas celdas se le llama fotovoltaico.

2.3.1 CELDA FOTOVOLTAICA

Una celda fotovoltaica es un dispositivo electrónico que permite transformar la energía luminosa en energía eléctrica, es decir, pasar de fotones a electrones, creando así un efecto fotoeléctrico. Este efecto consiste en la emisión de electrones de un material cuando incide en la iluminación con radiación electromagnética, los electrones liberados, al ser capturados generan corriente eléctrica.

Como se muestra en la Figura 2.3, el funcionamiento de la celda fotovoltaica consiste en la conversión de la energía que transportan los fotones de luz cuando inciden sobre materiales semiconductores en energía eléctrica capaz de impulsar los electrones despedidos a través de un circuito exterior realizando un trabajo útil (Instalaciones de Energía Solar, *Tomo V Sistemas de Conversión Eléctrica*, 2004).

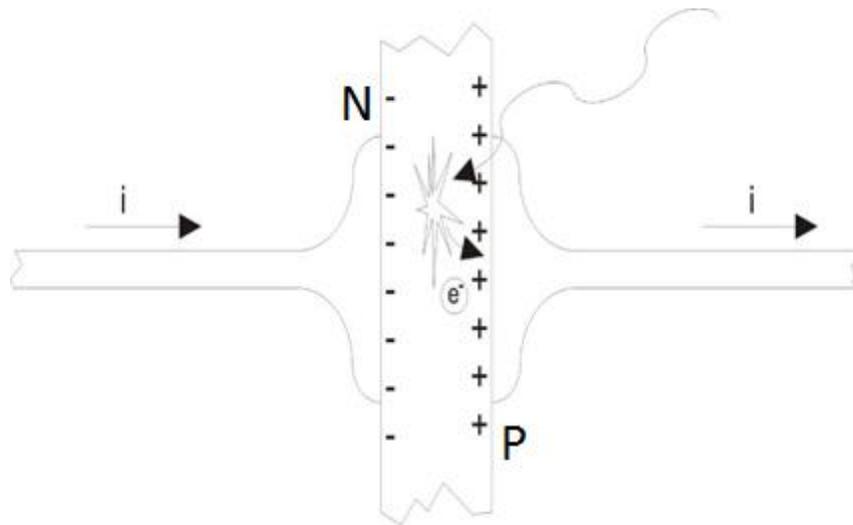


Figura 2.3. Funcionamiento interno de un panel solar.

Desglosado de una manera más específica, primero el material capta los fotones de la luz solar incidente sobre él, esta interacción provoca el desprendimiento de los electrones de los átomos de silicio para así, atravesar y romper la barrera de potencial de la capa semiconductor. Al llevarse a cabo este

REFRIGERACIÓN SOLAR ELÉCTRICA

proceso se genera una diferencia de potencial entre la capa N (negativa) con respecto a la P (positiva), pudiendo así conectar una carga al dispositivo lo que generará una circulación de corriente continua.

La generación de un panel fotovoltaico se da a partir de la unión de celdas fotovoltaicas definiendo una red de celdas solares. Como cualquier otro circuito se pueden hacer conexiones entre celdas en paralelo, como se observa en la Figura 2.4, o en serie. Para aumentar el voltaje de salida del panel o red, las celdas solares deben estar conectadas en serie hasta llegar al valor deseado. Si lo que se desea es aumentar la corriente de salida, entonces las celdas deberán conectarse en paralelo (http://www.esco-tel.com/paneles_solares.html).

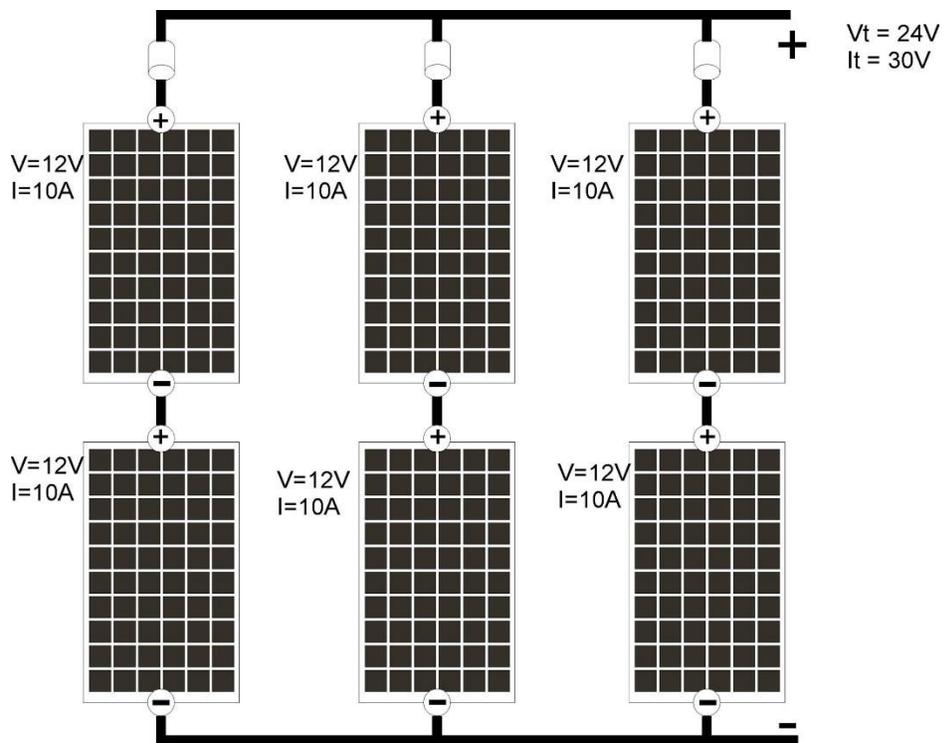


Figura 2.4 Conexión en paralelo de celdas solares.

A lo largo del desarrollo de estos dispositivos se generaron tres generaciones de células fotovoltaicas, estas generaciones indican el orden de importancia y relevancia a lo largo del tiempo.

2.3.1.1 PRIMERA GENERACIÓN

Estas celdas se caracterizan por tener una gran superficie, alta calidad y fácil unión entre ellas. Constaban de una capa de unión P-N fabricadas mediante un proceso de difusión con obleas de silicio y su superficie era un cristal simple. Esta generación de celdas predominaba el mercado teniendo una presencia del 86% del total de celdas comerciales.

2.3.1.2 SEGUNDA GENERACIÓN

Basada en el uso de procesos de fabricación de circuitos integrados de película muy delgada. Esta tecnología considera un ahorro notable en la producción, además de que por sus características se puede utilizar sobre materiales flexibles y de bajo peso o de origen textil, lo que representa un gran avance en ventajas tecnológicas. Estas celdas delgadas están fabricadas principalmente de Ga y As para aplicaciones espaciales presentando una eficiencia de 37%. Aunque forman un pequeño segmento en el mercado terrestre, abarcan un 90% del mercado espacial.

2.3.1.3 TERCERA GENERACIÓN

Esta generación ya no utiliza la unión P-N como las anteriores. Se están investigando dispositivos que incluyan celdas electroquímicas, polímeros, nanocristales y tintas sensibilizadas que presenten una eficiencia de hasta el 45%.

REFRIGERACIÓN SOLAR ELÉCTRICA

Actualmente se tienen eficiencias de conversión media obtenida por las celdas comerciales (silicio policristalino) alrededor de 11 a 12%, aunque la realidad es que varían de un 6% (silicio amorfo) hasta un 19% (silicio monocristalino). Existen celdas de otros materiales como el Arseniuro de Galio que alcanza una eficiencia del 30%.

Hoy en día se investiga en técnicas para aumentar la eficiencia de estas, tales como multiunión de celdas, concentración del espectro incidente, generación térmica por luz ultravioleta para aumentar la tensión o el uso de espectro infrarrojo para la actividad nocturna. La vida útil media a máximo rendimiento de una celda es alrededor de 25 años, a partir de este periodo la potencia entregada por nuestro dispositivo disminuye.

La primera utilización de dispositivos para la captación solar se remonta al año 1515, en el que Leonardo Da Vinci comenzó uno de sus muchos proyectos. La idea de este era construir un concentrador solar de 6 km de diámetro a base de espejos cóncavos para la producción de vapor y calor industrial. Después, a mediados del siglo XVIII y basado en la idea de los espejos de Arquímedes, Georges – Louis Leclerc, utilizó 24 cristales de gafas con los que se dio cuenta que a una distancia de 20 m podía encender una mezcla de brea con polvo de cartón, así siguió experimentando hasta realizar un mecanismo de captación compuesto de 177 cristales el cuál utilizaba para fundir virutas de plata. Hasta este tiempo no se tenía idea alguna de lo que llegaría a ser los paneles fotovoltaicos. Fue hasta el año de 1868 que comenzaron a surgir los primeros sensores solares con idea de John Ericsson creando un colector parabólico que actualmente todavía se utiliza, pero fue hasta 1900, que Aubrey Eneas fundó The Solar Motor Co, la primera empresa de energía solar. En 1911, Schuman fundó la primera empresa solar en Estados Unidos abriendo otra un año más tarde en Egipto.

Los sistemas de energía solar como lo es la tecnología de paneles tienen una aplicación, actualmente, amplia debido a que nos proporcionan una alta cantidad de energía en relación a un dispositivo de bajo peso, simple, compacto en tamaño y menor mantenimiento (Kaplanis, 2006). Claramente, las características del dispositivo solar dependen de la demanda de energía que se demande.

Actualmente se puede disponer de dispositivos estáticos y de seguimiento que comprenden colectores solares. Con un colector de seguimiento se puede captar hasta un 45% más de energía que con uno estático (Rubisel et al., 2003). La eficiencia de un panel solar está definida por la razón de potencia, W , entre el área de incidencia solar del panel, A_s , y la radiación directa sobre él ($I_p = 1 \text{ kW/m}^2$) y es comúnmente calculada por la siguiente fórmula:

$$n = \frac{W}{I_p \times A_s} \quad (2.1)$$

2.4 REFRIGERACIÓN

La refrigeración es una técnica que se ha desarrollado con el avance de la civilización como resultado de las necesidades del ser humano. Antes de la invención de los refrigeradores o neveras, se utilizaban casas de hielo que se encontraban a las orillas de ríos de agua dulce o de hielo durante el invierno, lo cuales son métodos naturales de enfriamiento que en el pasado fueron muy comunes. La palabra frigorífico comenzó a utilizarse en el siglo XVII. En 1775 William Cullen creó una bomba con un parcial de vacío, hirviendo esto absorbía calor del aire y logró crear una pequeña cantidad de hielo. Para 1805 Oliver Evans utilizó el concepto de refrigeración por compresión de vapor del ciclo. En 1820, Michael Faraday mezcló amoníaco y otros gases a bajas temperaturas y presiones altas, pero fue hasta 1834 que Jacob Perkins construyó el primer sistema de refrigeración por compresión de vapor de trabajo en el mundo que consistía de un dispositivo de ciclo cerrado que podría generar frío de forma continua.

La refrigeración difusión-absorción conocida por las siglas DAR (diffusion absorption refrigeration) fue introducida en el año 1920 por Von Platen and Munters. La mezcla utilizada por ellos para el funcionamiento de esta tecnología fue hidrógeno como gas inerte que cumple la función de gas auxiliar, agua como absorbente y amoníaco como refrigerante (Koyfran A et al., 2003).

El DAR es un sistema de auto circulación por absorción que consiste de una bomba de burbuja que es la responsable de la circulación de los fluidos de trabajo. Durante el proceso de refrigeración los tres fluidos de trabajo ayudan a mantener la presión estable para el proceso de expansión. Los fluidos de trabajo más utilizados en los sistemas DAR son amoniaco-agua-hidrógeno. El par que forman amoniaco/agua se utiliza como fuente de calor de más de 150 °C, sin embargo, a temperaturas más bajas que 0°C comienzan a existir problemas (Koyfran A et al., 2003).

2.5 REFRIGERACIÓN FOTOVOLTAICA

Los refrigeradores convencionales pueden ser convertidos en dispositivos solares, solo sufren algunas modificaciones para reducir la carga de enfriamiento y por consecuencia reducir la potencia requerida para su activación. Las modificaciones que se realizan en el dispositivo de refrigeración son especialmente realizadas en el compresor ya que es la parte fundamental en este tipo de sistemas. Estas modificaciones tienen sus ventajas y desventajas, por ejemplo, reducen la capacidad de volumen útil en un 30 %, mientras que por otra parte esta modificación reduce la pérdida de calor y la carga de enfriamiento considerablemente (Kaplanis, 2006).

Se describe un sistema de energía autónoma como una unidad de refrigeración doméstica en el cuál la energía es obtenida a través de paneles fotovoltaicos respaldados por un generador entre los cuáles existen tiempos en los cuales la energía captada se almacena en bancos de baterías, es decir, el sistema no necesita más energía (Kattakayam y Srinivasan, 2004).

También se puede hablar de la refrigeración solar como un sistema híbrido ya que se está haciendo acoplamiento entre dos sistemas diferentes y además no convencionales que tiene un comportamiento amigable con el medio ambiente.

Un sistema de refrigeración fotovoltaica consiste en el acoplamiento de paneles fotovoltaicos y un dispositivo eléctrico de refrigeración, además de otros

componentes que ayudan al acoplamiento entre ambos, como, por ejemplo, los bancos de baterías, convertidores, y dispositivos de control del sistema. Típicamente los paneles fotovoltaicos entregan corriente directa (DC), sin embargo, en aplicaciones domésticas e industriales se utiliza corriente alterna (AC) por lo que son necesarios algunos complementos extras en el acoplamiento (Otanicar y Taylor, 2012).

2.5.1 COMPONENTES EXTRAS

- * **Módulos de paneles fotovoltaicos.** Celdas encargadas de transformar la energía solar en energía eléctrica.

- * **Banco de baterías.** Este componente es utilizado para almacenar la energía recolectada por los paneles fotovoltaicos y no aprovechada por el dispositivo de refrigeración cuando no se encuentra en funcionamiento. Esta energía recopilada es utilizada cuando hay ausencia de luz solar o para otras aplicaciones necesarias en el hogar o entorno en donde se encuentre el sistema híbrido.

- * **Inversor.** Circuito eléctrico utilizado para convertir la energía de DC entregada por los PV en energía AC requerida por las cargas.

- * **Regulador.** Este componente puede incluirse con el banco de baterías. Su función principal es controlar el flujo de energía circulando por todo el sistema, esto, como sistema de protección.

