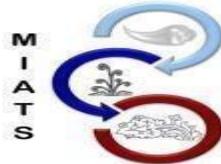




UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL Y TECNOLOGÍAS SUSTENTABLES



**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TECNO-ECONÓMICO-AMBIENTAL PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DE ECOTECNOLOGÍAS EN UN ESTABLECIMIENTO
COMERCIAL DEL SUR DE MORELOS**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA AMBIENTAL Y TECNOLOGIAS SUSTENTABLES

PRESENTA

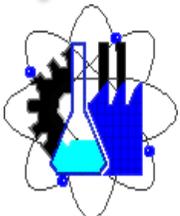
L.C.A. JESÚS MARTÍNEZ DOMÍNGUEZ

ASESOR: DR. MOISÉS MONTIEL GONZÁLEZ

COASESOR: DRA. MARIANA ROMERO AGUILAR

CUERNAVACA, MORELOS

DICIEMBRE 2022



AGRADECIMIENTOS A CONACyT

Este proyecto se realizó en la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, bajo la asesoría del Dr. Moisés Montiel González y con la co-asesoría de la Dra. Mariana Romero Aguilar con el apoyo financiero del Programa de Becas Nacionales de Posgrado, otorgado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT).

DEDICATORIA

A las dos personas que sin importar que pase, siempre han estado y estarán conmigo, a quienes debo todo lo que soy y todo aquello en lo que me convertiré. A mi padre, Primo Martínez Olivares quien es un trabajador incansable y el hombre a quien más admiro y respeto, a mi madre Lucila Domínguez Campos con quien tuve la enorme dicha de crecer y cuyo cariño y amor me han impulsado todos y cada uno de los días de mi vida. Sin lugar a dudas y con toda la seguridad del mundo puedo decirles que, si tuviera la oportunidad de elegir, los escogería a ustedes una, cien, mil o todas las veces que hiciera falta.

AGRADECIMIENTOS

No podría comenzar este apartado sin nuevamente mencionar a mis padres, a quienes agradeceré todos los días de mi vida por su apoyo incondicional en la búsqueda de cumplir mis metas, gracias por sus palabras de aliento cada que he tenido dudas, gracias por enseñarme a valorar el trabajo y el esfuerzo, pero, sobre todo gracias por permitirme tener a los mejores padres que pude haber tenido.

Agradezco desde el fondo de mi alma a mis hermanos y sus familias por el apoyo recibido en cada una de las etapas de este nuevo proyecto.

A mi director de tesis el Dr. Moisés Montiel González le agradezco por confiar en mí desde el primer día, quien además de ser un excelente profesor, también tengo la dicha de poder llamarle amigo. Así como a la Dra. Mariana Romero Aguilar a quien tuve la suerte de conocer en mi etapa universitaria y que nuevamente he tenido la satisfacción de contar con su apoyo y guía para poder concluir esta nueva faceta de mi vida.

Me gustaría agradecer también a mi comité revisor a los doctores Esteban Montiel, Luis Cisneros y Roberto Alvarado por el apoyo recibido mediante sus correcciones y observaciones. Asimismo, agradezco a la Universidad Autónoma del Estado de Morelos por nuevamente permitirme seguir creciendo académicamente.

Agradezco profundamente a todos los amigos que estuvieron previo a emprender esta nueva aventura, ya que siempre he podido contar con ustedes en las buenas y en las malas, aun cuando nuestros caminos ya no sean tan cercanos, así como a aquellos que tuve la oportunidad de conocer durante el transcurso de estos dos años.

Por último, sé que soy el conjunto de todas las experiencias y vivencias por las que he pasado, así que agradezco a la vida por darme la oportunidad de superar obstáculos, disfrutar de momentos increíbles y de gozar mis victorias ya fueran grandes o pequeñas.

RESUMEN

En la actualidad el consumo intensivo de combustibles fósiles ha provocado el incremento de gases de efecto invernadero (GEI), lo cual ha inducido la aceleración del cambio climático. En consecuencia, se ha generado una creciente colaboración y alianzas entre los gobiernos, organizaciones e instituciones mundiales, ya que las fuentes de energía más utilizadas en el mundo son aquellas derivadas de los combustibles fósiles. Además, con el fin de buscar y proponer soluciones se han identificado los sectores que mayor energía consumen a nivel mundial, siendo estos: la industria, el transporte y el sector residencial y no residencial. Este último tiene un crecimiento continuo, debido a que diariamente se construyen nuevas edificaciones con diferentes propósitos, principalmente, para la satisfacción de las necesidades de sus ocupantes y de la sociedad en general, por lo que el consumo energético de las edificaciones se incrementa junto con dicha situación. Por lo anterior, la búsqueda de soluciones se basa en reducir el consumo energético sin disminuir el confort térmico de sus habitantes, se han generado estrategias para mejorar su eficiencia energética, a través de la aplicación de tecnologías más eficientes, técnicas de arquitectura bioclimáticas o el uso de ecotecnologías para producir su propia energía.

Esta investigación se enfoca en realizar un estudio de factibilidad técnico, económico y ambiental para la implementación de ecotecnologías en un edificio no residencial, considerando como caso de estudio un supermercado de Jojutla Morelos, México. Se diseñó un intercambiador de calor tierra-aire (EAHE) para climatización del edificio y un sistema solar fotovoltaico interconectado a la red para suministro de energía eléctrica, con lo cual se satisfacen las necesidades de confort térmico y demanda de electricidad. El EAHE resultó técnica y económicamente factible por la disponibilidad de espacio y materiales económicamente asequibles y un tiempo de retorno de inversión inferior a 2 años. El sistema fotovoltaico con paneles de 400 W resultó técnica y económicamente factible porque el arreglo propuesto presenta un tiempo de retorno de inversión inferior a 3 años. Además, si ambos sistemas se implementan se evitarían 108.18 tCO_{2eq} anualmente y se requieren 15,037.02 hectáreas de selva baja para absorber la concentración de emisiones de CO_{2eq}.

ABSTRACT

At present, the intensive consumption of fossil fuels has caused an increase in greenhouse gases (GHG), which has led to the acceleration of climate change. Consequently, a growing collaboration and alliances have been generated between governments, organizations and world institutions, since the most used energy sources in the world are those derived from fossil fuels. In addition, in order to find and propose solutions, the sectors that consume the most energy worldwide have been identified these being: industry, transport, and the residential and non-residential sector. The latter has a continuous growth, due to the fact that new buildings are built daily for different purposes, mainly to satisfy the needs of its occupants and of society in general, so the energy consumption of buildings increases along with said situation. Therefore, the search for solutions is based on reducing energy consumption without reducing the thermal comfort of its inhabitants, strategies have been generated to improve their energy efficiency, through the application of more efficient technologies, bioclimatic architecture techniques or the use of eco- technologies to produce their own energy.

This research focuses on carrying out a technical, economic and environmental feasibility study for the implementation of eco- technologies in a non-residential building, considering a supermarket in Jojutla Morelos, Mexico as a case study. An earth-air heat exchanger (EAHE) was designed for the building's air conditioning and a photovoltaic solar system interconnected to the grid for the supply of electricity, which meets the needs of thermal comfort and electricity demand. The EAHE was technically and economically feasible due to the availability of space and economically affordable materials and a payback time of less than 2 years. The photovoltaic system with 400 W panels was technically and economically feasible because the proposed arrangement has a payback time of less than 3 years. In addition, if both systems are implemented, 108.18 tCO₂eq would be avoided annually and 15,037.02 hectares of lowland forest are required to absorb the concentration of CO₂eq emissions.

CONTENIDO

CAPITULO 1	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 CONTEXTO HISTÓRICO ENERGÉTICO	3
1.2.1 Panorama energético mundial	3
1.2.2 Contexto histórico de la energía	3
1.2.3 Usos de los combustibles fósiles	3
1.2.4 Energía eléctrica	4
1.2.5 Consecuencias de la quema de combustibles fósiles	4
1.2.6 Energías renovables	4
1.3 ANTECEDENTES	5
1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
1.5 JUSTIFICACIÓN	6
1.6 HIPÓTESIS	6
1.7 OBJETIVO GENERAL	7
1.7.1 Objetivos específicos	7
1.8 ESTRUCTURA DE LA TESIS	8
2. CAPITULO II	9
2.1 ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y ECOTECNOLOGIAS PROPUESTAS	9
2.1.1 Objetivos del desarrollo sostenible	9
2.1.2 Consumo energético en edificaciones	10
2.1.3 Edificios no residenciales	11
2.1.4 Gasto energético de los establecimientos comerciales	11
2.1.5 Potencial de aplicación de las Ecotecnologías en establecimientos comerciales	11
2.1.6 Energía geotérmica	12
2.1.7 Clasificación de la energía geotérmica	12
2.1.8 Pozos canadienses o intercambiadores de calor tierra-aire	13
2.1.9 Confort térmico	13
2.1.10 Tipo de material de los conductos	14
2.1.11 Condiciones del suelo	14
2.1.12 Profundidad	14
2.1.13 Mantenimiento	14
2.1.14 Tipos de pozos canadienses	15

2.1.15	Balance térmico	15
2.1.16	Ventajas del sistema	16
2.1.17	Energía geotérmica en México	16
2.1.18	Energía solar	16
2.1.19	Energía solar fotovoltaica	17
2.1.20	Ventajas del uso de la energía solar fotovoltaica	17
2.1.21	Sistemas solares bifaciales	18
2.1.22	Energía solar en México	18
3.	CAPÍTULO III	19
3.1.1	MATERIALES Y METODOS	19
3.1.2	DISEÑO EXPERIMENTAL	19
3.1.3	ESTRATEGÍA EXPERIMENTAL	20
3.1.4	Área de estudio	21
3.1.5	Condiciones climatológicas	21
3.1.6	Descripción general del establecimiento comercial	22
3.2	Factores por considerar para la realización del proyecto	22
3.2.1	Factores geográficos	22
3.2.2	Factores de la edificación	23
3.2.3	Factores energéticos	23
3.3	IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE CONSUMO Y DIAGNÓSTICO DE LAS FUNCIONES OPERACIONALES	24
3.4	CONSUMO ANUAL ESTIMADO	24
3.5	BALANCE TÉRMICO	24
3.5.1	Factores propios de la edificación	24
3.5.2	Factores climáticos	24
3.6	EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UNO O MÁS POZOS CANADIENSES	27
3.7	PROPUESTA PARA LA INSTALACIÓN DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS	28
3.7.1	Inclinación óptima	24
3.7.2	Eficiencias	24
3.7.3	Rendimiento térmico	24
3.7.4	Determinar pérdida de potencia por temperatura	29
3.7.5	Dimensionamiento de la potencia máxima a instalar	30

3.7.6	Selección del inversor	30
3.7.7	Conexiones en serie y paralelo	30
4.	CAPÍTULO IV	31
4.1	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	31
4.1.1	IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE CONSUMO Y DIAGNÓSTICO DE LAS FUNCIONES OPERACIONALES	31
4.1.2	CONSUMO ANUAL ESTIMADO	32
4.2	BALANCE TÉRMICO	34
4.2.1	Factores de la edificación.....	34
4.2.2	Factores climáticos y geográficos.....	34
4.2.3	Volumen total por hora a climatizar	35
4.2.4	Caudal de aire a través de la tubería.....	35
4.2.5	Número de ductos.....	35
4.2.6	Longitud de los ductos	36
4.3	EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UNO O MÁS POZOS CANADIENSES	37
4.4	PROPUESTA PARA LA INSTALACIÓN DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS	40
4.4.1	Cálculo del sistema solar fotovoltaico.....	41
4.4.2	Diseño del sistema (SFV)	42
4.4.3	Inclinación óptima.....	42
4.4.4	Eficiencias de los componentes del SFV	43
4.4.5	Rendimiento térmico.....	43
4.4.6	Determinación de pérdida de potencia por temperatura	43
4.4.7	Dimensionamiento de la potencia máxima a instalar.....	44
4.4.8	Selección del inversor	45
4.4.9	Selección de la estructura	46
4.4.10	Tiempo de retorno de la inversión	47
4.4.11	Diseño del SFV seleccionado	49
4.5	ANÁLISIS DE LAS EMISIONES DE CO₂ AL MEDIO AMBIENTE POR LA PRODUCCIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA UTILIZADA POR EL ESTABLECIMIENTO COMERCIAL DE ESTE CASO DE ESTUDIO	50
5.	CAPITULO V	54
5.1	CONCLUSIONES	54
6.	PERSPECTIVAS A FUTUTO	55

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	56
ANEXOS	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fuentes de producción de energía, elaboración propia con datos de la Agencia Internacional de Energía (EIA, 2019).	1
Figura 2. Consumo energético mundial por sectores, elaboración propia con datos de la EIA, 2019.	2
Figura 3. Temperatura del suelo a lo largo del día. Díaz, P. (2017).	13
Figura 4. Imagen satelital del establecimiento comercial	21
Figura 5. Entrada principal orientada al este.	22
Figura 6. Entrada trasera orientada al oeste.	22
Figure 7. Comparación en porcentajes de la climatización vs refrigeración de alimentos e iluminación.....	33
Figura 8. Porcentajes de la iluminación, climatización y refrigeración de alimentos y productos. .	33
Figura 9. Estacionamiento del establecimiento comercial.	38
Figura 10. Parte trasera del establecimiento comercial.	38
Figura 11. Diseño de los pozos canadienses	39
Figura 12. Imagen satelital estacionamiento del establecimiento comercial (Google Earth).	42
Figura 13. Diagrama del diseño solar fotovoltaico.	49

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de la energía geotérmica Cárcel y Martínez (2015).	12
Tabla 2. Fuentes de consumo y diagnóstico de sus funciones operacionales.....	31
Tabla 3. Gasto y consumo total estimado de la edificación anual.....	32
Tabla 4. Costo mensual estimado de cada uno de los sectores identificados.	33
Tabla 5. Resultados para las velocidades del viento, las humedades relativas y las temperaturas analizadas en este trabajo.....	36
Tabla 6. Conductividad térmica y capacidad calorífica por tipo de suelo. Cabezas, (2013).	37
Tabla 7. Inversión total del sistema de pozos canadienses.....	40
Tabla 8. Radiación solar en Jojutla en los diferentes meses (elaboración propia con datos obtenidos del portal de la NASA)"	41
Tabla 9. Número total de paneles por diferente potencia.....	45
Tabla 10. Inversión total por los SFV	46
Tabla 11. Costo total de las estructuras.	46
Tabla 12. Monto de la inversión.....	47
Tabla 13. Tiempo de retorno de la inversión.....	47
Tabla 14. Huella de carbono por consumo de energía eléctrica.	53

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1	25
Ecuación 2	25
Ecuación 3	25
Ecuación 4	25
Ecuación 5	26
Ecuación 6	26
Ecuación 7	26
Ecuación 8	26
Ecuación 9	27
Ecuación 10	27
Ecuación 11	27
Ecuación 12	28
Ecuación 13	29
Ecuación 14	29
Ecuación 15	29
Ecuación 16	29
Ecuación 17	30
Ecuación 18	30
Ecuación 19	47
Ecuación 20	50
Ecuación 21	52

1. CAPÍTULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

El desarrollo humano está históricamente relacionado a la producción y consumo de energía, así como la disponibilidad de esta, representa un factor clave para el crecimiento económico de cualquier país y una mejora en la calidad de vida de sus habitantes (Vargas y Otoya, 2001).

Entre las formas de producir energía, que el hombre ha encontrado, se enlistan las Energías No Renovables (ENR) y las Energías Renovables (ER); siendo las primeras todas aquellas que se consideran finitas dentro de la Tierra, tales como, las derivadas de los combustibles fósiles, por ejemplo: el petróleo, el gas natural o el carbón y las segundas, son aquellas que poseen una fuente inagotable como: la energía solar, eólica, biomasa, geotérmica, etc. (Roldan, 2008). La Agencia Internacional de Energía (IEA), se encarga de capturar los datos de las fuentes de producción (Figura 1) así como del consumo de energía en el mundo (Figura 2) (EIA, 2019).

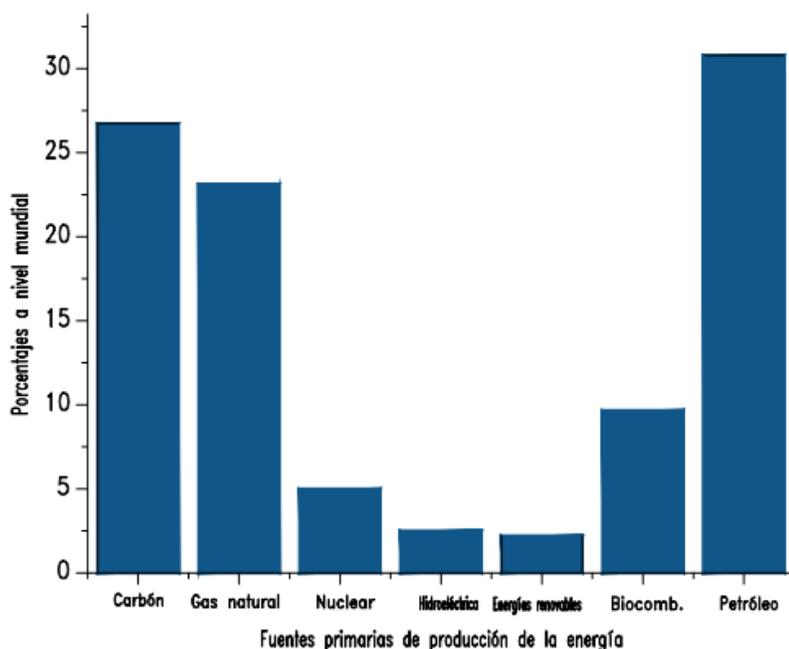


Figura 1. Fuentes de producción de energía, elaboración propia con datos de la Agencia Internacional de Energía (EIA, 2019).

En la Figura 1, se puede observar que el petróleo, carbón y gas natural respectivamente ocupan los tres primeros lugares como fuentes primarias de la producción de energía a nivel mundial todos estos siendo combustibles fósiles y muy por debajo se encuentran las Energías Renovables, las cuales no abastecen ni siquiera un 5% de la demanda total.

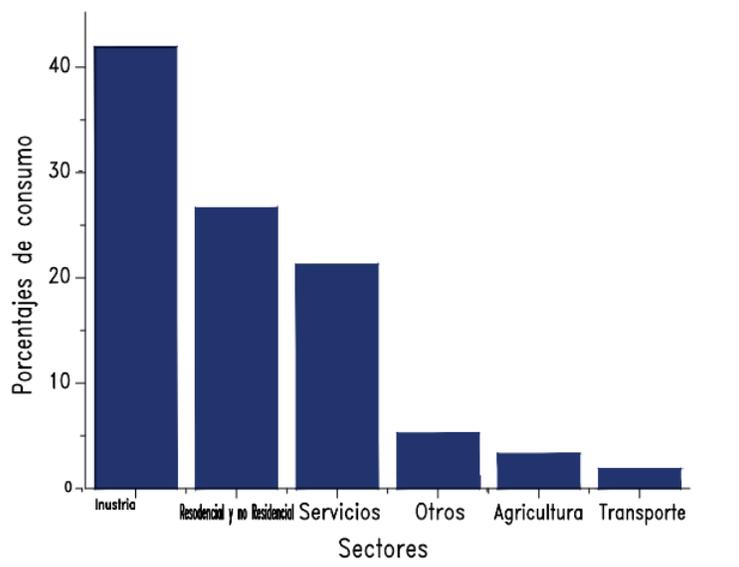


Figura 2. Consumo energético mundial por sectores, elaboración propia con datos de la EIA, 2019.