A pesar de que la tecnología de refrigeración solar es considerada madura, hasta hoy, la capacidad de enfriamiento de un aire acondicionado solar en Europa es de 6 MW (Nick-Lepting, 2005). La viabilidad de estos tipos de sistemas de refrigeración todavía no es estable, uno de los mayores problemas de implementación es el costo inicial.

Abordando la parte de la refrigeración DAR acoplada al sistema fotovoltaico podemos aclarar que los fluidos de trabajo en este caso de estudio son; hidrógeno

como gas inerte, agua como absorbente y amoníaco como refrigerante, siendo los últimos el par principal de trabajo.

Hablando del sistema híbrido, los especialistas dividen el sistema en cuatro funciones básicas (Fong et al., 2011).

- Refrigeración por absorción
- Deshumidificación desecante
- Refrigeración radiante
- Recolección de energía solar

Los sistemas híbridos se pueden clasificar en dos configuraciones principales; convencionales y no convencionales, y las posibles combinaciones entre estos.

Entre los años 1977 y 1980 se comenzaron a utilizar los primeros sistemas híbridos utilizando paneles fotovoltaicos, y entre 1981 y 2003 el número de este tipo de sistemas ya excedía los 60 sistemas instalados. Hablando del caso de México, este tipo de sistemas llegaron hasta los 90s utilizando diferentes tipos de tecnologías.

CAPÍTULO 3 REFRIGERADOR BAJO ESTUDIO

Los ingenieros usan la ciencia para resolver sus problemas siempre que sea posible utilizarla. Pero, aunque la ciencia no esté disponible, el problema debe resolverse, y cualquier forma que toma la solución bajo estas condiciones se llama ingeniería.

Diseño en Ingeniería Mecánica de Sigley.

Actualmente los sistemas de refrigeración basados en compresión de vapor son causantes de manera indirecta, de la contribución de emisiones de gases de efecto invernadero, por el tipo de energía de entrada, consumiendo un 30% de la energía final eléctrica mundial (Belman et al., 2009). Por otro lado, estos sistemas también representan un daño directo por el tipo de refrigerante que se usa, perjudicando a la capa de ozono y representando un alto valor del potencial de calentamiento global.

Por tal motivo, se buscan tecnologías alternas en la generación de frío, además, que sean sustentables energéticamente hablando. Es así que en este trabajo de tesis se estudia el acoplamiento entre un sistema fotovoltaico con un sistema de refrigeración difusión-absorción, DAR. Este tipo de refrigerador utiliza una mezcla de amoníaco como refrigerante y agua como absorbente, el par anterior utiliza otros fluidos como hidrógeno o helio, como gas inerte auxiliar. En base al tipo de fluidos de trabajo en este tipo de sistemas, se puede decir que se presenta un refrigerador más amigable con el medio ambiente. Lo más característico de estos sistemas DAR es que no ocupan una bomba mecánica/eléctrica o un compresor, en su lugar ocupan una bomba de burbuja activada térmicamente que hace circular la solución por todo el sistema (Koyfman et al., 2002).

Una desventaja es que estos tipos de sistemas son utilizados limitadamente para capacidades frigoríficas pequeñas. Su eficiencia es baja comparada contra un refrigerador convencional. Normalmente proveen una capacidad frigorífica en un rango de 200 a 400 W, con un coeficiente de desempeño, COP, entre 0.2 y 0.25; por lo que la investigación actual en este tipo de sistemas se basa en la búsqueda de incrementos en el desempeño y nuevos fluidos de trabajo (Belman et al., 2009). Para aplicaciones como mantenimiento de vacunas y alimentos en lugares pequeños, los DAR representan una de las mejores opciones.

3.1 DESCRIPCIÓN FÍSICA DEL SISTEMA DAR

Los sistemas que componen un sistema híbrido son aquellos que se acoplan con uno o varios sistemas con el fin de mejorar el proceso o buscar sistemas más sustentables. El sistema de refrigeración bajo estudio en este trabajo de tesis será un componente de un acoplamiento híbrido, además, al tratarse de un sistema DAR existen modificaciones en los componentes convencionales de un dispositivo de refrigeración. El DAR bajo estudio está formado por los siguientes componentes (ver Figura 3.1):

- **Generador/bomba de burbuja (1):** Es el componente más importante de estos sistemas de refrigeración. Su funcionamiento está basado en el principio hidrostático, en múltiples estudios se ha comprobado que para una mayor capacidad de enfriamiento la bomba debe tener múltiples tubos.
- **Rectificador (2):** Funciona como regulador de flujo en el sistema separando el exceso de agua en la solución.
- **Condensador (3):** En el condensador el refrigerante se condensa a temperatura media, no hay gas inerte por lo que la presión es del refrigerante.
- **Evaporador (4):** En este equipo el refrigerante se debe evaporar a baja temperatura con gas inerte que se encuentra en altas proporciones y esto hace que la presión parcial del refrigerante sea baja y se evapore. El evaporador está constituido por un intercambiador de calor de tubos concéntricos. En el tubo interior circula amoníaco e hidrógeno en equicorriente y en el exterior la mezcla amoníaco/hidrógeno en contraflujo.
- **Absorbedor (5):** En este dispositivo se ponen en contacto la solución que es expulsada del generador con el vapor proveniente del evaporador, esto con el fin de que el refrigerante se absorba en la solución. A su salida se obtiene una solución concentrada en refrigerante que es de nuevo impulsada hacia el generador por medio de un proceso exotérmico, la energía liberada debe ser transferida a una corriente externa para no detener dicho proceso de absorción.

REFRIGERADOR BAJO ESTUDIO

- **Depósito (6):** Aquí se almacena el fluido refrigerante de la instalación frigorífica.
- **Termostato (7):** El sistema de refrigeración cuenta con un termostato de varias posiciones con lo que se controla la temperatura del compartimento de alimentos, a su vez, controla los ciclos de encendido y apagado de la resistencia de alimentación de la bomba de burbuja.

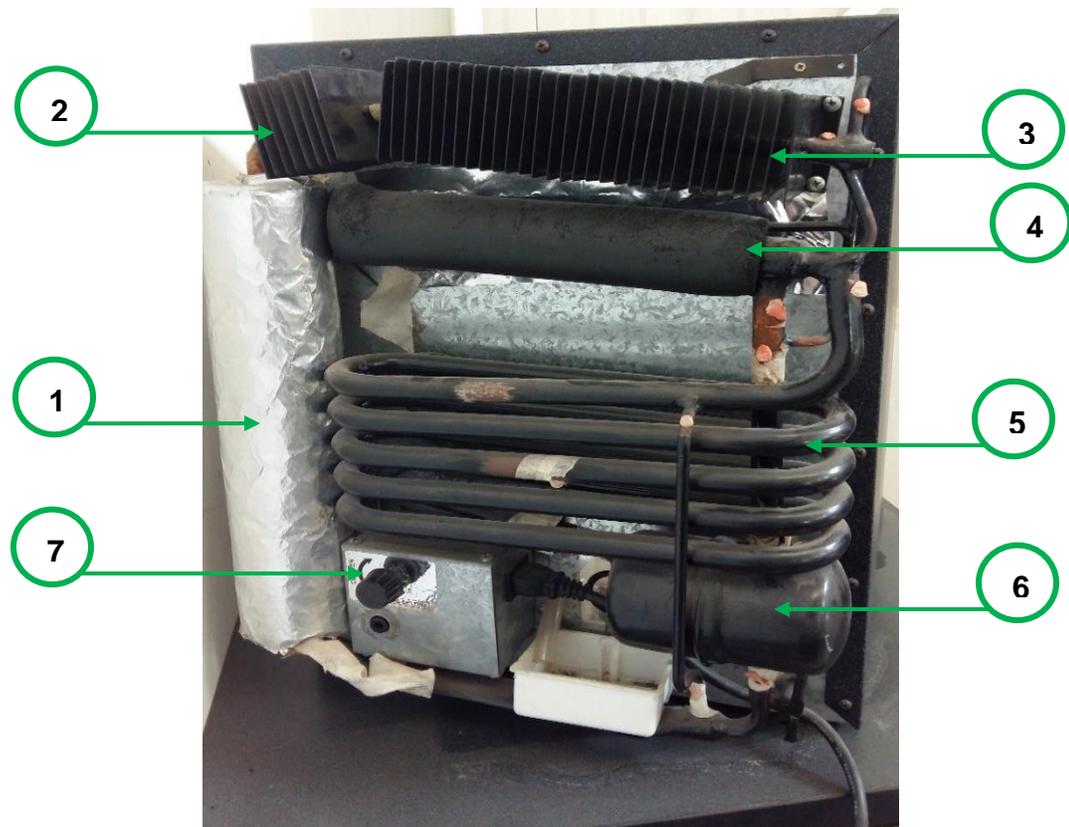


Figura 3.1 Componentes principales del sistema DAR bajo estudio.

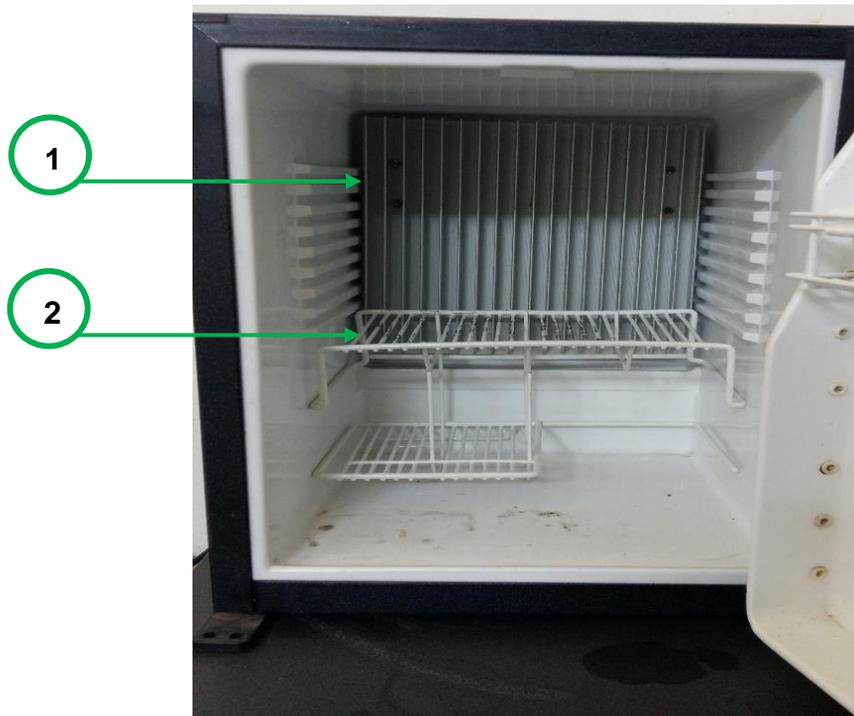


Figura 3.2 Descripción del interior del DAR bajo estudio.

En la Figura 3.2 se puede observar el interior del frigobar, el cual, en la parte superior cuenta con una placa aletada de aluminio (señalada con el número 1) esta hace contacto directo con el tubo del evaporador y así es como se lleva a cabo la transferencia de calor con los alimentos, además, cuenta con una parrilla ubicada en el compartimento para alimentos (señalada con el número 2) así como en la puerta también hay compartimentos para bebidas o alimentos. Este frigobar tiene una capacidad volumétrica de 0.030 m^3 , con una altura de 50 cm y un ancho de 40.5 cm con un peso aproximado de 16 kg, cuenta con cerradura de línea y puerta sólida (sin cristal). Tiene una resistencia eléctrica de activación de 65 W, los cuales se pueden suministrar mediante energía solar, objetivo de este trabajo en su acoplamiento. Este equipo tiene tubos (evaporador) de 0.20 m de longitud con un diámetro de 0.012 m. El comportamiento térmico del evaporador se encuentra en un rango entre -6°C y 6°C . Finalmente en la Figura 3.3 se ilustra el frigobar bajo estudio.



Figura 3.3 Apariencia externa del frigobar experimental.

3.2 PROCESO DE REFRIGERACIÓN DE UN DAR

En la Figura 3.4 se describe el funcionamiento del DAR distinguiendo los tres diferentes fluidos de trabajo. El ciclo de refrigeración por difusión-absorción opera bajo la ley de las presiones parciales (Ley de Dalton) por lo que la presión en cada punto se mantiene constante, condición regida por el gas auxiliar (hidrógeno). Como en un sistema de refrigeración convencional, este sistema trabaja a dos niveles de presión mientras esta en operación, esto se puede observar en el evaporador y en el absorbedor, donde este par de componentes operan a una presión parcial más baja que los componentes generador y condensador.

La energía requerida para activar el sistema es utilizada para comenzar el calentamiento de la solución de trabajo, la cual está compuesta por un par rico en refrigerante que proviene del depósito (estado 8), cabe mencionar que esta energía necesaria es suministrada en el generador. Cuando la solución ha sido suficientemente elevada de temperatura se provoca la formación de burbujas de

REFRIGERADOR BAJO ESTUDIO

vapor en el sistema las cuales son arrastradas hasta ser separadas por una pequeña cantidad de líquido que fluye a lo largo de la bomba de burbuja (entre estados 9 y 10). Se tiene una solución pobre en refrigerante saliendo del separador y fluyendo hacia el intercambiador de calor (estado 10) Debido a su estado de elevada temperatura, el valor fluye calor a la mezcla rica en refrigerante (estado 9) y después enviada al absorbedor (estado 11).

El vapor rico en refrigerante encontrado en el estado 1 se envía al condensador para ser condensado en un proceso exotérmico (estado 1 a 2) de este proceso se obtiene un líquido (estado 2) que es mezclado con el gas que proviene del intercambiador de gas (estado 7). Después de este proceso la mezcla resultante se introduce al evaporador (estado 3). En este proceso, entramos al circuito de gas ya que el evaporador es cargado con este mismo, por consecuencia la presión parcial del líquido entrante disminuye súbitamente para comenzar el proceso de evaporación a una baja temperatura produciendo finalmente el efecto frigorífico para el que es creado el sistema.

La nueva mezcla fría compuesta por refrigerante/gas es expulsada del evaporador (estado 4) y dirigida hacia el intercambiador de calor de gas en donde se absorbe calor de gas e incrementa nuevamente su temperatura, posteriormente es enviado al depósito (estado 5).

En el absorbedor se absorbe el refrigerante por el agua liberando calor al exterior o por enfriamiento con agua, el gas, al ser menos denso que el refrigerante es separado en el estado 6 para regresarlo al intercambiador de calor de gas para que la mezcla continúe el ciclo y permanezca el efecto frigorífico.

REFRIGERADOR BAJO ESTUDIO

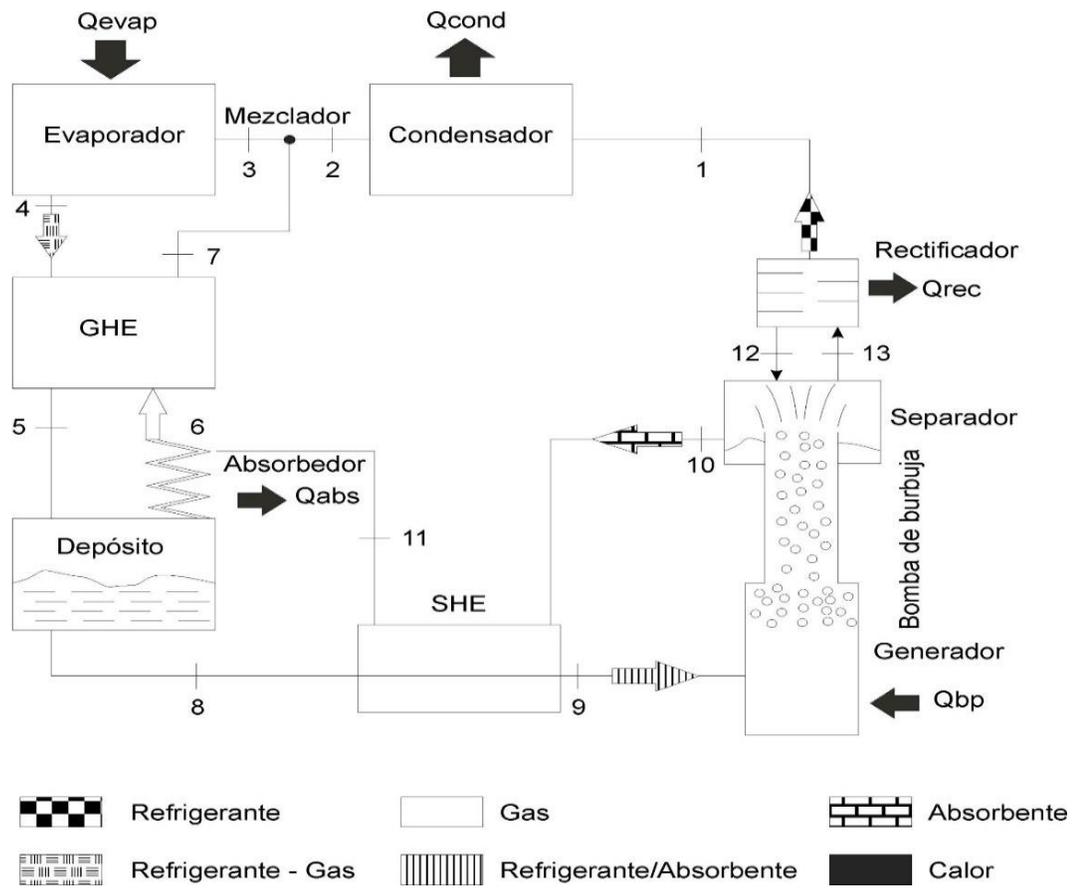


Figura 3.4 Proceso de refrigeración.

CAPÍTULO 4 DIMENSIONAMIENTO

A lo largo de espacio hay energía, y es una mera cuestión de tiempo hasta que los hombres tengan éxito en sus mecanismos vinculados al aprovechamiento de esa energía.

Nikola Tesla.

En este capítulo se presenta el modelado matemático del dimensionamiento de los componentes que fueron diseñados específicamente para este trabajo de tesis. En cualquier sistema es fundamental tener un correcto dimensionamiento de los componentes, no solo para que la instalación funcione debidamente, sino para que la vida de este sea larga, que es el objetivo principal de todo sistema.

El dimensionamiento de un sistema debe abordarse antes de realizar cualquier cálculo de los elementos que lo conforman, esto ayuda a que el usuario razone las necesidades que quiere cubrir, el capital económico con el que se cuenta, además, la persona que realiza el proyecto debe recopilar toda la información necesaria para satisfacer las necesidades de los usuarios hasta el límite de lo posible. El usuario debe saber desde el principio cuáles serán los alcances y limitaciones de su instalación para que analice la viabilidad del sistema

Para que una instalación fotovoltaica funcione de una manera óptima debe estar compuesta no solamente de celdas fotovoltaicas que capten la luz solar, sino que debe ir acompañada de componentes que regulen y mejoren la distribución y almacenamiento de la energía. A su vez, se deben tener en cuenta la mayor cantidad de situaciones que se puedan presentar que generen un comportamiento diferente en el sistema al convencional para poder atacarlas, como por ejemplo una paralización del sistema, mantenimiento del mismo, días sin absorción solar en los paneles, etc.

Los elementos constituyentes de una instalación fotovoltaica deben guardar entre ellos una proporción justa y equilibrada, de nada nos serviría tener un sistema sobredimensionado con la intención de obtener una mayor cantidad de energía si no se puede aprovechar en el sistema. Podemos decir que una instalación de este tipo no tiene limitaciones técnicas en cuanto a la potencia que puede entregar, por el contrario, existen las limitaciones por el lado de la rentabilidad económica lo que puede reducirnos el número de celdas solares a utilizar.

4.1. CRITERIOS DE PARTIDA

Para la realización del dimensionamiento del sistema debemos tomar en cuenta algunos criterios como:

4.1.1 DEFINICIÓN DE OBJETIVOS

En este punto se deben atender todas las necesidades de los usuarios del sistema a dimensionar y se deben tomar en cuenta no sólo los requerimientos inmediatos, sino también los que puedan presentarse en años futuros.

El dimensionamiento del sistema fotovoltaico que se diseña en este trabajo tiene la función de activar el sistema de refrigeración difusión-absorción, además, se debe obtener un óptimo desempeño de acuerdo a los estudios de radiación solar en la ciudad de Salamanca, Guanajuato.

Las necesidades básicas a cubrir son 65 W de activación de la resistencia eléctrica del frigobar, además de lo que se almacene en el banco de baterías. En este punto debemos tomar en cuenta también el uso del sistema, principalmente pensado para mantener alimentos y medicamentos que necesiten mantenerse a una temperatura más baja que la del medio ambiente, impactando directamente en la calidad de vida de las personas beneficiadas. El panorama en el que se visualiza la instalación del sistema híbrido es en lugares donde no existe el suministro de energía eléctrica, que, por consecuencia, son lugares muy alejados y de difícil acceso, además de ser zonas marginadas.

4.1.2 PROYECCIÓN DE LA INSTALACIÓN

Se debe hacer una proyección de cómo se conformaría el sistema con el fin de cubrir las necesidades básicas en primera instancia, después se deberá proyectar con las necesidades que puedan surgir en un futuro inmediato. Para esto hay que recopilar todos los datos técnicos del sistema.

En una primera instancia se supone el sistema como un simple acoplamiento entre dos sistemas, el de refrigeración y el solar, sin embargo, esto solo cubriría algunas necesidades y no tendríamos control ninguno sobre el manejo del sistema ni de la energía que fluye a el, por lo que se debe pensar también en componentes complementarios que ayuden al eficiente funcionamiento del acoplamiento. Los componentes principales del sistema son:

- Arreglo de paneles fotovoltaicos
- Banco de baterías (acumulador)
- Convertidor CC – CA
- Switch regulador de suministro de energía al frigobar

Estos son los componentes que se proponen para satisfacer las necesidades antes mencionadas en los objetivos del trabajo y tener nuestro sistema bajo control.

4.1.3 DEFINIR LOS TIEMPOS DE UTILIZACIÓN

Se debe definir el tiempo en el que el sistema va a estar en funcionamiento. El tiempo de utilización de nuestro sistema está pensado para los 365 días del año, las 24 horas del día, sin embargo, sabemos que un frigobar tiene lapsos de tiempo en los que la resistencia no necesita estar encendida para poder mantener la generación de frío y no sobrepasar la temperatura de refrigeración requerida.

En casos en los que el consumo es más o menos homogéneo a lo largo del año, se pueden establecer tiempos medio diarios que se suponen constantes, en nuestro caso se nos presentan irregularidades en el consumo de energía por parte del frigobar, ya que no todos los días tendrá el mismo consumo, dependiendo esto del uso y de la temperatura ambiental en la que se encuentre. Este factor de establecimiento de los tiempos de uso nos sirve para el dimensionamiento correcto de banco de baterías y celdas solares ya que habrá momentos en los que la energía será almacenada mientras el frigobar no la utilice, y habrá otros (días nublados o noche) cuando no se capte luz solar

suficiente y por lo tanto no haya generación de energía, para esto, se utilizaron estudios de la radiación solar en la ciudad de Salamanca Guanajuato de los años 2010 a 2014 con una frecuencia de recopilación de información cada 15 minutos para ver el comportamiento que esta tiene. Esta información fue tomada de la base de datos compartida por la estación meteorológica del Fuerte (longitud: 101° 12' 28.3", latitud: 20° 37' 26.4", altitud: 1,716m) debido a que es la más cercana a la ciudad.

Además de esto hay que tener en cuenta que debe haber un buen uso por parte de los usuarios, como por ejemplo detalles como dejar la puerta abierta del frigobar hará que la energía consumida sea requerida por más tiempo para mantener la temperatura adecuada, esto significaría un incremento pequeño en el pago de la electricidad, pero en el caso de instalaciones fotovoltaicas significaría quizá quedarse sin energía durante algunos días.

4.2 COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

De acuerdo a los componentes definidos en la proyección del sistema, se procedió a dimensionar cada uno de estos componentes. Actualmente los dimensionamientos realizados en esta área aún son para pequeñas instalaciones en las que no llega la red general de energía eléctrica.

4.2.1 Banco de baterías (acumulador)

Con la conveniencia de aprovechar la instalación fotovoltaica al máximo se debe pensar en el banco de baterías y debe ser diseñado de manera que nunca alcance su nivel de plena carga, pero también tomando en cuenta no realizar un sobredimensionamiento de esta ni de la energía que adquiramos de los paneles. Además, el considerar que el factor económico es uno de los principales a considerar en este trabajo. El objetivo principal de la implementación de un acumulador es el de garantizar durante todo el periodo de utilización de energía

el consumo del frigobar sin descartar las excepciones que pueden estropear la batería por carga o descarga excesiva, para tomar en cuenta estos factores se harán uso de las cifras estadísticas solares con las que se cuentan para la ciudad de Salamanca, Gto.

Para realizar el cálculo de la capacidad de la batería debemos establecer un número N que representa el número máximo de días de autonomía, es decir, días completamente desfavorables en los cuales no se recoge prácticamente energía, entonces todo el funcionamiento depende de la batería y su nivel de carga disminuya rápidamente, todo esto, tratando de prever los peores casos. En este caso el número N definido fue 3 días.

Lo anterior fue suponiendo uno de los peores casos y tratando de cubrir largos periodos nubosos. Cabe mencionar que es importante no suponer periodos tan largos de autonomía ya que nos llevaría a dimensionar capacidades muy grandes para las baterías lo que nos implicaría un mayor costo.

Una vez fijado el número N , podemos conocer la energía E_t , que es la energía requerida en 24 horas. Como el sistema está especialmente diseñado para mantener a una temperatura adecuada de vacunas y medicamentos, se supone que las pérdidas por uso de éste serán menores por lo que se supone que en 24 horas sólo se requerirá de 3,120 W, esto resulta que cada vez que el refrigerador demande energía requerirá de 65 W (potencia requerida para activar la resistencia eléctrica) demandando esto 48 veces al día suponiendo un comportamiento homogéneo y en la máxima temperatura de enfriamiento.

Teniendo estas variables definidas, se procede a encontrar la energía real necesaria definida como E que debe recibir el acumulador y que proviene de los paneles. Para esto debemos decidir el tipo y características de estos y así se encontrará la descarga máxima admisible que tendrá el acumulador, p_d .

Debido a que E es la energía neta que se requiere diariamente debemos tomar en cuenta los factores de pérdidas que pueden existir en cualquier sistema, para

esto se define un factor **R** que es llamado factor global de rendimiento de la instalación definido por:

$$R = (1 - k_b - k_c - k_v) (1 - k_a N / p_d) \quad (4.1)$$

Los coeficientes **k** que aparecen en la ecuación anterior están definidos como:

k_b: Coeficiente de pérdidas por rendimiento en el acumulador. Durante los procesos químicos que ocurren en una batería siempre hay una cantidad de producción de energía calorífica. Para servicios en condiciones que no demandan descargas intensas este coeficiente puede tomarse igual a 0.05 e igual a 0.1 para casos más desfavorables como descargas más fuertes, acumuladores viejos y/o temperaturas bajas. Para este coeficiente también se debe tomar en cuenta que no toda la energía generada por los paneles pasará por la batería, ya que a veces toda la energía absorbida por estos será consumida sin tener que pasar por las pérdidas generadas en el acumulador.

Como el sistema que se va a dimensionar en este trabajo no es demandante debido a que se trata de un solo componente y no una red, se establece un valor de **k_b** de 0.05.

k_c: Coeficiente de pérdidas en el convertidor cuando se tiene una red de consumo muy grande. Este coeficiente de rendimiento debe ser suministrado por el fabricante y suele oscilar entre 75% y 95%. A falta de datos se tienen establecidos ya coeficientes, 0.2 para convertidores sinusoidales y 0.1 para onda cuadrada. En el caso analizado en este trabajo se utilizará un convertidor sinusoidal por lo que el coeficiente **k_c** es establecido como 0.2.

k_a: Coeficiente de autodescarga. Es la fracción de energía que se pierde diariamente por la autodescarga de la batería, este dato generalmente debe ser asignado por el fabricante, en caso de falta de datos, el valor que se suele asignar es 0.005 que equivale a un 0.5% diario. Se debe tener en cuenta que la autodescarga depende de varios factores, sin duda el más importante es la temperatura contribuyendo a que este factor aumente mientras esta también lo hace, por lo que el valor anterior que se suele asignar a **k_a** está referido a una

temperatura promedio anual de 15°C a 25°C. Datos recaudados por el CCAUG (Centro de Ciencias Atmosféricas de la Universidad de Guanajuato) nos muestra que la temperatura de la ciudad de Salamanca no rebasa ese rango de temperatura anual, por lo que ese tomó un factor de 0.005 para la realización de este cálculo.

k_v : Coeficiente que agrupa pérdidas como rendimiento global de la red, pérdidas de efecto por joule. Como su descripción lo dice, en este coeficiente están contempladas todas las otras pérdidas que pueden existir y que no están consideradas en ninguno de los anteriores.