En la Figura 2, se ve reflejado que el sector residencial y no residencial ocupa el segundo lugar a nivel mundial como consumidores finales de la energía eléctrica, solo por debajo del sector de la industria.

La generación de energía por combustibles fósiles genera diversas consecuencias, por ejemplo, en México, de acuerdo con el inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero el 33.7% de su emisión pertenecen al sector energético (INECC, 2018).

En la presente investigación se busca afrontar la problemática ocasionada por el desmesurado consumo de energía, proponiendo alternativas para mitigar el impacto ambiental generado por el sector no residencial, específicamente de un establecimiento comercial, mediante el análisis del consumo energético en edificaciones no residenciales y con la implementación de paneles solares fotovoltaicos y el estudio de factibilidad técnica, económica y ambiental de la implementación de uno o más pozos canadienses en un establecimiento comercial de la zona sur del estado de Morelos, con la finalidad de contribuir a la sustentabilidad energética de dicho establecimiento.

1.2 CONTEXTO HISTÓRICO ENERGÉTICO

1.2.1 Panorama energético mundial

La historia del desarrollo humano se basa en la búsqueda de fuentes de energía, así como en las maneras de obtener un óptimo aprovechamiento de estas. “la historia de la civilización es la del dominio de las fuerzas de la naturaleza por medios culturales, de tal forma que la cultura evoluciona conforme aumenta la energía aprovechada *per cápita* en un dado periodo y la eficiencia de los instrumentos para servirse de ella” (Cunningham, 2003).

1.2.2 Contexto histórico de la energía

Las primeras formas de producir energía se derivan de la propia fuerza del hombre, así como del dominio de las fuerzas de la naturaleza, las cuales van, desde la domesticación de animales con el fin de facilitar el trabajo pesado en los campos, la quema de leña para cocinar, calentar agua o usarla como calefacción, hasta aprovechar los vientos y corrientes marinas para cruzar grandes océanos. Todo lo anterior permitió el desarrollo de importantes civilizaciones y grandes asentamientos humanos (Jiménez, 2010). Sin embargo, tras un crecimiento de la población mundial y por consecuencia un aumento en la demanda energética, las formas tradicionales de producir y aprovechar la energía fueron insuficientes, en la búsqueda de soluciones para satisfacer las demandas de la población creciente, a mediados del siglo XVIII, comenzó la revolución industrial y con ella, llegaron los combustibles fósiles (CF), siendo el carbón el primero de ellos, posteriormente el petróleo a mitad del siglo XIX y por último el gas natural en el siglo XX, estas nuevas fuentes otorgaron una reserva energética como nunca antes se había visto (Chamorro, 2002). La aplicación de estas nuevas fuentes de energía se tradujo en un aumento en la calidad de vida de aquellas personas que tenían acceso a estos nuevos y eficientes combustibles, y desplazaron casi en su totalidad a las utilizadas previamente (Schallenberg *et al.*, 2008).

1.2.3 Usos de los combustibles fósiles

Los combustibles fósiles son combustibles fabricados por procesos geológicos que actúan sobre antiguos organismos muertos. Estos organismos muertos fueron enterrados hace cientos de millones de años. Los combustibles fósiles son líderes en la producción de energía, el mundo utiliza los combustibles fósiles para todo, como la generación de electricidad, la

calefacción de los hogares, hasta la fabricación de combustibles para el transporte (Posso, 2002).

1.2.4 Energía eléctrica

La generación de electricidad a partir de la quema de combustibles fósiles ha sido el proceso de producción más importante del siglo XX. En todo el mundo, la energía eléctrica se necesita y utiliza para diferentes aplicaciones, desde procesos industriales en las fábricas, en el transporte, en el sector público o en el uso de aparatos electrodomésticos, la refrigeración de alimentos y para el enfriamiento y calefacción de espacios de edificios residenciales y no residenciales (Santaló, 2009).

1.2.5 Consecuencias de la quema de combustibles fósiles

El consumo intensivo de dichos combustibles originó una problemática sin precedente en la historia humana (Rivera, 2018). Su quema provoca la generación de gases nocivos para el ambiente, mejor conocidos como gases de efecto invernadero (GEI), como el dióxido de carbono, causantes del efecto invernadero inducido, este fenómeno se produce por la acumulación de gases persistentes en la atmósfera y que impiden el escape de energía proveniente del sol, dando lugar a un sobrecalentamiento de la superficie terrestre, provocando un acelerado cambio climático, situación que es una de las mayores preocupaciones y uno de los más grandes retos alrededor del mundo (Medrano, 2020). Debido a este escenario tan alarmante, se ha buscado la forma de volver a la utilización de las energías renovables, pero esta vez de manera tal, que se pueda obtener un máximo rendimiento de dichas energías (González-Tablas et al., 2011).

1.2.6 Energías renovables

La energía renovable es aquella que posee una fuente de producción infinita dentro de la Tierra y que además en el sentido estricto de la palabra es no contaminante (Jarauta, 2014). Como se mencionó previamente el aprovechamiento de las fuerzas de la naturaleza para satisfacer las necesidades energéticas de la población es algo que se ha utilizado desde la aparición del hombre. Sin embargo, al día de hoy se busca el desarrollo de nuevas tecnologías que puedan maximizar la eficiencia de este tipo de energías, tal es el caso de los sistemas

fotovoltaicos (SFV), los cuales son capaces de producir energía eléctrica a través de la captación de luz solar, o como también es el caso de la energía geotérmica que como se verá a lo largo de este documento puede ser aprovechada para suministrar o retirar energía térmica, con el fin de generar confort térmico al interior de una determinada edificación.

“La energía menos contaminante es la que no se usa”

1.3 ANTECEDENTES

El origen del término ecotecnología se remonta al año de 1960, tiempo después su concepto se asoció a enfoques teóricos como la ecología industrial, las tecnologías limpias y la modernización ecológica. En Europa en la década de los ochenta, se planteó gracias a estos conceptos que el cuidar la calidad del ambiente es compatible con el desarrollo económico y que la tecnología y la ciencia encaminarían la transición hacia la “ecologización de la economía”. Por esta razón, en los últimos años, se ha buscado la manera de reemplazar las tecnologías convencionales por ecotecnologías innovadoras y limpias en todos los sectores (Ortiz et al., 2014).

El uso de la geotermia para climatización no es algo nuevo, ya que, siglos atrás en las viviendas tradicionales de Provenza al sur de Francia eran construidos ductos subterráneos de sección rectangular conocidos como pozo provenzal, cuya función era enfriar el aire para refrescar el interior de las casas. De igual manera se construían sistemas similares al norte del continente americano en el país de Canadá, pero en esta región lo que se buscaba con este tipo de sistemas era calentar el aire para tener un mejor confort térmico dentro de las viviendas, de ahí que a los intercambiadores de calor tierra-aire se les conozcan como pozo provenzal o pozo canadiense (Arcos, 2016).

Para realizar un estudio de factibilidad para la implementación de ecotecnologías, es necesario elaborar un diagnóstico del consumo energético de la edificación en cuestión, como el realizado por Morillón y colaboradores, (2015). En el que determinaron los consumos de energía eléctrica de distintos tipos de edificios del sector residencial y no residencial en distintas regiones del país y concluyeron que el factor más importante en los consumos finales de la energía de una edificación son las condiciones climatológicas de la región.

1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La energía consumida por los centros comerciales durante su proceso de producción genera gases contaminantes responsables del efecto invernadero, esto debido a que dicha energía es derivada de la quema de combustibles fósiles.

Jojutla, es un municipio situado en la zona sur del Estado de Morelos, con un clima subhúmedo y lluvias en verano, registra temperaturas promedio de 28°C (INEGI, 2015).

1.5 JUSTIFICACIÓN

Jojutla, Morelos es un municipio ubicado al sur de Morelos en donde predomina un clima cálido semiárido, por lo que la mayor parte del año se presentan temperaturas alrededor de los 30 °C, es por esto que diversos establecimientos de distinta índole han visto el uso de sistemas de ventilación como una necesidad para garantizar confort a sus usuarios.

El consumo de energía eléctrica de un establecimiento comercial se incrementa por los sistemas de aire acondicionado y la refrigeración de alimentos y demás productos que lo requieran, esto origina ciertos impactos ambientales por la forma actual de producir dicha energía y altos costos económicos por la tarifa eléctrica aplicada a los establecimientos comerciales. Por lo anterior, la implementación de sistemas geotérmicos pasivos, como, pozos canadienses, reducirá la necesidad de sistemas de aire Acondicionado y la implementación de SFV disminuirá la demanda y consumo de energía eléctrica.

Teniendo en cuenta lo citado anteriormente, es de suma importancia y necesario llevar a cabo proyectos sustentables en Jojutla, debido a que se pretende afrontar un problema real provocado por el alto consumo energético.

1.6 HIPÓTESIS

Un análisis de factibilidad tecno-económica-ambiental, con datos reales del caso de estudio, permitirá elaborar una propuesta de implementación de uno o más pozos canadienses y paneles solares fotovoltaicos para generar su propia energía eléctrica, contribuyendo así al ahorro energético del establecimiento y evitar la emisión de CO₂ al ambiente.

1.7 OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio de factibilidad tecno-económico-ambiental del consumo energético de un establecimiento comercial para generar estrategias y proponer la implementación de ecotecnologías sustentables.

1.7.1 Objetivos específicos

- Identificar las fuentes de consumo de energía dentro del establecimiento comercial
- Diagnosticar las funciones operacionales de las fuentes de consumo de energía dentro del establecimiento comercial
- Determinar el consumo energético del establecimiento comercial en un periodo de un año
- Realizar el balance térmico y calcular la energía necesaria para proporcionar confort térmico en el establecimiento comercial
- Evaluar la factibilidad de la implementación de uno o más pozos canadienses
- Elaborar una propuesta tecno-económica para la implementación de paneles solares fotovoltaicos en el establecimiento comercial.