Cada aparato o elemento eléctrico desprende algo de energía que se convierte en calor no deseable, este efecto podemos encontrarlo hasta en los cables utilizados para la instalación y en las diversas conexiones lo que hace que la potencia real requerida sea mayor que la calculada a partir de la potencia especificada en el aparato. La relación para este coeficiente es variable desde un 0.15 hasta un 0.05 si ya se han tomado en cuenta los rendimientos de cada aparato en los datos de consumo. Para este análisis se tomó $k_v = 0.15$

Después de encontrar el valor del factor de pérdidas R y la potencia de consumo en $W \cdot h$, E_t se procede a calcular E , que es la energía que se necesitará diariamente [$W \cdot h$] por medio de la siguiente relación:

$$E = \frac{E_t}{R} \quad (4.2)$$

Una vez calculada E se debe encontrar C_u que es el valor de la capacidad útil que debe tener la batería y está definida como la energía total E por el número de días de autonomía N debido a que la batería debe ser capaz de suministrar energía durante ese periodo establecido, por lo tanto:

$$C_u = E * N \quad (4.3)$$

Para tener las unidades adecuadas y poder manipular más fácilmente nuestros datos, el C_u se convierte a $A \cdot h$, por lo que el resultado de la ecuación anterior de

divide entre la capacidad nominal de la batería que se elija, para este trabajo se define una batería de 12 V como voltaje nominal.

La capacidad nominal final que debe tener la batería está regida bajo la siguiente ecuación:

$$C = \frac{C_u}{P_d} \quad (4.4)$$

En donde P_d es el nivel máximo de descarga admisible en la batería, el cuál para este cálculo se definió de 40% obteniendo la C en A·h. Sabiendo este dato lo que resta es encontrar o escoger de un catálogo la batería que cumpla con estas especificaciones.

4.2.2 Cálculo de la potencia de los paneles

Se calculó anteriormente que a través de los bornes del acumulador debe entrar la energía E , que es precisamente la que debe ser recolectada por los paneles, sin embargo, debemos recordar que entre estos dos componentes se encuentra un regulador que corta el flujo de energía por ciertos periodos, así como disipa energía en forma de calor por lo que la cantidad de energía que se debe recolectar diariamente debe ser mayor a E y se define como E_p .

Es difícil evaluar la cantidad de energía que se va a disipar en el regulador, sin embargo, por datos experimentales se han establecido valores predeterminados para esta pérdida siendo el 10% probado como valor nominal. En épocas del año más favorables la batería se encuentra en estado máximo de carga por lo que se observará que este 10% establecido se superará, pero el cálculo se está realizando para las épocas más desfavorables como en invierno. Por lo tanto, tomando un rendimiento del 90% para nuestro regulador encontramos la E_p como:

$$E_p = \frac{E}{0.9} \quad (4.5)$$

H.S.P (número de horas de sol pico sobre horizontal) es el concepto que se utiliza para evaluar la energía que un panel puede producir diariamente en un determinado lugar. H.S.P es el valor de la energía H que incide sobre una superficie horizontal de 1 m² expresado en kW·h podemos expresarlo como:

$$H.S.P = 0.2778H \quad (4.6)$$

El valor de H proviene de la energía recolectada promedio desde el amanecer hasta que se pone el Sol. Hablamos de un promedio debido a que la intensidad de luz que recibe un panel no varía a lo largo del día alcanzando su máximo al medio día.

Para fines de este trabajo se utilizó un promedio de los datos obtenidos de la fuente de la estación meteorológica del Fuerte. A través de otro trabajo de investigación se obtuvieron las siguientes curvas utilizando el método de regresión lineal para obtener las curvas con aproximación polinomial del comportamiento de la radiación. Este método se llevó a cabo con datos recabados de la radiación solar global sobre la superficie terrestre en el periodo 2010 – 2013 con una frecuencia de recopilación cada 15 minutos, además, se tomaron 10 horas de luz solar comprendidas de 8:00 a.m a 6:00 p.m graficadas en segundos.

En primera instancia se realizaron aproximaciones para cada estación del año, primavera, verano, otoño e invierno y posteriormente se realizó una aproximación promedio anual que es la base para calcular un H.S.P.

4.2.2.1 Primavera

Primavera es la estación que comprende del 21 de marzo al 21 de junio, trimestre en el cuál se presenta el ascenso de temperatura. De los datos recabados se tiene la ecuación (4.7) representando la radiación en primavera, dónde t representa el tiempo en segundos.

$$I_{primavera} = 2.224454846 \times 10^{-15} t^4 - 4.070828513 \times 10^{-10} t^3 + 2.474656624 \times 10^{-5} t^2 - 5.561568609 \times 10^{-1} t + 3861.082215 \quad (4.7)$$

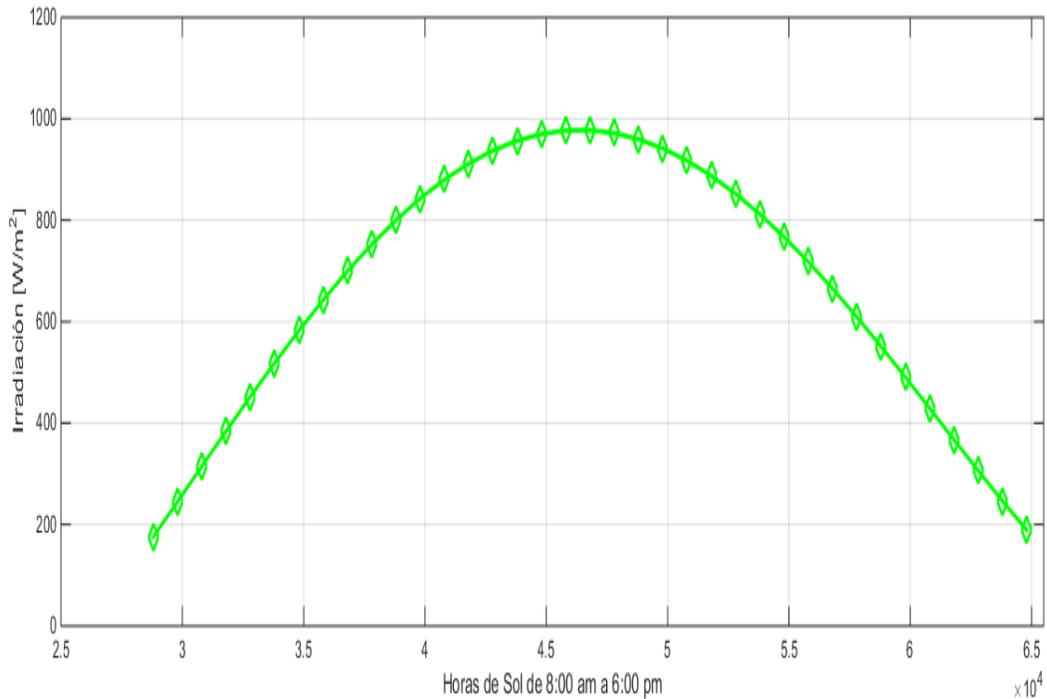


Figura 4.1 Gráfica del comportamiento de la irradiación en primavera.

4.2.2.2 Verano

Verano es la estación del año que comprende del 21 de junio al 23 de septiembre, este es el trimestre del año con mayor temperatura. La irradiación promedio solar para esta estación queda definida de la siguiente manera por la ecuación (4.8):

$$I_{\text{verano}} = 2.17544568 \times 10^{-15} t^4 - 3.976344529 \times 10^{-10} t^3 + 2.432263635 \times 10^{-5} t^2 - 5.592289084 \times 10^1 t + 4099.850326 \quad (4.8)$$

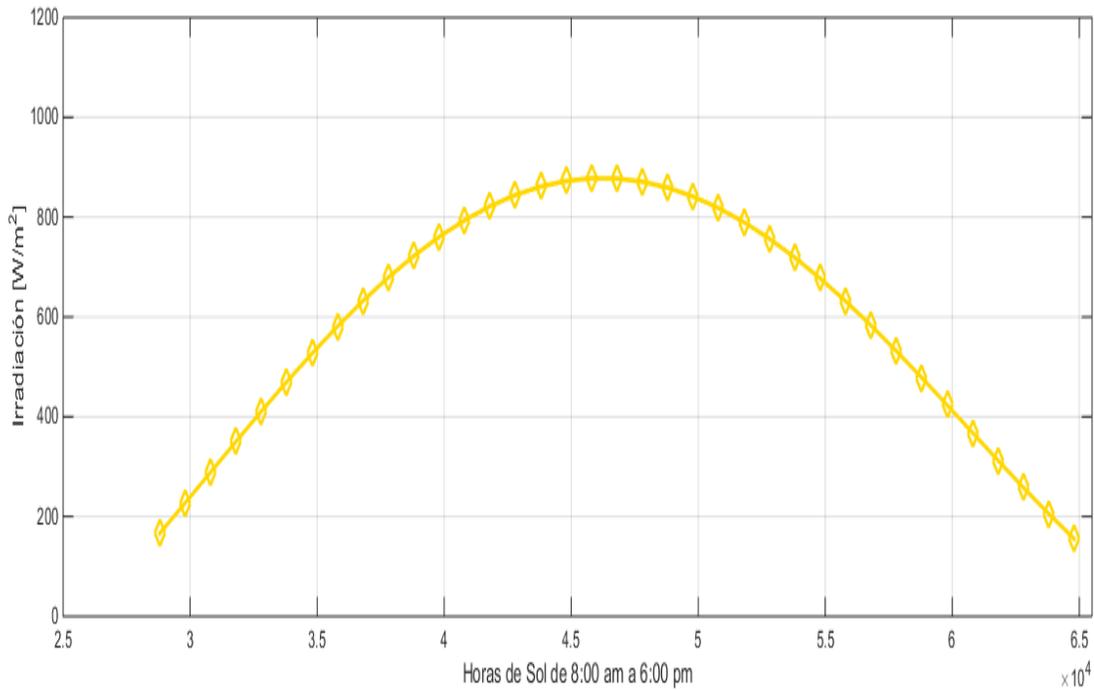


Figura 4.2 Gráfica del comportamiento de la irradiación en verano.

4.2.2.3 Otoño

Otoño es la estación del año que comprende del 23 de septiembre al 22 de diciembre. Según el método meteorológico este es el trimestre del año con descenso de temperatura. El comportamiento promedio de la radiación solar en este trimestre del año está dado por la ecuación (4.9):

$$I_{otoño} = 2.618939446 \times 10^{-15} t^4 - 4.762077302 \times 10^{-10} t^3 + 2.939129161 \times 10^{-5} t^2 - 0.702454278 t + 5580.245151 \quad (4.9)$$

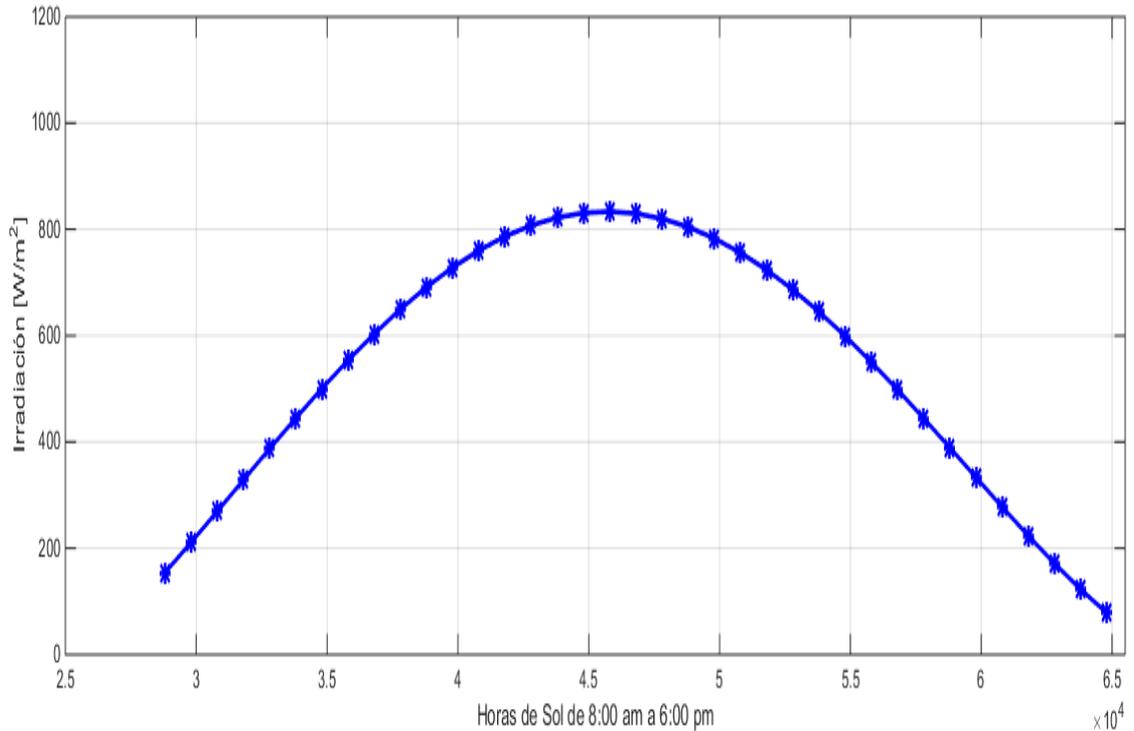


Figura 4.3 Gráfica del comportamiento de la irradiación en otoño

4.2.2.4 Invierno

Invierno es la estación del año que comprende del 22 de diciembre al 21 de marzo, se consideran invernales los meses de diciembre, enero y febrero. Este trimestre del año se caracteriza por días más cortos, noches más largas y temperaturas más bajas. El comportamiento de la irradiación solar en este periodo está dado por la ecuación (4.10):

$$\begin{aligned}
 I_{\text{invierno}} = & 2.692926169 \times 10^{-15} t^4 - 5.051709602 \times 10^{-10} t^3 \\
 & + 3.243546482 \times 10^{-5} t^2 - 8.202530776 \times 10^{-1} t \\
 & + 7042.973028 \qquad \qquad \qquad (4.10)
 \end{aligned}$$