1.8 ESTRUCTURA DE LA TESIS

En el capítulo I, se muestra una investigación acerca de las fuentes primarias de la producción de la energía eléctrica a nivel mundial, así como aquellos sectores que son líderes globales del consumo final de la energía, de la misma manera se presentan antecedentes relacionados a la investigación que se llevó a cabo. Por último, se presenta el panorama energético mundial y la relación entre el progreso humano y la mejora de la producción energética. En este capítulo se presentan también la hipótesis del proyecto, su planteamiento del problema, justificación, y objetivos generales y específicos.

El capítulo II, comienza planteando los objetivos del desarrollo sostenible y en cuáles de ellos la elaboración de este proyecto contribuye en su cumplimiento, posteriormente se muestra el consumo energético en edificios comerciales y como la implementación de ecotecnologías traería consigo diversos beneficios, por último, se detallan las tecnologías sustentables que se proponen en nuestro caso de estudio, su fundamento teórico, sus cuestiones técnicas y procesos de instalación.

En el capítulo III, se presenta la metodología utilizada con la que se identificaron factores como la ubicación geográfica del área de estudio, así como las condiciones climatológicas que influyen en la implementación de las ecotecnologías propuestas, además se detalla de manera precisa los pasos que se llevaron a cabo para cumplir con los objetivos propuestos.

En el capítulo IV, se presentan los resultados obtenidos, así como la interpretación de estos, se seleccionan los mejores diseños con los que se cumplieron los objetivos planteados al comienzo del proyecto, se incluyen también las discusiones en donde se comparan dichos resultados con los obtenidos con investigaciones previas.

En el capítulo V se presentan las principales conclusiones del trabajo realizado y se exponen perspectivas para futuros trabajos.

2. CAPÍTULO II

2.1 ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y ECOTECNOLOGÍAS PROPUESTAS

2.1.1 Objetivos del desarrollo sostenible

Debido al alarmante escenario al que actualmente nos enfrentamos, se han celebrado diversas cumbres mundiales las cuales han tenido como tema central el cuidado y protección del ambiente, en estas se han generado diferentes tratados y acuerdos mundiales en los que todos los participantes se comprometen a sumar esfuerzos para cumplir con dichas metas ambientales.

En el 2015, la Organización Mundial de las Naciones Unidas junto con más de 150 líderes mundiales desarrollaron la agenda 2030 para el desarrollo sostenible en el cual, se establecieron 17 objetivos (ODS), con los que se plantea encaminar a nuestra sociedad hacia un futuro sostenible, entre los que se incluyeron objetivos de distinta índole, todos en pro de beneficiar a la humanidad en general. Con lo realizado en esta investigación se busca contribuir al cumplimiento de los siguientes objetivos:

ODS 7. La producción de energía asequible y no contaminante, a través de la generación de energía con tecnologías sustentables.

ODS 11. Construcción de edificios y ciudades sostenibles, mediante una propuesta de implementación de ecotecnologías para un establecimiento comercial.

ODS 12. Producción y consumo responsables, a través de la evaluación de las funciones operacionales del establecimiento comercial.

ODS 13. Acción por el clima. Debido a que se pretende que con la implementación de las ecotecnologías se disminuya la huella de carbono del establecimiento comercial.

ODS 17. Formación de alianzas para lograr los objetivos planteados en la agenda 2030, ya que a través del acercamiento y colaboración en este caso de una institución educativa y el sector privado.

2.1.2 Consumo energético en edificaciones

Como se ha mencionado previamente, tanto el sector residencial como el NO residencial son grandes consumidores de energía, por lo tanto, se deben buscar estrategias y metodologías para disminuir su impacto ambiental derivado del alto consumo energético. “El impacto ambiental de un edificio es proporcional a la cantidad de recursos y emisiones que están relacionados con las actividades y procesos que tienen lugar en el durante su ciclo de vida”. Teniendo en cuenta lo anterior, para que un edificio pueda ser considerado sustentable, se han establecido criterios como: consumo de energía y agua, uso de suelo con valor ecológico, uso de materiales escasos, emisiones atmosféricas y de otro tipo e impactos ecológicos y de otro tipo. Todo ello en la búsqueda de una perspectiva de eficacia y racionalidad, (Rey y Velazco, 2006).

Para lograr que una edificación sea sostenible en materia energética se propone como estrategia la eficiencia energética, la cual se define como, “la reducción del consumo de energía, manteniendo los mismos servicios energéticos, sin disminuir nuestro confort térmico y calidad de vida, protegiendo el medio ambiente, asegurando el abastecimiento y fomentando un comportamiento sostenible en su uso” (Martínez-Pérez, 2017).

Alrashed y Asif, (2012) mencionan que para lograr la eficiencia energética en edificaciones es necesario seguir tres estrategias las cuales son:

- Reducir el consumo mediante tecnologías altamente eficientes.
- Generar *in situ*, el suministro que el edificio demande a través del uso de energías renovables.
- comprar *ex situ* la energía siempre y cuando esta sea generada por energías renovables.

Tal como se ha mencionado previamente y fomentando la búsqueda de la eficiencia energética en edificaciones, López-Rodríguez, (2011) sugiere que se debe tomar una tendencia a la construcción de edificios energéticamente sostenibles, donde el balance energético sea nulo o el más bajo posible, tras la implementación de técnicas bioclimáticas y energías renovables.

2.1.3 Edificios no residenciales

De acuerdo con la NOM-007-ENER-2014, se considera como edificación no residencial considera a todas aquellas obras que poseen muro, cubierta y pavimento que prestan servicios distintos de los habitacionales, tales como escuelas, hospitales, industrias, locales comerciales, oficinas, entre otros.

Según el informe de balance nacional de energía del 2017, extendido por la Secretaría de Energía, este sector consume el 17.6% de la energía total consumida en México (SENER, 2018).

2.1.4 Gasto energético de los establecimientos comerciales

Los establecimientos comerciales en América Latina están demostrando tener un desarrollo más dinámico hasta el punto de haberse convertido en un eje de oportunidades de negocios, inversión y empleo (Restrepo-Garcés et al., 2017).

Otero, (2011) y García (2011), coinciden en sus investigaciones en que el mayor consumo energético de un establecimiento comercial recae en cuatro sectores: la climatización, ya sea para el enfriamiento o calentamiento de espacios, buscando siempre el confort térmico dentro de la edificación, la iluminación, la refrigeración de alimentos, y motores eléctricos.

2.1.5 Potencial de aplicación de las Ecotecnologías en establecimientos comerciales

Ortiz y colaboradores en el 2014, propusieron la siguiente definición de ecotecnologías “Dispositivos, métodos y procesos que propician una relación armónica con el ambiente y buscan brindar beneficios sociales y económicos tangibles a sus usuarios, con referencia a un contexto socio-ecológico específico”.

El contexto actual en el que las empresas necesitan alcanzar mayor competitividad en sus procesos, demanda eficiencia en la gestión de la energía consumida, los edificios del sector necesitan soluciones acordes a su entorno y que garanticen beneficios económicos (Restrepo-Garcés et al., 2017). Por lo que la implementación de ecotecnologías para reducir su consumo energético se presenta como una alternativa real para que los edificios de este sector

contribuyan en el cumplimiento de los objetivos del desarrollo sostenible establecidos en la agenda 2030.

2.1.6 Energía geotérmica

La energía geotérmica es una energía renovable, que se encuentra almacenada bajo la superficie terrestre en forma de temperatura constante a lo largo del año, por lo tanto, puede ser definida como: “la energía calorífica que la tierra transmite desde sus capas internas hasta la parte más externa de la corteza terrestre”, esta energía renovable tiene un gran potencial de utilización, tanto como para usos térmicos a nivel doméstico como a escala industrial para la generación de energía eléctrica, (Fernández, et al., 2016). Sin embargo, el uso para climatización es la que más se ha afianzado a nivel global, en 1930 Islandia fue el primer país en organizar un servicio de calefacción geotérmica doméstico a gran escala, concretamente en la ciudad de Reykjavic. En la década anterior ya se había empezado a utilizar la geotermia para calentar invernaderos (Cárcel y Martínez, 2015).

2.1.7 Clasificación de la energía geotérmica

La clasificación y posterior aprovechamiento de la energía geotérmica dependerán de la profundidad del yacimiento y por lo tanto de su temperatura, como se muestra en la Tabla 1 (Cárcel y Martínez, 2015).

Tabla 1. Clasificación de la energía geotérmica Cárcel y Martínez (2015).

Tipo de yacimiento		Rango de temperatura	Uso principal
Muy baja entalpía	Subsuelo con o sin agua	$5^{\circ}\text{C} < T < 30^{\circ}\text{C}$	Climatización
	Aguas subterráneas	$10^{\circ}\text{C} < T < 30^{\circ}\text{C}$	
Baja entalpía	Aguas termales	$22^{\circ}\text{C} < T < 50^{\circ}\text{C}$	Balnearios, Acuicultura
	Zonas volcánicas	$T < 100^{\circ}\text{C}$	Calor de distrito
	Almacenes sedimentarios profundos		
Media entalpía		$100^{\circ}\text{C} < T < 150^{\circ}\text{C}$	Electricidad
			Ciclos binarios
Alta entalpía		$T > 150^{\circ}\text{C}$	Electricidad

Como se aprecia en la Tabla 1, el uso para climatización se dará a partir de la energía geotérmica de muy baja entalpía, en donde los rangos de temperatura oscilan entre los 5° C a 30°C (Cárcel y Martínez, 2015). En el presente trabajo se propone la utilización de la tecnología conocida como pozos canadienses.