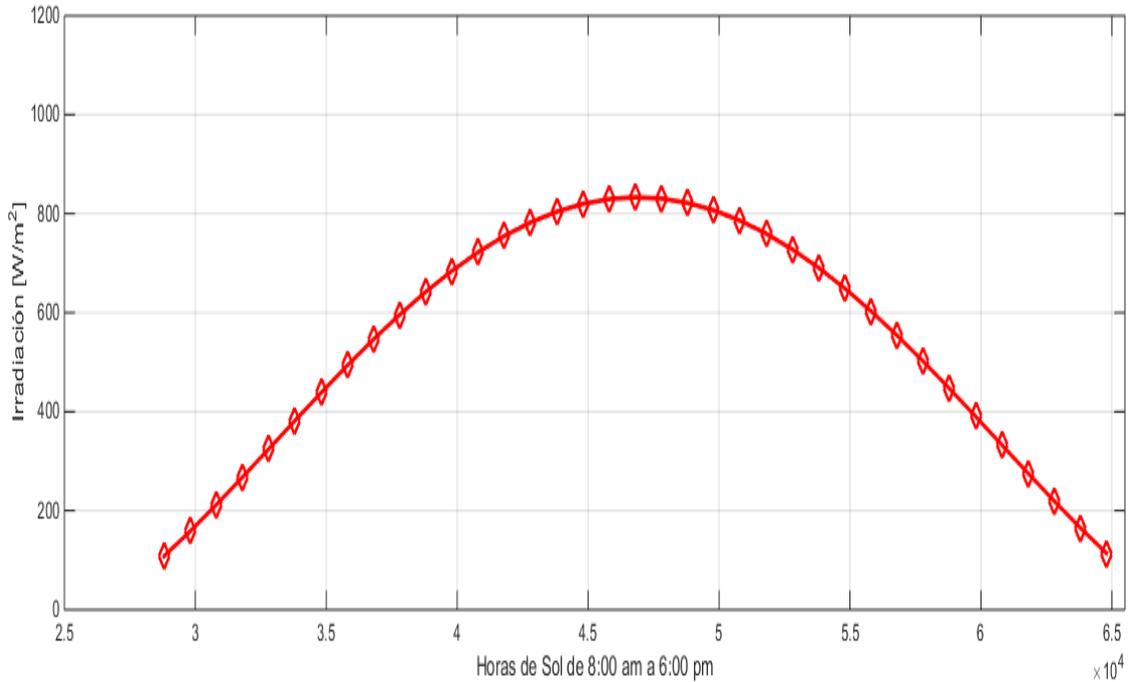


Figura 4.4 Gráfica del comportamiento de la irradiación en invierno

Teniendo las ecuaciones que describen cada una de las estaciones del año se puede realizar un comportamiento anual. De la caracterización de la irradiación anual resulta la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}
 I_{\text{anual}} = & 1.294150429 \times 10^{-15} t^4 - 2.361306692 \times 10^{-10} t^3 + \\
 & 1.337235276 \times 10^{-5} t^2 - 2.334702929 \times 10^{-1} t + \\
 & 506.8237554 \qquad \qquad \qquad (4.11)
 \end{aligned}$$

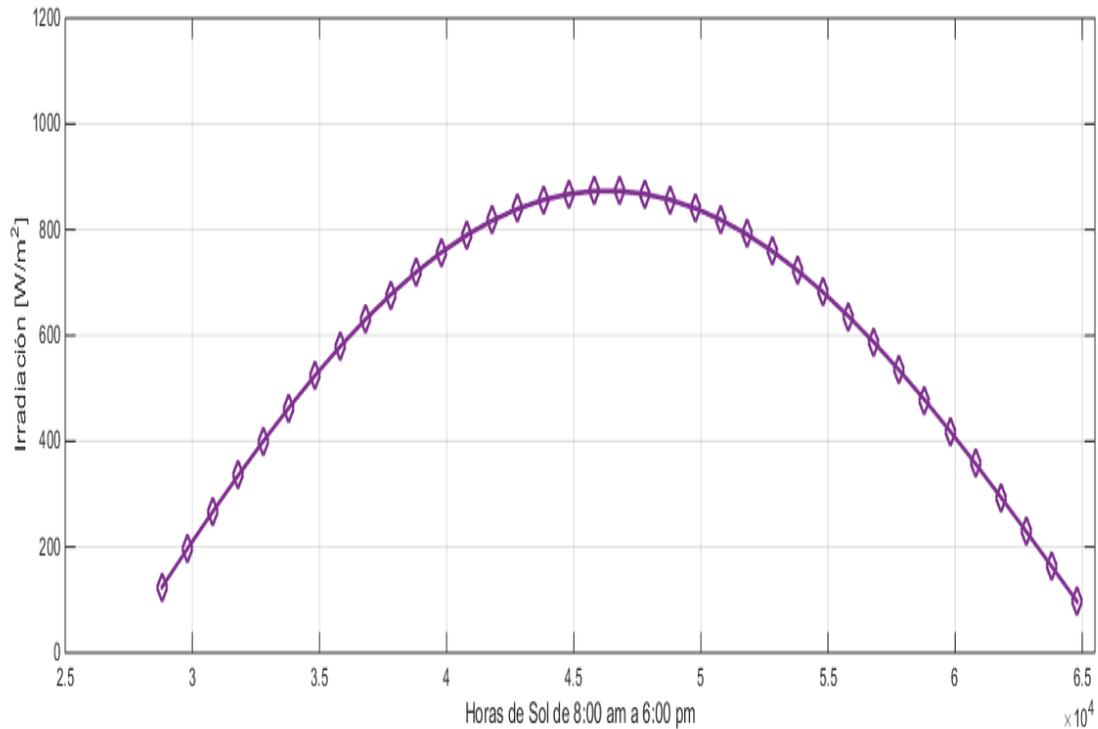


Figura 4.5 Gráfica del comportamiento de la irradiación promedio anual (2010-2013).

La curva de la ecuación (4.11) se toma como el valor de H.S.P ya que comprende las variaciones que podemos obtener a lo largo del año y poder obtener resultados más apropiados que si utilizamos valores estándar, tomando en cuenta el comportamiento real de la radiación para la ciudad de Salamanca, Guanajuato. Para poder obtener un solo resultado también se realizó un promedio de este comportamiento anual.

Los paneles que se suponen en este trabajo no se consideran que estén adaptados en mecanismos de seguimiento solar, de ser así las condiciones de captación solar cambiarían debido a que todas las horas de Sol serían captadas en mayor cantidad.

El número de paneles que se instalarán en la red diseñada está dado por la siguiente ecuación:

$$Np = \frac{Ep}{[0.9P(HS.P)]} \quad (4.12)$$

En esta ecuación se incluye el factor 0.9 como estándar debido a la consideración de las pequeñas pérdidas adicionales debidas a suciedad en las celdas o pérdidas por deflexión, en los casos en los que el fabricante de las celdas ya incluya este factor se omite o se cambia por el indicado. El factor P que aparece en el denominador corresponde a potencia comercial que se elija para cada panel.

Para el correcto dimensionamiento del sistema comprendido en este trabajo de tesis se realizó un programa en el software Matlab que permite manipular los datos de manera que se pueda obtener un resultado rápido del número de paneles necesarios para la autonomía del sistema.

4.2.3 Dimensionamiento del regulador

Al momento de elegir o diseñar un regulador para nuestra instalación se deben cubrir los siguientes puntos:

- Protección de la batería contra sobrecarga
- Protección de la batería contra descargas excesivas
- Indicador de baja carga de batería

Cuando de instalaciones pequeñas se trata se recomienda utilizar los reguladores tipo “shunt”, que es este caso de estudio conviene debido a que se trata de un solo dispositivo.

Basan su funcionamiento en un transistor que deriva la corriente procedente de los módulos hacia una carga resistiva de disipación (Figura 4.6). Permite establecer valores de voltaje de batería para los que esta desviación se hace de manera intermitente a fin de lograr mantener el acumulador en el nivel de máxima carga (flotación).

Este sistema provoca calentamiento del mismo regulador, lo que provoca desgaste y pérdidas y, por tanto, los reguladores de este tipo tienen limitada la corriente de trabajo a pocos amperios es por esto que son válidos para instalaciones fotovoltaicas pequeñas.

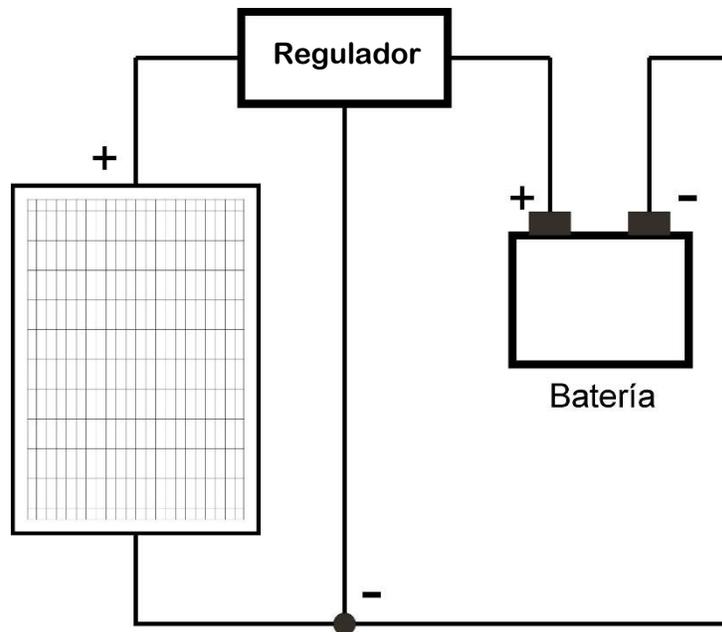


Figura 4.6 Diagrama de un regulador tipo shunt.

De acuerdo al funcionamiento de este regulador, podemos pensar en una manera más económica de regular el flujo de energía con un simple diodo, sin embargo, por efectos de seguridad y simplicidad al mismo tiempo, se utilizará el regulador shunt.

Cabe mencionar que los parámetros importantes para el dimensionamiento de este son:

- Tensión nominal: la del sistema (12, 24, 48 V)
- Intensidad del regulador: la intensidad nominal de un regulador ha de ser mayor que la recibida en total del campo de PV.

4.2.4 Dimensionamiento del inversor

Un inversor funcional para este tipo de instalaciones fotovoltaicas la tensión de entrada no va a ser siempre constante, por lo que el aparato seleccionado para esta función debe ser capaz de transformar distintas tensiones continuas dentro de un rango de operación del orden de 15%. En toda instalación el convertidor debe ser capaz de actuar por encima de su potencia nominal, este parámetro se denomina distorsión de armónicos y el valor de aceptación debe rondar entre el 3% en todo el rango de potencias de salida para los convertidores de onda senoidal que se utilizará en este caso, además de mencionar que se piensa en usar de un convertidor comercial.

A lo largo de este capítulo se ha dimensionado y definido nuestro sistema sin aún dar detalle de la factibilidad económica que este tendrá y de qué dimensiones son las más viables. A partir de este capítulo y con el programa desarrollado se pueden analizar diferentes casos y arrojar una mayor cantidad de resultados y hacer un análisis más profundo de éstos.

CAPÍTULO 5 RESULTADOS Y ANÁLISIS ECONÓMICO

Ser sustentable no es sólo lavar las culpas ni sólo cuidar el medio ambiente, sino ser socialmente justo, responsable con el ambiente y, por lo tanto, también económicamente viable.

Cecilia Goya de Riviello.

RESULTADOS Y ANÁLISIS ECONÓMICO

En este capítulo se presentan los resultados básicos del dimensionamiento del sistema. Para obtener esto, se realizó un modelo elaborado en MATLAB (ver anexo página 78) que arroja el número de paneles que se necesitan para la propuesta. Para el desarrollo del modelo se consideraron los siguientes parámetros (Instalaciones de Energía Solar, *Tomo V Sistemas de Conversión Eléctrica*, 2004):

$E_t = 130$	Potencia de consumo teórico [W·h]
$N = 3$	Número máximo de días de autonomía
$K_b = 0.05$	Fracción de energía que no entra en la batería
$K_c = 0.2$	Rendimiento de convertidores
$K_v = 0.15$	Otras pérdidas en el sistema
$K_a = 0.005$	Energía perdida por autodescarga
$P_d = 0.4$	Máxima descarga admisible en %
$V_{bat} = 12$	Voltaje de la batería utilizada [V]

Con estos parámetros y suponiendo un valor fijo para las horas de Sol y paneles solares de 100 W se obtuvo un valor para número de paneles de 4, lo que nos indica que la red solar estaría compuesta por 4 paneles de 100 W conectados en paralelo, además, la corriente nominal útil que arroja el cálculo es de 140.69 A·h, tomando en cuenta este aspecto importante para el correcto funcionamiento de la red y lograr una mayor calidad en esta, se selecciona una batería comercial de 12 V a 144 A·h y un inversor comercial de onda pura de 12 V DC a 220 AC a 65 W, demás, de un regulador tipo shunt, todo esto para tener autonomía en el sistema de refrigeración DAR.

En la Figura 5.1 se puede observar de manera representativa el esquema de la red que satisface al sistema de refrigeración para el resultado obtenido anteriormente.

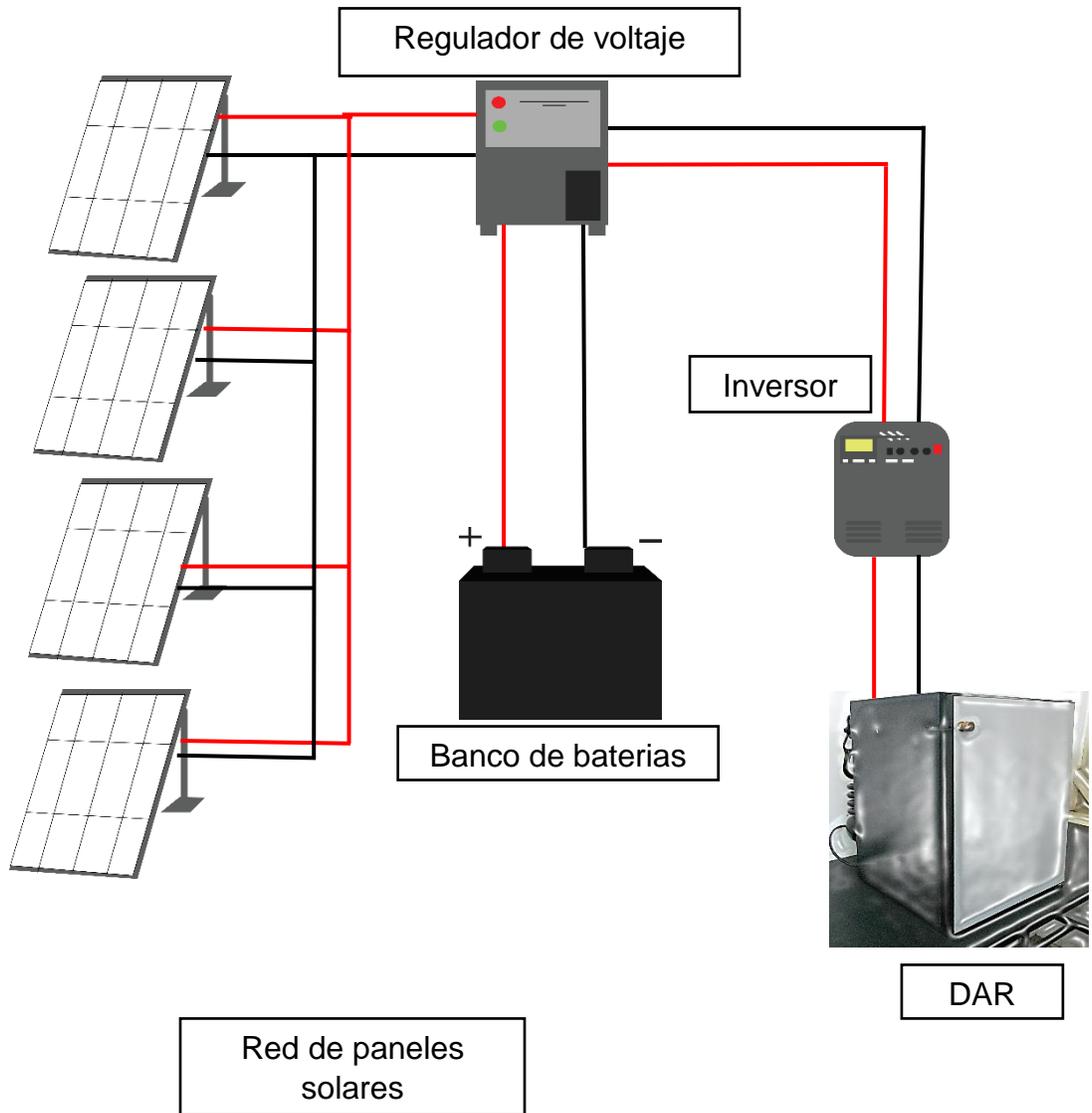


Figura 5.1 Esquema de la red diseñada.