2.1.8 Pozos canadienses o intercambiadores de calor tierra-aire

La temperatura del suelo a lo largo del día se encuentra cerca de los 25 °C en los primeros metros de profundidad, teniendo así menos variaciones que la atmosfera como se muestra en la Figura 3 (Díaz, 2017). Los pozos canadienses aprovechan esta diferencia de temperaturas, utilizando intercambiadores de calor, ya sean tierra-agua o tierra-aire. Esta ecotecnología consta de un sistema de tuberías enterrados en el subsuelo a dos metros de profundidad, Los intercambiadores de calor suelo - aire, como lo son los tubos enterrados, son óptimos porque permiten utilizar las inercias térmicas diarias y estacionales existentes en el subsuelo. Es decir, se aprovecha la característica del suelo de mantener la temperatura interior frente a los cambios exteriores, (Carro et al., 2018).

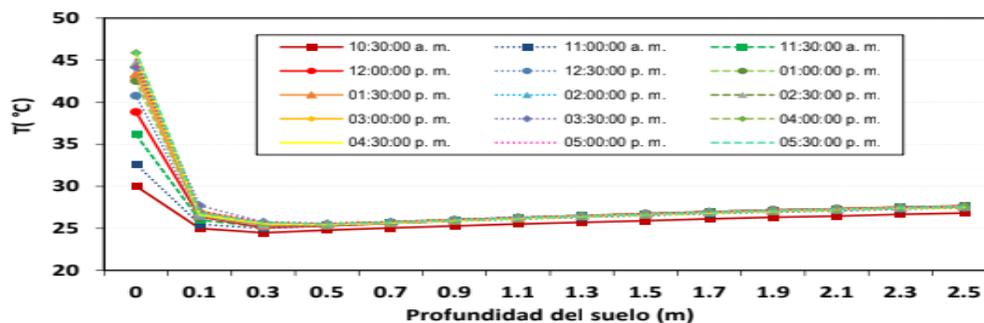


Figura 3. Temperatura del suelo a lo largo del día. Díaz, P. (2017).

2.1.9 Confort térmico

“El confort térmico es la manifestación subjetiva de conformidad o satisfacción con el ambiente térmico existente. Está relacionado con el balance térmico del cuerpo humano” por lo tanto, las condiciones ambientales presentes en un espacio determinado influyen en las actividades que se realizan en un espacio cerrado, en caso de que este confort no exista se ve afectado el rendimiento de los habitantes del edificio (Piñeda y Montes 2014). Por lo que asegurar dicha condición garantizará una mayor eficiencia de los empleados del

establecimiento comercial, así como también mejora la estancia de los clientes visitantes, quienes al hallar estas condiciones climáticas adecuadas se incrementa el tiempo que permanecen dentro de la edificación.

2.1.10 Tipo de material de los conductos

En los conductos se ha utilizado diversos tipos de plásticos (PVC, polipropileno, etc.), hormigón pretensado, cerámica, ductos metálicos galvanizados, etc. El material debe ser suficientemente resistente al aplastamiento cuando el ducto es enterrado. Los ductos corrugados presentan una mayor resistencia estructural pero también mayor impedimento al flujo y mayor posibilidad de encharcamiento del agua de condensación (Cabezas, 2013).

2.1.11 Condiciones del suelo

Para que el suelo pueda cumplir con un rol de intercambiador de calor, debe tener dos propiedades, las cuales son: conductividad térmica, que se define como la habilidad de conducir calor de mayor a menor temperatura, lo que le permite mantener una temperatura estable y capacidad calorífica, que se define como la propiedad de retener calor, cuando se sufra algún cambio de temperatura (Cabezas, 2013).

2.1.12 Profundidad

A mayores profundidades mayor rendimiento. Como valores típicos pueden considerarse profundidades comprendidas entre los 1.5 y los 3 m. Los ductos pueden ubicarse bajo el propio edificio o en el terreno colindante al mismo. Para aplicaciones en que el sistema deba funcionar durante un número importante de horas la profundidad mínima recomendada es de 3 m (Díaz, 2017).

2.1.13 Mantenimiento

Los intercambiadores deben estar equipados con filtros que impidan la entrada de partículas a la zona climatizada. El mantenimiento de estos debe ser el adecuado. Los filtros deberán cambiarse periódicamente. El uso de filtros opacimétricos, que retienen el polvo y el polen es frecuente. El control de las bocas interiores debe hacerse al mismo tiempo que las exteriores. Una limpieza quincenal es aconsejable. Para el mantenimiento a largo plazo debe

considerarse que la vida útil de los ventiladores impulsores suele situarse entre los 15 y 20 años (Arcos, 2016).

2.1.14 Tipos de pozos canadienses

Existe más de una manera de implementar esta tecnología, esto dependerá de la aplicación que se le dará:

Directos o aislados: su mayor aplicación es en viviendas familiares y/o construcciones pequeñas, se necesita de un área grande para su instalación puesto que el sistema utiliza un ducto como sistema de intercambio de calor. La profundidad de colocación varía entre 1.5 y 3 m. Su instalación está formada por uno o dos Ductos, que están direccionados hacia la cámara central, en donde se encuentra el ventilador que impulsa todo el sistema, y esta a su vez se conecta directamente a la torre de salida del aire. El material de los ductos puede ser de PVC con chapa de acero (Cabezas, 2013).

Rejilla: es utilizado cuando la distribución tipo aislada no se puede realizar debido a que la longitud total de los ductos es muy grande porque existe un mayor volumen de flujo requerido, renovaciones y confort térmico. Como su nombre lo indica, los ductos se colocan en forma de una rejilla y están unidos a dos cámaras de aire (ingreso y salida de aire). Las tuberías de ingreso de aire (superficiales) son de grandes diámetros, mientras que los ductos enterrados, por lo general a 3.0 m de profundidad, tienen un diámetro menor para lograr disminuir la velocidad de paso del fluido y maximizar el intercambio de energía, el material utilizado para los ductos verticales (ingreso y salida del aire) y los que conforman la rejilla varía dependiendo de los requerimientos del proyecto, pero por lo general pueden ser de PVC y/o de hormigón. Este tipo de sistemas son colocados en edificaciones de gran escala (Cabezas, 2013).

2.1.15 Balance térmico

Para obtener el balance térmico en edificaciones se debe determinar las ganancias y pérdidas de calor (cargas térmicas). Con estas se puede conocer la cantidad de calor que hay que suministrar o remover del ambiente, para poder compensar las pérdidas o ganancias, el término ganancias se refiere a los elementos o actividades que aporten calor, por ejemplo: los motores, el calor emitido por los ocupantes, entre otros; además de ganancias por

conducción a través de superficies acristaladas. Las pérdidas, hacen referencia a las fugas de aire caliente, voluntarias o involuntarias, a través de muros y techos, pérdidas por flujo de aire indeseado por rendijas de aberturas y por renovaciones de aire (Carro et al., 2018).

2.1.16 Ventajas del sistema

- La inversión inicial del pozo canadiense es menor a la inversión necesaria para la instalación de sistemas de aire acondicionado
- Reduce las necesidades energéticas del establecimiento
- Se trata de un sistema duradero y sostenible
- El mantenimiento que requiere es mínimo
- No presenta costos de operación

2.1.17 Energía geotérmica en México

México ocupa el cuarto lugar a nivel mundial en potencial aplicable para energía geotérmica, ya que cuenta con el segundo yacimiento más grande del mundo y actualmente cuenta con cuatro campos geotérmicos, ubicados en: Cerro Prieto Baja California, Los Azufres Michoacán, Los Hornos Puebla y La tres Vírgenes en Baja California Sur, en los que se ha reportado en la literatura se producen 950 MW anuales de energía (infobae, 2020).

La energía geotérmica es muy versátil ya que, además de generar electricidad, se puede producir con ella etanol, biocombustibles e hidrógeno. También se utiliza para secar textiles, en sistemas de Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado (HVAC, por sus siglas en inglés), secado de maderas, cemento, carbonatación de bebidas, entre otras aplicaciones (infobae, 2020).

2.1.18 Energía solar

“La energía solar directa es la energía del sol sin transformar, que calienta e ilumina.”
(Méndez y Cuervo, 2007).

La radiación solar que llega a la Tierra es de 900 W/m², cantidad equivalente a 2,000 veces el consumo energético mundial, la distribución de la energía solar no es uniforme y los factores de que depende ésta son, por un lado, la hora del día, la latitud del lugar y la

orientación de la superficie receptora, y por otro, las condiciones climatológicas. Los primeros factores son perfectamente calculables, pero las condiciones climáticas sólo son predecibles en términos estadísticos (Perales, 2012).

Por lo anterior, para obtener una mayor eficacia de este recurso, es necesario implementar sistemas de captación y almacenamiento. Existen diferentes maneras en las que se puede aprovechar la energía solar, tales como: energía solar térmica y energía solar fotovoltaica (FV), la cual permite transformar la radiación solar en energía eléctrica mediante células fotovoltaicas, (Méndez y Cuervo, 2007).

2.1.19 Energía solar fotovoltaica

El efecto fotovoltaico es la conversión de luz en energía eléctrica. Este proceso se logra con materiales que tienen la propiedad de absorber fotones y liberar electrones, cuando los electrones libres son liberados se produce una corriente eléctrica que puede utilizarse como electricidad a través de cables de alta tensión (Méndez y Cuervo, 2007).

La energía solar fotovoltaica es una fuente inagotable y es la forma más directa de producir electricidad a través de la radiación solar, sin ruido ni GEI, puede ser un competidor eficiente y real frente a las fuentes tradicionales, como los combustibles fósiles o la energía nuclear. “La eficiencia de una célula solar se define por la proporción de radiación solar que llega a la superficie de la célula” (Hernández *et al.*, 2012).

2.1.20 Ventajas del uso de la energía solar fotovoltaica

Entre las ventajas que la energía solar fotovoltaica ofrece, Romero, (2010) enuncia las siguientes:

- Un inmenso potencial.
- Un balance energético muy positivo, pues genera entre 10 y 20 veces más energía (dependiendo de las tecnologías y la locación de la instalación) de la que se necesitó para producirlas.
- Su instalación es viable en cualquier lugar, ya que pueden producir energía, incluso con los niveles mínimos de luz solar.
- Pueden operar durante varias décadas, con su respectivo mantenimiento.

- El valor máximo de su producción, normalmente se genera al medio día, justo cuando la demanda energética es mayor, de esta manera se aplana el pico de la demanda y se reduce el precio de la electricidad, así como también se necesitará menor inversión en las redes eléctricas de distribución.

2.1.21 Sistemas solares bifaciales

En la actualidad se buscan aquellas tecnologías que puedan tener un mayor rendimiento en el aprovechamiento de la energía, es por eso que para fines de esta investigación se recomienda el uso de sistemas fotovoltaicos bifaciales, ya que estos generan energía eléctrica a partir de la luz incidente de ambos lados del panel, por lo que rinden hasta un 30% más en la obtención de la energía, para sacar mayor provecho de estos sistemas bifaciales se debe contar con una superficie preferentemente de colores claros, ya que estas tienen una mayor reflectancia de hasta un 60% sobre los colores oscuros, además de salvaguardar una distancia considerable para tener mejor aprovechamiento de la reflectancia (Targalia, 2019).

2.1.22 Energía solar en México

México cuenta con un alto potencial para el aprovechamiento de la energía solar y es que recibe una radiación solar promedio de 5.5 kWh/m², energía suficiente para abastecer la demanda energética de una casa promedio de 5 integrantes y actualmente en territorio nacional existen 44 parques solares ubicados en 14 entidades diferentes del país (infobae, 2020). De acuerdo con Energeka (empresa de consultoría, diseño e instalación de paneles y energía solar), los paneles solares en México son modernos dispositivos que cuentan con la tecnología para aprovechar la energía radiativa proveniente del sol, para transformarla en energía eléctrica, y así satisfacer la demanda energética en ciudades o en zonas rurales (Infobae, 2020).

3. CAPÍTULO III

3.1 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

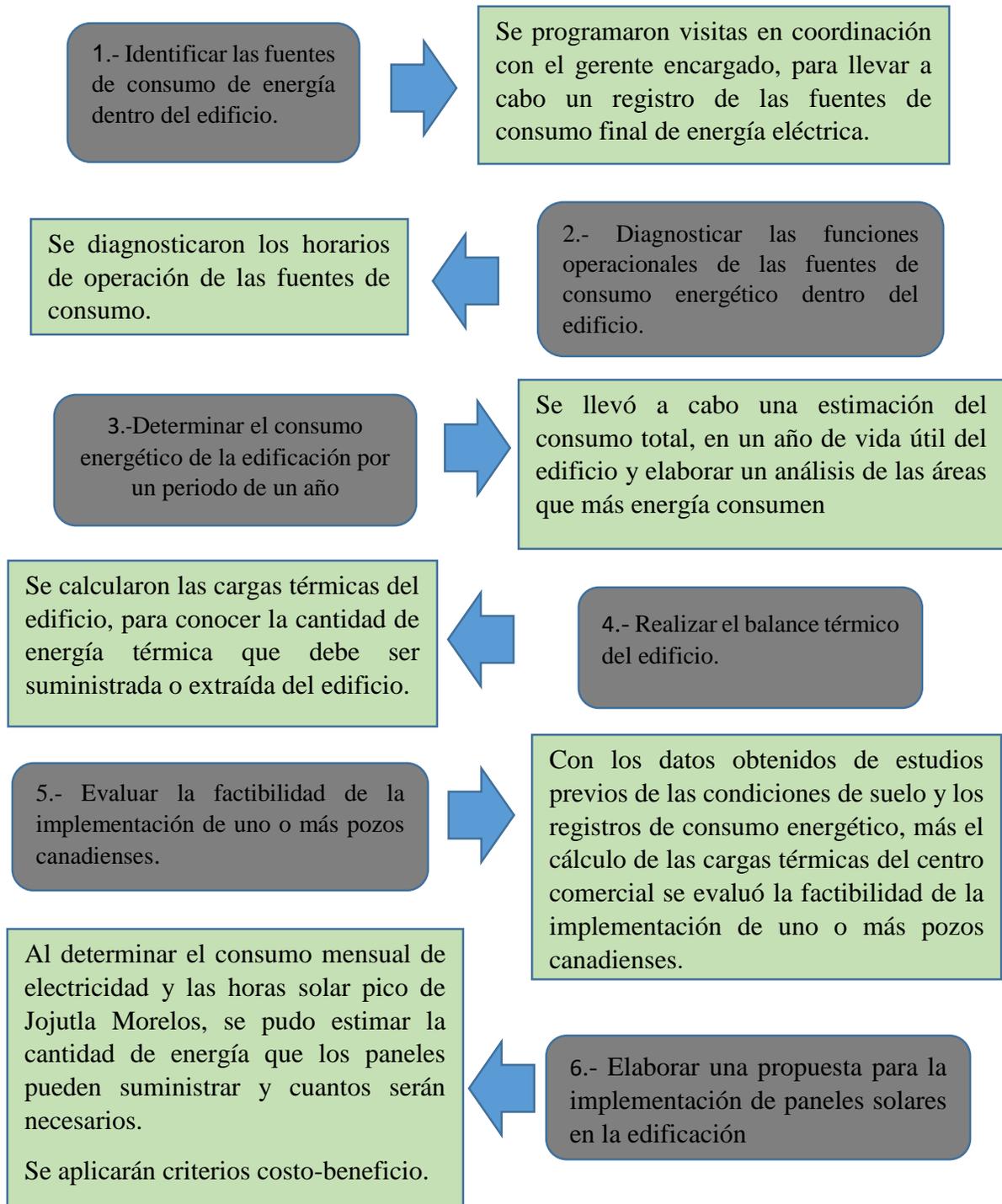
Se identificó la zona de estudio, así como sus condiciones climatológicas, tales como el recurso solar, la velocidad del viento, la humedad relativa, la temperatura promedio, etc. ya que estas características únicas del lugar influyen en los diseños que se propusieron.

Se prosiguió a identificar los aparatos de consumo de energía dentro del establecimiento comercial, así como su potencia unitaria, potencia total instalada y sus tiempos de operación. Posterior a esto se estimó el consumo energético diario, mensual y anual, una vez se obtuvo este dato se calculó el costo económico que le genera su consumo al establecimiento comercial, esto gracias a la previa investigación de la tarifa impuesta por kWh dada por la comisión federal de la electricidad.

Se continuó con la realización del balance térmico para seleccionar el mejor diseño de los pozos canadienses, después se elaboró una propuesta técnica y económica para la implementación del sistema solar fotovoltaico. Para determinar el tiempo de retorno de la inversión de la infraestructura implementada, se tomaron los datos de la tarifa mensual de la energía eléctrica y se compararon con el costo de la implementación de los paneles solares fotovoltaicos y los pozos canadienses, por lo que la inversión para dichas energías renovables se dividió en periodos mensuales para saber el tiempo de retorno de la inversión.

Por último, se realizó un estudio ambiental en el que se determinó la cantidad de emisiones de CO₂ equivalente que se evitaría al implementar las ecotecnologías propuestas en este estudio.

3.1.3 ESTRATEGÍA EXPERIMENTAL



3.1.4 Área de estudio

Jojutla es un municipio ubicado al sur del estado de Morelos, cuenta con una superficie total de 153.942 km², la cual representa el 3.2% del territorio total de Morelos, se encuentra a 882 msnm, tiene una población total de 55,115 habitantes y entre sus principales actividades económicas se enlistan las siguientes: la agricultura, misma que se basa en la siembra de la caña de azúcar y arroz, además de otro tipo de cultivos, la ganadería, a través de la producción de carne, lácteos y sus derivados y por último se encuentra el comercio, el cual es sustento de gran parte de la población en general (INEGI, 2015).

A pesar de que Jojutla apenas representa una mínima parte de Morelos, lo cierto es que, al sur del Estado, es el municipio más representativo e importante de la región, y, por ende, tiene una mayor proyección económica que cualquiera de los municipios colindantes, por lo tanto, históricamente y hasta el día de hoy, Jojutla ha sido un lugar muy atractivo para realizar grandes inversiones. Una de dichas inversiones se ve reflejada en el establecimiento comercial más grande e importante de la región sur del Estado de Morelos, como lo es el edificio en donde se llevará a cabo esta investigación (Figura 4), el cual pertenece a la franquicia de Soriana y está ubicado en las coordenadas 18.6177, -99.1922.



Figura 4. Imagen satelital del establecimiento comercial

3.1.5 Condiciones climatológicas

Jojutla presenta un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano que oscilan entre los 800-1000 mm al año y presenta una temperatura promedio de 28 grados Celsius (NASA, 2020).

3.1.6 Descripción general del establecimiento comercial

El establecimiento comercial se encuentra edificado en un polígono irregular de 6,879 m², cuenta con dos entradas de vidrio orientadas este-oeste (Figura 5 y 6), tiene un aforo promedio de 2,500 personas y opera en un horario de 10:00 am a 10:00 pm.



Figura 5. Entrada principal orientada al este.



Figura 6. Entrada trasera orientada al oeste.

3.2 Factores por considerar para la realización del proyecto

3.2.1 Factores geográficos

Para contribuir al ahorro energético de una edificación, y buscar la eficiencia energética, existen diferentes estrategias bioclimáticas (la práctica de construir coherentemente y en

apego a las condiciones climáticas o naturales propias del sitio). A dicha arquitectura se le conoce como principal fundamento el aprovechamiento del clima a favor de la edificación (Conforme-Sambrano, 2016). Por lo tanto, se considera a estas estrategias, el primer paso para conseguir una eficiencia energética, seguidas por las tecnologías eficientes y las energías renovables, sin embargo, si la arquitectura bioclimática no se lleva a cabo de manera correcta, afectará a los siguientes pasos.

Dentro de los factores que se deben tomar en cuenta se encuentran los siguientes: ubicación del sitio y las condiciones climatológicas (cantidad de lluvia anual, recurso solar, días nublados, temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento y oscilación de la temperatura durante el día) (Guerra, 2013).