RESULTADOS Y ANÁLISIS ECONÓMICO

Los componentes seleccionados para la red son los siguientes presentados las tablas 5.1 para el acumulador, 5.2 para el regulador, 5.3 para el inversor y 5.4 para el panel:

Acumulador:



Figura 5.2 Acumulador comercial seleccionado.

Mínimo mantenimiento, ciclo profundo y larga vida útil.

Tabla 5.1 Especificaciones del acumulador seleccionado

Modelo	Voltaje	Capacidad [A·h]	Dimensiones [mm]	Peso [kg]
J185E-AC	12 V	144	394 x 178 x 371	46

Regulador:

Atersa Leo 20



Figura 5.3 Regulador seleccionado.

RESULTADOS Y ANÁLISIS ECONÓMICO

Tabla 5.2 Especificaciones del regulador seleccionado

Modelo	Voltaje	I _{sc} [A]	Dimensiones [mm]	Peso [kg]
Leo 20	12/24 V	50/300	300 x 200 x 63	2

Inversor:



Figura 5.4 Inversor de onda senoidal seleccionado.

Tabla 5.3 Especificaciones del inversor seleccionado

Modelo	Voltaje	Potencia nominal [W]	Forma de onda	Dimensiones [mm]	Peso [kg]
CO40012	12V DC /120V AC	300 W/ 100 W	Senoidal 60 Hz	73 x 73 x 155	1

Paneles:



Figura 5.5 Módulo policristalino SolarLand 100W 12V

Tabla 5.4 Especificaciones del panel seleccionado

Modelo	Voltaje	Potencia nominal [W]	I_{sc} [A]	Dimensiones [mm]	Peso [kg]
SLP100- 12U	12V DC	100 W	6.46	1062 x 670	10.4

Como es bien conocido, el cálculo de la cantidad de paneles puede variar conforme se modifiquen los parámetros como el número de días autónomos, la capacidad de la batería y la potencia de los paneles a utilizar. Se analizaron estas diferentes variaciones para obtener un mayor rango de resultados y analizar la factibilidad de la implementación de la red.

5.1 Variación del número de días de autonomía

N es el número autónomo de días que inicialmente se definió como 3 para garantizar el funcionamiento en días muy críticos. A continuación, se grafica la variación que existiría en un rango de 1 a 3 días de autonomía con una batería de 12 V.

Como se puede observar en la Figura 5.6 en el rango establecido para número de paneles varía de 3.97 a 4.13 paneles de 100 W. Haciendo una simulación y cambiando el voltaje de la batería a 24 V, el número de paneles arrojado prácticamente resulta el mismo, lo que se puede concluir que la variación de la capacidad del acumulador no es de relevancia en el dimensionamiento del sistema. Finalmente, se concluye que el número de días de autonomía influye más en la variación del número de paneles necesarios para garantizar la autonomía del sistema.

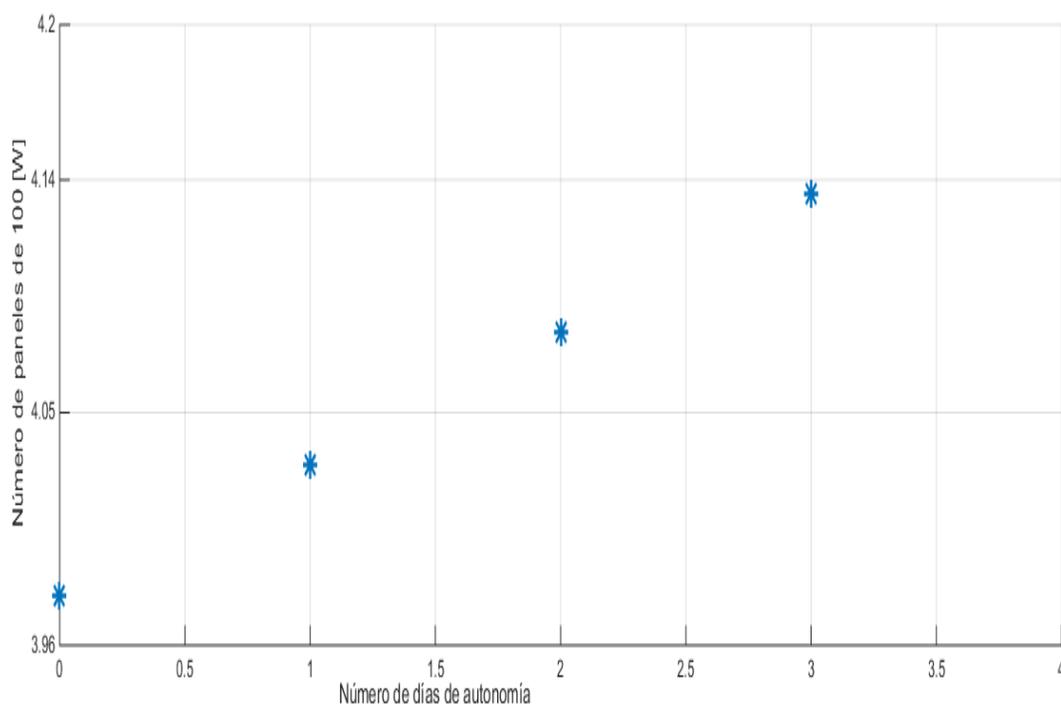


Figura 5.6 Variación de N_p en un rango definido para el número de días autónomos.

5.2 Variación de potencia de los paneles

Tomando en cuenta que en el mercado existen gran variedad de celdas fotovoltaicas de diferentes potencias y diferentes materiales. En una investigación realizada para este trabajo consultando varias empresas mexicanas distribuidoras de estas celdas se encontró que las más utilizadas son de 10, 50, 85, 100 y 150 W, para instalaciones pequeñas. Tomando como referencia estos datos se realizó el cálculo del comportamiento de la variación respecto a la potencia.

En la Figura 5.7 se puede observar la diferencia que se marca utilizando paneles de 10 W hasta uno de 150 W.

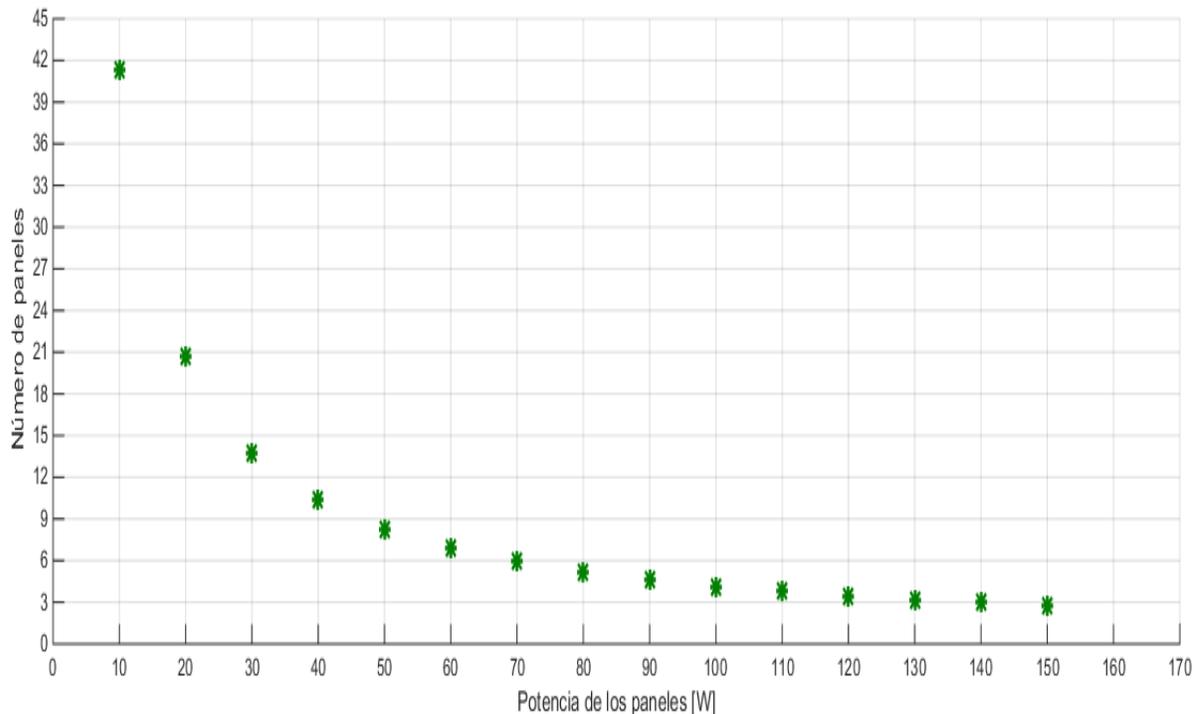


Figura 5.7 Variación de número de paneles conforme varía la potencia de estos

Se puede intuir que, por cuestiones de economía, ergonomía y promedio de potencias, el panel de 100 W representa la opción más viable, sin embargo, ya es cuestión de comodidad y preferencia del diseñador de la red y espacio disponible de instalación.

Cabe mencionar que otro parámetro que puede cambiar es el factor de pérdidas, R , que depende de todas las variables de pérdidas contenidas en una instalación, sin embargo, debido a que este trabajo representa una red pequeña que tiene que abastecer un solo dispositivo, no se considera el cambio significativo de estas variables.

5.3 Variación de la radiación solar.

Hasta este momento solo se ha considerado el cambio de dos parámetros con un valor fijo promedio de la radiación solar. Sin embargo, se sabe que esto es una

RESULTADOS Y ANÁLISIS ECONÓMICO

idealización, para realizar un cálculo más aproximado se utilizaron las curvas obtenidas para el comportamiento de cada estación del año.

En la Figura 5.8 se observa el comportamiento del número de paneles respecto a la variación anual promedio de la radiación solar, analizando el comportamiento se distingue que a partir del valor 0.5 kW/m^2 , que son aproximadamente las 3:00 pm hasta las 6:00 pm, se comienza a tener un valor más estable en el número de paneles, cabe mencionar que la gráfica es tomando en cuenta una potencia de 100 W en el panel. También se puede observar, que en las primeras horas del día existe una gran variación, para la misma potencia del panel, debido al supuesto de abastecer el sistema con una radiación mínima.

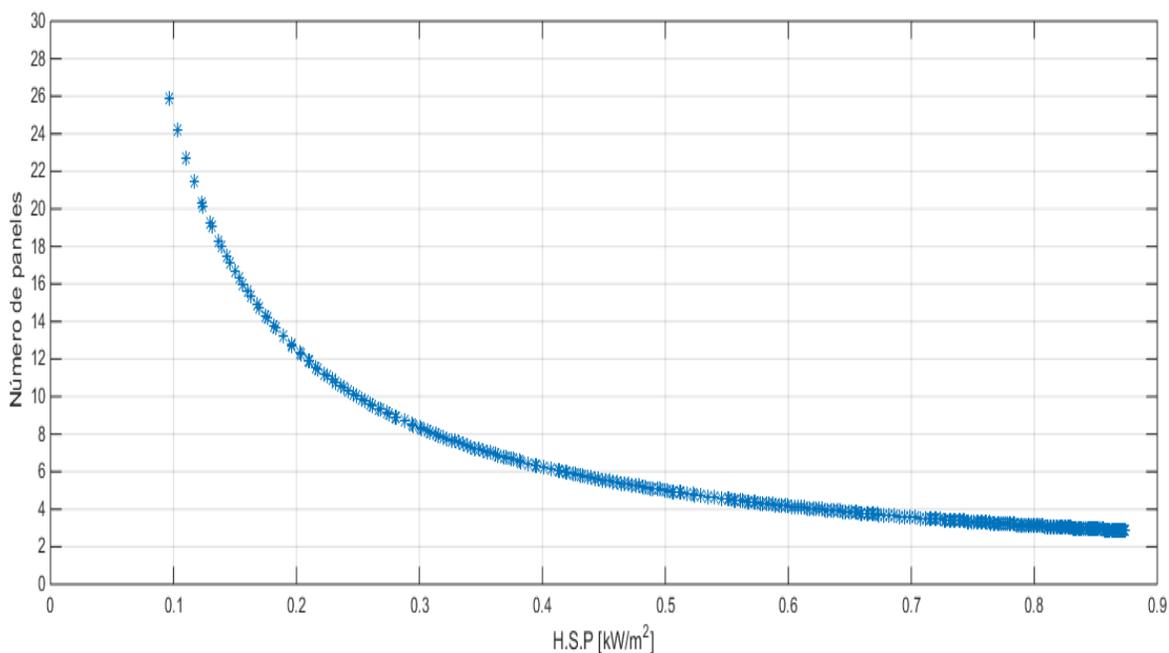


Figura 5.8 Comportamiento del N_p con el comportamiento de la radiación promedio anual.

En la Figura 5.9 se presenta el comportamiento de la variación en el número de paneles de acuerdo a la radiación presentada en cada estación del año. De esta figura se puede observar que en primavera la radiación es mayor por lo que el número de paneles necesarios es menor. En invierno se genera la menor radiación, es por esto que se observa que el número de paneles necesarios para la red se dispara notablemente.

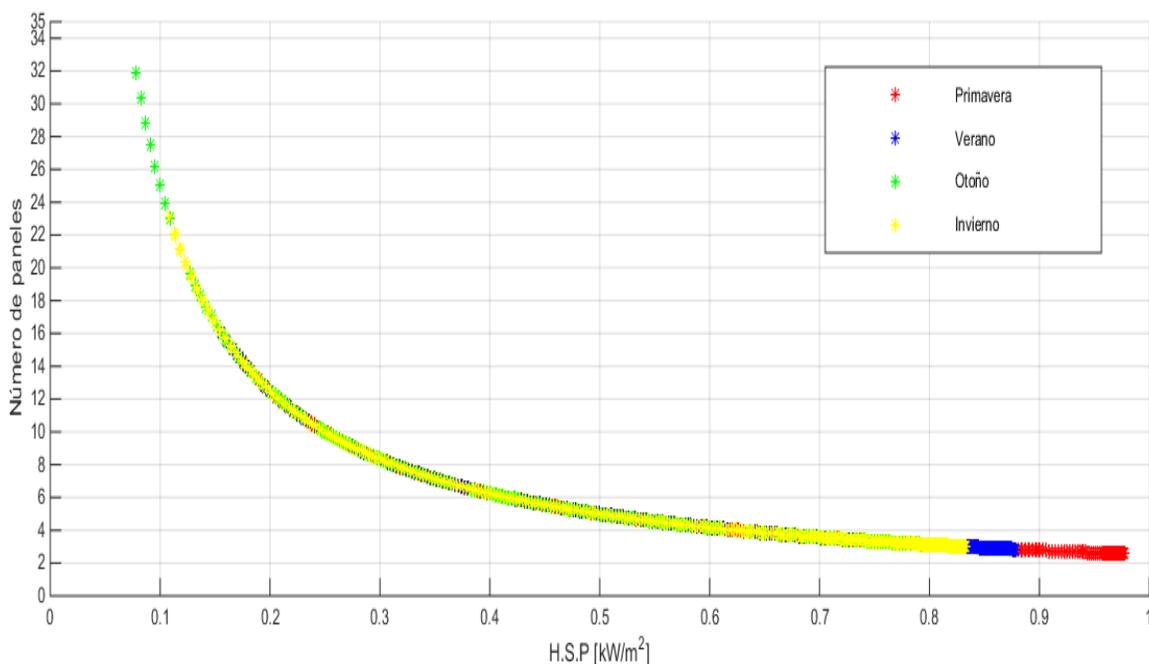


Figura 5.9 Comportamiento del Np respecto a la radiación solar por estación del año.

Analizando el comportamiento de la radiación solar, se observa que el rango de 2 a 4 paneles se mantiene al igual que en el análisis con variaciones de parámetros hechos anteriormente y para un valor fijo de H.S.P., por lo que el resultado obtenido para la radiación promedio con un valor fijo de HSP es un cálculo real e idóneo para la instalación.

5.4 Análisis económico del sistema.

En esta sección se presenta el análisis económico que se desprende del dimensionamiento realizado anteriormente para el sistema bajo estudio. Así pues, es necesario realizar un análisis económico para estudiar la viabilidad de la aplicación, sobretodo, en zonas marginadas como se ha venido manejando en el objetivo de este trabajo.

La implementación de energías no convencionales involucra un complejo proceso entre la sociedad, la política y negocios que incluye la parte económica

RESULTADOS Y ANÁLISIS ECONÓMICO

tomando en consideración la parte geográfica de su implementación, que, por lo general, la introducción de este tipo de energías trata de ayudar en la calidad de vida de comunidades rurales.

En primera instancia se analizará el costo que generaría la implementación de los paneles fotovoltaicos analizando el costo de la inversión inicial que se requiera para la instalación. Después se expondrán apoyos gubernamentales con las que se cuentan en México como impulso a la implementación de energías renovables.

Para analizar el sistema dimensionado se consiguieron los siguientes costos aproximados a través de proveedores como Autosolar, Servibar, Econotecnia, Almacenes solares, Evoluo- Sistemas Solares y Dm solar, todos ellos contactados a través de correo electrónico obteniendo cotizaciones de los diferentes componentes que ellos distribuyen y que se necesitan en la instalación propuesta en este trabajo. Realizando el análisis de las características requeridas y los precios se obtuvo la siguiente cotización presentada en la Tabla 5.5:

Tabla 5.5 Cotización por componente del acoplamiento.

Componente	Cantidad	Precio (MXN)
Acumulador 12 V 144 A·h	1	2,700
Panel 100 W 12V	4	1,700
Regulador 12 V 50/300 A	1	1,500
Convertidor 12 V a 120 V 60 Hz	1	1,000
Frigobar	1	5,000

Con los costos anteriores de obtiene una inversión inicial de \$ 11,900 MXN solamente para los componentes del sistema, como lo muestra la Tabla 5.1, omitiendo gastos de instalación y cableado.

Debido a que el sistema dimensionado en este trabajo está pensado para aquellas regiones en las que no se tiene acceso a la red de energía eléctrica, se

RESULTADOS Y ANÁLISIS ECONÓMICO

trata de un sistema aislado ya que no se conecta a la red de electricidad. De acuerdo al costo por kW·h que se genera en 2017 y tomando en cuenta el mismo frigobar bajo estudio se necesitarían 1,138 kW·h al año para el abastecimiento del sistema. En la Tabla 5.2 se muestra el consumo en pesos que se generaría por año tomando en cuenta que en el centro del país el costo por kW·h es de \$0.793 para una instalación doméstica de consumo básico. (http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/Tarifas_casa.asp?Tarifa=DACTAR1&anio=2017) además de tomar en cuenta una inflación del 5% anual en la tarifa de la red eléctrica.

En la Tabla 5.6 se muestra el comportamiento del costo total en pesos en un rango de 1 a 25 años, en la columna de costo real, se muestra el valor de la instalación agregándole el precio del frigobar, por lo que en 6 años se compensaría la inversión inicial del sistema autónomo propuesto.

Como es conocido, en una instalación solar térmica, el factor de más peso a la hora de decidir si resulta viable es el ahorro potencial que la misma produciría durante sus años de vida útil, si esta fuese demasiado pequeña la realización del proyecto sería no aconsejable y se optaría por buscar otra fuente energética.

Se aclara también que el análisis realizado en esta sección, es una cotización aproximada, ya que en sistemas autónomos de este tipo no siempre es posible cuantificar, en términos económicos la rentabilidad del sistema pues a veces no es el factor económico el de mayor peso para decidir o no la instalación del sistema. Una instalación autónoma resulta necesaria cuando se precisa un abastecimiento total para el dispositivo a activar ya que no puede depender de una alimentación externa puesto que son supuestos zonas marginadas sin acceso a los servicios de electricidad, lo que genera mayor confiabilidad en cuanto a cortes de suministro, averías y presenta menor vulnerabilidad a sabotajes.

RESULTADOS Y ANÁLISIS ECONÓMICO

Tabla 5.6 Costo anual en un frigobar conectado a la red eléctrica.

Año	[kW·h]	\$ Total	Costo real [MXN]
1	1,138	902.434	5,902.434
2	2,276	1,895.1114	6,895.1114
3	3,414	2,978.0322	7,978.0322
4	4,552	4,151.1964	9,151.1964
5	5,690	5,414.604	10,414.604
6	6,828	6,768.255	11,768.255
7	7,966	8,212.1494	13,212.1494
8	9,104	9,746.2872	14,746.2872
9	10,242	11,370.6684	16,370.6684
10	11,380	13,085.293	18,085.293
11	12,518	14,890.161	19,890.161
12	13,656	16,785.2724	21,785.2724
13	14,794	18,770.6272	23,770.6272
14	15,932	20,846.2254	25,846.2254
15	17,070	23,012.067	28,012.067
16	18,208	25,268.152	30,268.152
17	19,346	27,614.4804	32,614.4804
18	20,484	30,051.0522	35,051.0522
19	21,622	32,577.8674	37,577.8674
20	22,760	35,194.926	40,194.926
21	23,898	37,902.228	42,902.228
22	25,036	40,699.7734	45,699.7734
23	26,174	43,587.5622	48,587.5622
24	27,312	46,565.5944	51,565.5944
25	28,450	49,633.87	54,633.87

RESULTADOS Y ANÁLISIS ECONÓMICO

En un principio 6 años como el tiempo de retorno de la inversión puede parecer mucho tiempo, pero analizando que este tipo de redes domésticas solares tienen un tiempo de vida de aproximadamente 25 años, tomando en cuenta un sistema difusión – absorción como el propuesto en este dimensionamiento, y conectado al suministro de la red eléctrica, el gasto sería aproximadamente 3 veces la inversión inicial tomando en cuenta el incremento del precio de los productos y el cambio y mantenimiento de algunos componentes de la red a los 10 años de utilidad, además, con esa cantidad como costo inicial se tiene una tasa de retorno de 16% en primeros 6 años de vida útil.

Tabla 5.7 Cálculo del valor presente neto en 6 años.

tasa de descuento		12%
	VPN	\$13,575.78
	año	
	1	902.434
	2	1,895.11
	3	2,978.03
	4	4,151.20
	5	5,414.60
	6	6,768.26

Tabla 5.8 Cálculo de la TIR en 6 años.

TIR		16%
Inversión	-11,900.00	
1	902.43	
2	1,895.11	
3	2,978.03	
4	4,151.20	
5	5,414.60	
6	6,768.26	

5.5 Apoyos Gubernamentales

Como es sabido, México cuenta con un gran potencial en cuestión de recursos energéticos renovables lo que puede ayudar a que el país tenga un mayor desarrollo en sus fuentes de energía y así, poder atenuar los impactos ambientales ocasionados por la producción, distribución y uso final de las fuentes convencionales de energía.

Una de las situaciones económicas más difíciles con las que se encuentran los mexicanos es con las altas tarifas del pago de la electricidad o con la ausencia de esta. Las fuentes de energía convencionales para terminar con estos problemas en nuestra sociedad dependen de las características de cada población, como, por ejemplo:

- Biogás de tiraderos municipales (poblaciones medianas o grandes)
- Desarrollo del potencial de plantas minihidráulicas
- Mayor uso de residuos agropecuarios para la generación de electricidad
- Instalación de celdas fotovoltaicas
- Energía eólica

Por el tema del trabajo, nos enfocaremos en hablar de la instalación de celdas fotovoltaicas. Algunos de los apoyos que se pueden encontrar para este tipo de rubro son:

- **“Programa para el desarrollo de zonas Prioritarias para el ejercicio fiscal”** este es un tipo de apoyo de infraestructura para redes o sistemas de energía eléctrica, es un financiamiento federal con un monto máximo de hasta tres millones de pesos otorgado por la institución SEDESOL.
- **“Programa de infraestructura básica para la atención de los pueblos indígenas”** Es un tipo de apoyo de construcción de líneas y redes de distribución de energía eléctrica y electrificación no convencional. A diferencia de los otros no tiene un monto ya definido pero un 70% de lo

RESULTADOS Y ANÁLISIS ECONÓMICO

otorgado es por el programa y el 30% restante es aportado por el municipio. Es un financiamiento federal y es otorgado por la Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas.

- **“Proyecto de electrificación rural con energías renovables, servicios integrales de energía”** con este apoyo se pretende dotar de energía eléctrica a través de energías renovables a comunidades remotas, que por su alto grado de dispersión no puedan ser integradas a la red, tratándose de un proyecto federal/internacional y el monto de apoyo varía dependiendo de la dimensión del proyecto
- **“Fondo para la transición energética y el aprovechamiento sustentable de la energía”** Apoyo proporcionado por el Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (BANOBRAS) que consiste en garantías de créditos y apoyos financieros para proyectos que cumplan con la Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía. El monto de apoyo también está en función del proyecto y es apoyo federal.
- **“Créditos para inversión pública productiva a municipios”** Apoyo para proyectos de ahorro de energía. Proyectos de energía renovable. Fomento de proyectos de innovación tecnológica. Al igual que los últimos, su monto está en función de la magnitud del proyecto y es apoyo federal

Con esto se puede apreciar que este tipo de integración de sistemas analizado en este trabajo, es viable para ser apoyado en su implementación en zonas alejadas de la red eléctrica y de gran uso en aplicaciones del sector salud, uno de los sectores más importantes a cuidar en nuestra sociedad. Queda disponible también la posibilidad de poder ampliar este tipo de sistemas para otros sectores, obteniendo así sistemas sustentables y amigables con el medio ambiente beneficiando a personas que habitan zonas vulnerables en nuestro país.

CONCLUSIONES

El crecimiento económico y protección del medio ambiente no son compatibles. Son los lados opuestos de la misma moneda si buscas prosperidad a largo plazo.

Henry Paulson.

CONCLUSIONES

Debido a la necesidad de buscar sistemas alternativos y con un enfoque más sustentable en la generación del frío, hizo la necesidad de indagar más en los sistemas de refrigeración activados con energías no convencionales. Es así, que en este trabajo de tesis se desarrolló desde el punto de vista teórico, el dimensionamiento y acoplamiento de un sistema compuesto por paneles solares y un sistema de refrigeración difusión-absorción. Además, se realizó un análisis básico sobre el costo económico del sistema propuesto. Entre los aspectos más relevantes de este trabajo se pueden citar los siguientes:

- Se realizó una búsqueda del estado del arte relacionado a los sistemas de generación de frío, así como los antecedentes de las energías renovables, enfatizando a la energía solar y sus características.
- El dimensionamiento propuesto se basó en condiciones de radiación solar en el estado de Guanajuato, donde se consiguió este parámetro a lo largo de 4 años de estudio (2010 - 2014) tomando un promedio de estos resultados se obtuvo una curva de irradiación solar [W/m^2] con respecto a la hora del día (8:00 am a 6:00 pm).
- Se estudiaron las principales características de los sistemas de refrigeración basados en difusión-absorción; el estudio se basó en un sistema con una altura de 50 cm y un ancho de 40.5 cm con un peso aproximado de 16 kg y de baja capacidad volumétrica ($0.030 m^3$) cuya activación depende de una resistencia eléctrica de 65 W.
- El dimensionamiento se basó en suministrar la energía de activación del refrigerador mediante paneles solares, además de dimensionar un banco de baterías que pudiera suministrar en ausencia de la luz solar al sistema.
- Se obtuvo un total de 4.5 paneles solares de 100 W para un valor fijo de H.S.P y de igual manera para la variación de la radiación de acuerdo a las curvas de irradiación.
- Con los dispositivos propuestos para el acoplamiento se obtuvo un costo inicial de \$17,100 MXN, sin embargo, comparado con un sistema del

mismo tipo conectado a la red de distribución eléctrica convencional, se calculó una tasa de retorno de 32.18%.