3.2.2 Factores de la edificación

Son aquellos que están dentro del edificio, así como los materiales de construcción, la orientación geográfica o las dimensiones de este, ya que todo esto puede afectar a las ganancias o pérdidas de calor: la envolvente del edificio juega un papel determinante para la retención o liberación de calor dependiendo de las necesidades que se tengan en el sitio. Además, las dimensiones del edificio también son un factor importante ya que, a mayor tamaño, será mayor la energía térmica que se necesita al interior de este (Constantini, 2016). Orientación y ventilación natural, este par de factores se ven entrelazados, ya que para que exista una correcta ventilación natural se debe orientar la edificación pensando en obtener los mayores beneficios de los vientos, ya sea para que exista una renovación del aire en climas cálidos y, por lo tanto, disminuir la temperatura interna o en casos contrarios para evitar que haya infiltraciones de aire en climas fríos y pueda escapar el calor del interior al exterior del edificio (Hornero, 2013). La cantidad promedio de ocupantes que se tienen durante el día, ya que estos son emisores de energía térmica por lo que incrementan la temperatura interna del edificio (Arballo *et al*, 2019).

3.2.3 Factores energéticos

La cantidad de aparatos eléctricos y sus tiempos de operación determinarán el consumo de la edificación y el gasto económico que genera su uso. Además, que este tipo de aparatos también son emisores de calor, por lo que también es un factor importante para realizar el balance térmico.

3.3 IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE CONSUMO Y DIAGNÓSTICO DE LAS FUNCIONES OPERACIONALES

Se identificaron tres de las cuatro áreas que mayor energía consumen en los edificios de esta naturaleza, las cuales son: iluminación, climatización, y refrigeración de alimentos, lo que se logró a través de visitas guiadas y entrevistas realizadas al gerente encargado del establecimiento comercial. Se documentó la potencia unitaria instalada y la energía total consumida, misma que está documentada en el apartado de resultados en la Tabla 2.

Se puede destacar la presencia de tragaluces en el techo de la edificación lo que proporciona iluminación natural durante la mayor parte del día, así como el gran número de sistemas de aire acondicionado.

3.4 CONSUMO ANUAL ESTIMADO

Para determinar el consumo estimado de la edificación se investigó la tarifa eléctrica que se le aplica a este establecimiento comercial y con los datos obtenidos en la Tabla 2 y el conocimiento de la tarifa pagada por kWh se pudo determinar el gasto estimado mensual y anual del consumo total de la edificación, así como el consumo energético mensual y anual por cada una de las tres áreas.

3.5 BALANCE TÉRMICO

Para realizar el balance térmico deben estimarse las cargas térmicas que presenta el edificio, ya que esto determinará la cantidad de energía térmica que deberá ser suministrada para brindar confort térmico al interior del edificio (Carro et al., 2018), para esto se deben considerar los siguientes factores:

Se debe seleccionar el diámetro de la tubería a utilizar, identificar sus propiedades, como espesor del ducto, su conductividad térmica y determinar su área total.

3.5.1 Factores propios de la edificación

Se debe conocer el área total a la que se busca brindar confort térmico, para posteriormente calcular el volumen total de la edificación, después se debe determinar la cantidad de metros cúbicos por hora que se buscan climatizar, para esto se utilizarán las Ecuaciones 1 y 2:

$$Volumen = L * A * h$$

Ecuación 1

Donde:

L: Largo (m)

A: Ancho (m)

h: Altura (m)

$$qT = \frac{\text{volumen total}}{\text{Horas de operación del establecimiento comercial}}$$

Ecuación 2

Donde::

qT volumen a climatizar por hora (m³/h)

3.5.2 Factores climáticos

Para continuar con el análisis del balance térmico se debe tener conocimiento del porcentaje de la humedad relativa y velocidad del viento presentes en Jojutla, Morelos, para conocer estos datos se hará uso de la página de la NASA.

Una vez que se tengan estos datos se procede a determinar el caudal de fluido que pasará a través de la tubería para brindar confort térmico al interior de la edificación. El caudal de aire está dado por la Ecuación 3.

$$qt = (\text{Área del ducto } m^2) * (\text{Velocidad del viento } m/s)$$

Ecuación 3

Donde:

qt = Caudal de fluido (m³/h)

Con el valor obtenido se calcula el número de ductos que serán necesarios para brindar confort térmico al interior del edificio, resultado que se obtiene de la Ecuación 4:

$$n \text{ ductos} = \frac{qT}{qt}$$

Ecuación 4

El resultado debe ser redondeado al entero superior inmediato.

Lo siguiente será determinar la longitud de cada uno de los ductos por donde circulará el caudal de fluido, para esto, primero se debe determinar la temperatura media del aire interno del ducto (Ecuación 5).

$$T_{ma} = \frac{T_{ae} + T_{as}}{2}$$

Ecuación 5

Dónde:

T_{ma}: Temperatura (°C) media interna del ducto

T_{ae}: Temperatura de entrada al ducto (°C) (T ambiente)

T_{as}: Temperatura de salida (°C)

Se debe evaluar el intercambio de calor entre el suelo y el aire que circula al interior del ducto, para esto, se calcula la resistencia térmica del conducto, la cual está dada por la suma de la resistencia de convección y resistencia de conducción.

Para determinar la resistencia de conducción se necesita el espesor del ducto y su conductividad térmica, con estos valores se hace uso de la Ecuación 6.

$$R_{cond.} = \frac{e}{\lambda}$$

Ecuación 6

Dónde:

R_{cond}: Resistencia de conducción (m²/W)

e: Espesor del ducto (m)

λ: Conductividad térmica del Ducto (W m²)

Para obtener la resistencia de convección se toman en cuenta los valores de la velocidad del viento y está dada por la Ecuación 7:

$$R_{conv} = \frac{1}{(5.55) * (velocidad\ del\ viento)^{0.8}}$$

Ecuación 7

El paso siguiente será determinar el flujo de calor medio por unidad de superficie el cual se enuncia con la Ecuación 8.

$$\phi m = \frac{T_{ma} - T_{tierra}}{R}$$

Ecuación 8

Después de lo anterior se determina la cantidad de energía que debe retirarse del aire interno del ducto, para esto, se necesita conocer la humedad relativa y temperatura de entrada y salida del sistema de tuberías, para que con la carta “psicométrica” se obtengan los valores de la

entalpía del aire seco y el volumen “especifico” del aire, una vez que se conozcan ambos valores se podrá determinar la energía a retirar con ayuda de la Ecuación 9.

$$Ee = \frac{i}{(Ve)_{entrada}} - \frac{i}{(Ve)_{salida}}$$

Ecuación 9

Donde:

Ee: Energía a retirar del aire interno del ducto (kJ/m³)

i: Entalpía del aire seco (kJ/kg)

Ve: Volumen “especifico” del aire (m³/kg)

Como penúltimo paso, se debe determinar el área de intercambio total A (m²) y esta está dada por la Ecuación 10.

$$A = \frac{Ee * qt}{\phi m}$$

Ecuación 10

Por último, se debe determinar la longitud de cada uno de los ductos que estarán colocados a 3 m de profundidad del suelo y se utilizan los valores de S y el diámetro de los ductos seleccionados (D), como se expresa en la Ecuación 11.

$$L = \frac{A}{\pi D}$$

Ecuación 11

3.6 EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UNO O MÁS POZOS CANADIENSES

Para este punto se debe tener en consideración tres factores fundamentales, los cuales se mencionan a continuación:

- **Tipo de suelo presente en el terreno:** para determinar si sus condiciones son óptimas para funcionar como intercambiador de calor.
- **Espacio suficiente para instalar las ecotecnologías:** la existencia del espacio dentro de los límites del terreno, que sirva como recinto de las ecotecnologías.
- **Resultados del balance térmico:** para determinar el número y diámetro de los ductos, ya que de esto dependerá el tamaño del caudal de fluido para proporcionar confort térmico al edificio (Arcos, 2016).

3.7 PROPUESTA PARA LA INSTALACIÓN DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS

Para determinar si el uso de sistemas solares fotovoltaicos es viable en Jojutla se investigaron y tomaron en cuenta los siguientes factores:

- Cantidad de días de sol
- Cantidad de días nublados
- Precipitación anual promedio
- Consumo diario (W)
- Recurso solar (kWh/m²)
- Temperatura máxima
- Inclinación óptima
- Potencia pico total del diseño fotovoltaico (Pp)
- Número de paneles fotovoltaicos
- Selección del inversor adecuado
- Número de paneles conectados en serie y paralelo

3.7.1 Inclinación óptima

Una inclinación adecuada de los paneles fotovoltaicos garantizará una máxima eficiencia en la conversión de la luz solar en energía eléctrica, esta inclinación está en función de la latitud de la región seleccionada y está dada por la Ecuación 12.

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69|\phi|$$

Ecuación 12

Donde:

β_{opt} : Es el ángulo de inclinación óptima (grados sexagesimales)

$|\phi|$: Es la latitud del lugar (grados sexagesimales)

3.7.2 Eficiencias

Se considera una eficiencia del inversor seleccionado del 95% y 97% de eficiencia del cableado por caída de tensión del 3%. Posteriormente se calcula la eficiencia total.

3.7.3 Rendimiento térmico

Los paneles fotovoltaicos están diseñados para brindar una máxima eficiencia a determinada temperatura estándar. Sin embargo, la temperatura fluctúa en función de la zona en donde se realice el estudio. Para esto debe conocerse la temperatura máxima alcanzada en Jojutla, Morelos, dato que se obtendrá de la página de la NASA y para determinar el rendimiento térmico se utilizará la ecuación 13.

$$T_c = T_{amb} + C1 * G$$

Ecuación 13

Donde:

T_c: Temperatura de celda

T_{amb}.: Temperatura máxima alcanzada en Jojutla, Morelos

C1: temperatura nominal de la celda cuando es sometida a una radiación de 800 W/m² distribución espectral de AM 1.5, temperatura ambiente de 20 °C y velocidad de viento de 1 m/s, (TOCN = 45°C).