- Se investigaron diferentes tipos de apoyos gubernamentales en México que apoyan proyectos orientados a energías renovables en apoyo a la población más vulnerable.
- Se observó que el costo inicial es elevado, donde a mediano plazo se retorna la inversión inicial y por la vida útil del sistema, puede llegar a ahorrarse hasta el doble del costo que generaría un sistema como este utilizando la red de distribución eléctrica convencional.

Los alcances de este trabajo fueron el dimensionamiento del sistema solar adecuado para el DAR especificado y el análisis económico de un sistema de este tipo, sin embargo, las conclusiones a las que se llegaron son solamente el inicio de una investigación que puede seguirse desarrollando en pro del medio ambiente y la generación de nuevas energías. Además, el modelo propuesto puede construirse físicamente y hacer mejoras que puedan reducir su costo y aumentar su eficiencia, lo anterior, se deja propuesto como opciones de trabajos futuros a desarrollar. Lo anterior con el fin de proyectar una mejor calidad de vida en zonas alejadas del suministro eléctrico.

De mi parte, una de las cosas que me gustaría realizar, es la construcción del sistema físico para tener una mayor idea de las complicaciones que se pudieran presentar y desarrollar los componentes necesarios para la implementación de este tipo de sistemas en lugares marginados. El sentirme comprometida con la sociedad en general hace que tenga los deseos de seguir investigando y tener el deseo de desarrollar sistemas de este tipo para mi país.

REFERENCIAS

- Calculadora TIR
+ <http://es.calcuworld.com/calculadoras-empresariales/calculadora-tir/>
- Chen J, Kim K, Herold K. (1996). *Performance enhancement of a diffusion-absorption refrigerator. International Journal of Refrigeration*, 18.
- Conoce tu tarifa CFE.
+ http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas_negocio.asp?Tarifa=HM.
- Delano A. (1998). *Design analysis of the Einstein refrigeration cycle. Ph.D. dissertation, Georgia Institute of Technology.*
- Esco – Tel de México.
+ http://www.esco-tel.com/paneles_solares.html
- Estadísticas del Sector Eléctrico.
+ <http://egob2.energia.gob.mx/portal/electricidad.html>
- Estrategia Nacional de Energía para 2013–2027.
+ http://climateobserver.org/wp-content/uploads/2014/08/Mexico_Estrategia-Nacional-de-Energia_2013-2027.pdf
- Fong KF, Chow TT, Lee CK, Lin Z, Chan LS. (2011) *Solar hybrid cooling system for high-tech offices in subtropical climate—radiant cooling by absorption refrigeration and desiccant dehumidification. Energy Conversion and Management*, 52 – 94

- F. Marechal, D. Favrat, and E. Jochem. (2005) *Energy in the perspective of the sustainable development: The 2000 W society challenge*, *Resour., Conserv. Recycl*, 44.
- Gerhard Knies y Franz Trieb. (2007). *Energía solar para generación eléctrica*
- Historia energía solar.
+ <http://recuerdosdepondora.com/historia/inventos/historia-de-la-energia-solar/>
+ <http://solar-energia.net/historia>
- Instalaciones de Energía Solar, Tomo V *Sistemas de Conversión Eléctrica*
- J.M. Belman - Flores, J.M. Barroso-Maldonado, A.P. Rodríguez Muñoz, G. Camacho-Vázquez. (2015). *Enhancements indomestic refrigeration, approaching a sustainable refrigerator*.
- J.M. Belman-Flores y J.L. Rodríguez-Muñoz (2015). *Modeling the evaporator of a diffusion-absorption system: energetic analysis and effect on the design of a frigobar*.
- J.M. Belman-Flores a, J.L. Rodríguez-Muñoz, C. Rubio-Maya, J.J. Ramírez-Minguela, V. Pérez-García. (2014). *Energetic analysis of a diffusion - absorption system: A bubble pump under geometrical and operational conditions effects*.
- Kaplanis S, Papanastasiou N. (2006). *The study and performance of a modified conventional refrigerator to serve as a PV powered one*. *J Renew Energy*, 71 - 80.

- Kaplanis S. A. (2003). *Model to predict global hourly solar insolation in a site.*
- Koyfman A, JelinekM, LevyA, Bordel. (2003). *An experimental investigation of bubble pump performance for diffusion absorption refrigeration system with organic working fluids*, 94.
- N. L. Panwar, S. C. Kaushik, and S. Kothari. (2011) *Role of renewable energy sources in environmental protection: A review,*” *Renewable Sustainable Energy Rev*, 15.
- Origen y Evolución del refrigerador.
+ <https://redsocial56.com/2015/07/16/origen-y-evolucion-del-refrigerador-nevera/>
- Otanicar T, Taylor RA, Phelan PE. (2012) Prospects for solar cooling - an economic and environmental assessment. *Solar Energy*, 86 - 99.
- Reguladores de carga.
+ <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/instalaciones-autonomas/reguladores-carga>
+ <http://energiasolarfotovoltaica.blogspot.mx/2006/01/el-regulador-de-carga.html>
- Retorno de inversión sistema FV
+ <http://coltecnica.com.co/wp/?p=101>
- Rubisel Arreola Gómez, Abel Quevedo Nolasco, Martiniano Castro Popoca, Ángel Bravo Vinaja, David Reyes and Muñoz. *Diseño, construcción y*

evaluación de un sistema de seguimiento solar para un panel fotovoltaico
(2015)

- Sector Eléctrico Nacional Subsecretaria de Electricidad.
+ <http://egob2.energia.gob.mx/portal/electricidad.html>
- World Watch Institute. (2005). *Renewables 2005 Global Status Report*
+ <http://www.worldwatch.org>

ANEXOS

Código de dimensionamiento en Matlab para una H.S.P promedio.

%Dimensionamiento

%-----CALCULO DE LA ENERGIA UTIL-----%

%Declaración de variables

Et=130; %Potencia de consumo en Watts*hora teórica
 N=3 %Número máximo de días de autonomía
 Kb=0.05; %Fracción de energía que no entra en la batería
 Kc=0.2; %Rendimiento de convertidores
 Kv=0.15; %Otras pérdidas en el sistema
 Ka=0.005; %Energía perdida por autodescarga
 Pd=0.4; %Máxima descarga admisible en %
 Vbat= 12; %Voltaje de la batería utilizada en volts
 t=[28800:100:64800];

%Encontrando la energía necesaria diariamente

$R = (1 - K_b - K_c - K_v) * (1 - K_a * N / P_d)$

$E = E_t / R$

%Calculando en valor de la capacidad util

$C_u = E * N$ %Capacidad util en W*h

$C_u = (E * N) / V_{bat}$; %Capacidad util en A*h

$C = C_u / P_d$ %Capacidad nominal

%-----CALCULO DE LA POTENCIA EN LOS PANELES-----%

%Consideraciones

%EL 10% de la energía generada por el panel será disipada por el regulador

%en forma de calor

rendimiento = 0.9;

$E_p = E / \text{rendimiento}$ %Cantidad de energía diaria producida por los paneles en W*h

%-----CALCULO DEL NUMERO DE PANELES-----%

$P_p = 100$; %Potencia en W del panel propuesto a usar

HSP=0.605; %Valor promedio de irradiación solar

$N_p = E_p / (P_p / 100 * HSP)$

plot(N,Np, '*')

grid on

hold on

Código de dimensionamiento en Matlab para una H.S.P variando de acuerdo a las curvas de irradiación encontradas.

%Dimensionamiento

%-----CALCULO DE LA ENERGIA UTIL-----%

%Declaración de variables

Et=130; %Potencia de consumo en Watts*hora teórica
 N=[0:1:15] %Número máximo de días de autonomía
 Kb=0.05; %Fracción de energía que no entra en la batería
 Kc=0.2; %Rendimiento de convertidores
 Kv=0.15; %Otras pérdidas en el sistema
 Ka=0.005; %Energía perdida por autodescarga
 Pd=0.4; %Máxima descarga admisible en %
 Vbat= 12; %Voltaje de la batería utilizada en volts
 t=[28800:100:64800];

%Encontrando la energía necesaria diariamente

R=(1-Kb-Kc-Kv)*(1-Ka.*N/Pd)
 E=Et./R

%Calculando en valor de la capacidad útil

Cu = E.*N %Capacidad útil en W*h
 Cu = (E.*N)/Vbat; %Capacidad útil en A*h
 C = Cu/Pd %Capacidad nominal

%-----CALCULO DE LA POTENCIA EN LOS PANELES-----%

%Consideraciones

%EL 10% de la energía generada por el panel será disipada por el regulador
 %en forma de calor

rendimiento = 0.9;

Ep = E/rendimiento %Cantidad de energía diaria producida por los paneles en W*h

%-----CALCULO DEL NUMERO DE PANELES-----%

Pp = 100; %Potencia en W del panel propuesto a usar
 HSP=0.605; %Valor promedio de irradiación solar
 HSP = ((1.294150429*10⁻¹⁵)*(t.^4)-(2.361306692*10⁻¹⁰)*(t.^3)+
 (1.337235276*10⁻⁵)*(t.^2) - (2.334702929*10⁻¹)*(t)+ 506.8237554)/1000;
 %Irradiacion en W/m^2 anual
 Np = Ep./(Pp.*HSP)
 hold on
 plot(N,Np, '*')
 %plot(Pp,Np, '*')
 grid on
 hold on

%Primavera

```
HSPPP = ((2.224454846*10^-15)*(t.^4)-(4.070828513*10^-10)*(t.^3)+
(2.474656624*10^-5)*(t.^2) - (5.561568609*10^-1)*(t)+
3861.082215)/1000;
```

```
Np1 = Ep./(Pp.*HSPPP)
```

```
plot(HSPPP, Np1, '*-r')
```

```
hold on
```

%Verano

```
HSPV= ((2.17544568*10^-15)*(t.^4)-(3.976344529*10^-10)*(t.^3)+
(2.432263635*10^-5)*(t.^2) - (5.592289084*10^-1)*(t)+
4099.850326)/1000;
```

```
Np2 = Ep./(Pp.*HSPV)
```

```
plot(HSPV, Np2, '*-b')
```

```
hold on
```

% %Otoño

```
HSPO= ((2.618939446*10^-15)*(t.^4)-(4.762077302*10^-10)*(t.^3)+
(2.939129161*10^-5)*(t.^2) - (0.702454278)*(t)+ 5580.245151)/1000;
```

```
Np3 = Ep./(Pp.*HSPO)
```

```
plot(HSPO, Np3, '*-g')
```

```
hold on
```

% %Invierno

```
HSPI= ((2.692926169*10^-15)*(t.^4)-(5.051709602*10^-10)*(t.^3)+
(3.243546482*10^-5)*(t.^2) - (8.202530776*10^-1)*(t)+ 7042.973028)/1000;
```

```
Np4 = Ep./(Pp.*HSPI)
```

```
plot(HSPI, Np4, '*-y')
```

```
hold on
```

Código de gráfica de curvas de irradiación solar en Matlab.

%Ecuaciones de radiación solar

t=[28800:1000:64800]; %Tiempo en segundos de las 8:00am a 6:00pm

lanual= (1.294150429*10⁻¹⁵)*(t.^4)-(2.361306692*10⁻¹⁰)*(t.^3)+
(1.337235276*10⁻⁵)*(t.^2) - (2.334702929*10⁻¹)*(t)+ 506.8237554;
plot(t,lanual,'d-r');

grid on Grafica de Primavera

l2anual= (2.224454846*10⁻¹⁵)*(t.^4)-(4.070828513*10⁻¹⁰)*(t.^3)+
(2.474656624*10⁻⁵)*(t.^2) - (5.561568609*10⁻¹)*(t)+ 3861.082215;
plot(t,l2anual,'d-g');

hold on

grid on

% Grafica de Verano

l3anual= (2.17544568*10⁻¹⁵)*(t.^4)-(3.976344529*10⁻¹⁰)*(t.^3)+
(2.432263635*10⁻⁵)*(t.^2) - (5.592289084*10⁻¹)*(t)+ 4099.850326;
plot(t,l3anual,'d-y');

hold on

grid on

% Grafica de Otoño

l4anual= (2.618939446*10⁻¹⁵)*(t.^4)-(4.762077302*10⁻¹⁰)*(t.^3)+
(2.939129161*10⁻⁵)*(t.^2) - (0.702454278)*(t)+ 5580.245151;
plot(t,l4anual,'*-b');

hold on

grid on

% Grafica de Invierno

l5anual= (2.692926169*10⁻¹⁵)*(t.^4)-(5.051709602*10⁻¹⁰)*(t.^3)+
(3.243546482*10⁻⁵)*(t.^2) - (8.202530776*10⁻¹)*(t)+ 7042.973028;
plot(t,l5anual,'d-r');

hold on

grid on

% %

Bahamas, Oto. a 29 de Mayo del 2017.

DR. DONATO HERNÁNDEZ FUSILIER
COORDINADOR DE ASUNTOS ESCOLARES
PRESENTE.

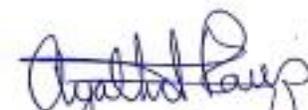
Por medio de la presente, se otorga autorización para proceder a los trámites de impresión, empaquetado de tesis y titulación al alumno(a) Martha Cecilia Acetano Alamilla del Programa de Licenciatura en Ingeniería en Mecatrónica y cuyo número de NUA es: 113876 del cual soy director. El título de la tesis es: Estudio Técnico del ampliamiento entre un sistema difusión- absorción y uno fotovoltaico.

Hago constar que he revisado dicho trabajo y he tenido comunicación con los sinodales asignados para la revisión de la tesis, por lo que no hay impedimento alguno para fijar la fecha de examen de titulación.

ATENTAMENTE


Juan Manuel Beltrán Flores
NOMBRE Y FIRMA
DIRECTOR DE TESIS
SECRETARIO

NOMBRE Y FIRMA
DIRECTOR DE TESIS


VICTOR AYALA RAMIREZ
NOMBRE Y FIRMA
PRESIDENTE


VICTOR HUGO CANGEL-HDEZ.
NOMBRE Y FIRMA
VOCAL