G: radiación medida, la cual dependerá del periodo en que se encuentre (G = 1000 W/m²).

Primero se debe conocer C1 y se obtiene con la Ecuación 14.

$$C1 = \frac{45 - 20}{800} = 0.03125$$

Ecuación 14

3.7.4 Determinar pérdida de potencia por temperatura

Para esto se debe aplicar la ecuación 15.

$$\Delta P = (0.47 \% / ^\circ C) * (\Delta T)$$

Ecuación 15

Donde:

ΔT: Diferencia de temperaturas en °C

Para obtener el diferencial de temperatura se debe aplicar la Ecuación 16:

$$\Delta T = T_c - T_{ce}$$

Ecuación 16

Donde:

Tce: Temperatura a condición estándar en °C

El siguiente paso será determinar la potencia máxima real que pueden suministrar los paneles para lo que se utilizara la Ecuación 17.

$$Potencia\ maxima = (Pot.\ panel) - (\Delta T)$$

Ecuación 17

Por último, para obtener el rendimiento térmico que estará dado por la potencia máxima calculada dividida entre la potencia nominal del panel (Ecuación 18).

$$RT = \frac{Potencia\ maxima}{Potencia\ nominal}$$

Ecuación 18

3.7.5 Dimensionamiento de la potencia máxima a instalar

Para determinar la potencia total en kWh que se deben suministrar, se debe conocer el consumo diario, el rendimiento térmico y la eficiencia total.

3.7.6 Selección del inversor

El inversor será escogido en función de la potencia máxima a instalar. El criterio para seleccionarlo es que la potencia máxima de entrada sea igual o mayor a la potencia máxima generada por los paneles fotovoltaicos. En caso de que se tenga una potencia máxima muy alta, se escogerán varios inversores de menor tamaño para que sumados cubran la demanda requerida (Moro, 2010).

3.7.7 Conexiones en serie y paralelo

En la conexión en paralelo, se conectan todos los polos positivos y por separado todos los polos negativos, por consiguiente, las tensiones se acumulan mientras que las corrientes se mantienen. Mientras que para las conexiones en serie se conecta un polo positivo de un módulo negativo con el positivo del siguiente, por lo que se logra aumentar la corriente, la tensión inicial se mantiene (Pareja, 2010).

4. CAPÍTULO IV

4.1 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE CONSUMO Y DIAGNÓSTICO DE LAS FUNCIONES OPERACIONALES

Para determinar la energía consumida por iluminación, aire acondicionado y refrigeración de alimentos se realizó un inventario de los dispositivos que demandan energía eléctrica. En consecuencia, la Tabla 2 muestra el consumo energético y las funciones operacionales de los dispositivos instalados en el supermercado, estos se enlistan por cantidad, horas de operación, potencia unitaria (W), el total de la potencia instalada para cada uno de los aparatos de consumo y su horario de operación con esto se. Las observaciones son:

- El establecimiento cuenta con 144 tragaluces ubicados en el techo de la edificación, por lo que posee iluminación natural.
- Con base en observaciones y visitas frecuentes realizadas en 2021 al centro comercial se identificó que: el sistema de aire acondicionado es utilizado incluso en invierno. En este sentido, los intercambiadores de calor tierra aire (EAHE) cumplirían con el objetivo de reducir el consumo energético.
- Ante esto la energía solar fotovoltaica, cumplirá un papel fundamental al remplazar o complementar el suministro proveniente de la red eléctrica.

Tabla 2. Fuentes de consumo y diagnóstico de sus funciones operacionales

Aparato de consumo	Cantidad	Horas de operación	Potencia unitaria (W)	Potencia instalada (W)	Energía por día (kWh)
Luminarias	261	6 horas	40	10,440	62.640
Sistema de aire acondicionado	30	10 horas	1,500	45,000	450
	10 muros refrigerantes	13 horas	330	3,330	43.29
	36 refrigeradores	24 horas	70	2,520	60.48
Refrigeración de alimentos	3 conservadores de hielo	24 horas	220.375	661.125	15.867
	3 cámaras frías	24 horas	640	1,920	46.08
	6 vitrinas refrigerantes	13 horas	164.12	984.72	12.801
	4 congeladores de helados	24 horas	100	400	9.6
TOTAL					700.758 kWh/día

Aunque el edificio cuenta con iluminación natural, es pertinente considerar el horario de operación de las luminarias (6:30 am – 7:30 am y 7:00 pm – 12:00 am) durante el verano, debido a que en esta temporada se cuenta con días de hasta 12 horas de sol, por lo que se recomienda encender las luminarias a las 7:30 pm, en ese caso se tendría un consumo por iluminación de 57.420 kWh/día y un ahorro de 4.820 kWh/día, lo que se traduce en un ahorro anual de 1,759.3 kWh.

4.1.2 CONSUMO ANUAL ESTIMADO

El consumo total de la edificación es de 700.758 kWh/día.

La tarifa que paga el supermercado por consumo de energía eléctrica se denomina servicio doméstico de alto consumo (DAC), la cual establece un costo de \$4.88/kWh (CFE Tarifas, 2021). Con base en los datos presentados en la Tabla 2 y el tipo de tarifa que paga el supermercado por consumo de energía eléctrica se estimó el consumo energético mensual y anual promedio para cada una de las áreas. El consumo y costo mensual se muestran en la Tabla 3 y representan una estimación obteniendo un promedio del consumo mensual de la edificación.

Tabla 3. Gasto y consumo total estimado de la edificación anual

Mes	Días	Consumo total kWh	Costo mensual \$
Enero	31	21,723.49	106,010.14
Febrero	28	19,621.22	95,751.55
Marzo	31	21,723.49	106,010.14
Abril	30	21,022.74	102,590.97
Mayo	31	21,723.49	106,010.14
Junio	30	21,022.74	102,590.97
Julio	31	21,723.49	106,010.14
Agosto	31	21,723.49	106,010.14
Septiembre	30	21,022.74	102,590.97
Octubre	31	21,723.49	106,010.14
Noviembre	30	21,022.74	102,590.97
Diciembre	31	21,723.49	106,010.14
Total		255,776.61	1,248,186.41

Por otra parte, en la Tabla 4 se muestra el gasto estimado mensual y anual del consumo total de la edificación.

Tabla 4. Costo mensual estimado de cada uno de los sectores identificados.

Mes	Climatización	Iluminación	Refrigeración de alimentos
Enero	\$68,076.00	\$9,476.18	\$28,458.49
Febrero	\$61,488.00	\$8,559.13	\$25,704.44
Marzo	\$68,076.00	\$9,476.18	\$28,458.49
Abril	\$65,880.00	\$9170.50	\$27,540.47
Mayo	\$68,076.00	\$9,476.18	\$28,458.49
Junio	\$65,880.00	\$9170.50	\$27,540.47
Julio	\$68,076.00	\$9,476.18	\$28,458.49
Agosto	\$68,076.00	\$9,476.18	\$28,458.49
Septiembre	\$65,880.00	\$9170.50	\$27,540.47
Octubre	\$68,076.00	\$9,476.18	\$28,458.49
Noviembre	\$65,880.00	\$9170.50	\$27,540.47
Diciembre	\$68,076.00	\$9,476.18	\$28,458.49
TOTAL	\$801,540.00	\$111,572.39	\$335,051.15

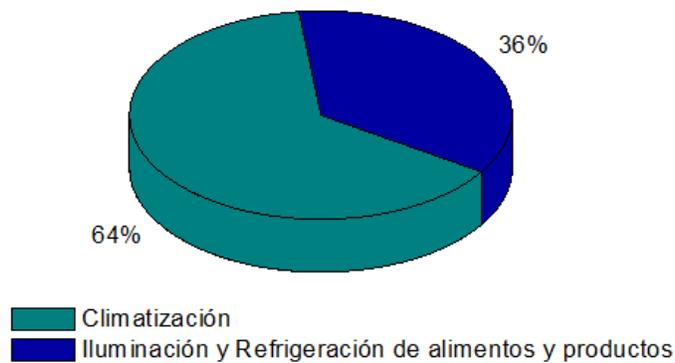


Figure 7. Comparación en porcentajes de la climatización vs refrigeración de alimentos e iluminación.

En la Figura 8 se observa el porcentaje del consumo energético y gasto económico para cada una de las tres áreas identificadas.

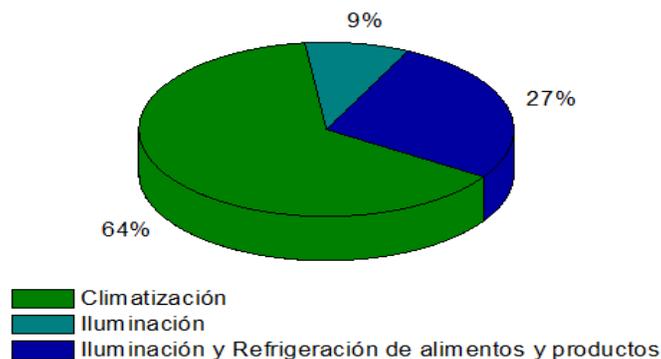


Figura 8. Porcentajes de la iluminación, climatización y refrigeración de alimentos y productos.

En la Figura 7 se observa que el consumo energético por climatización es superior a la suma del consumo por iluminación y refrigeración de alimentos, siendo estos de 13,950 kWh/mes 7,773.49 kWh/mes, respectivamente, este es el consumo estimado en un periodo mensual de 31 días.

Morillón y colaboradores (2015) determinaron los porcentajes para el uso de energía final en distintos tipos de edificios y climas en México. Entre sus hallazgos encontraron que, para los edificios comerciales en climas cálidos subhúmedos, el mayor consumo se destina en el siguiente orden: aire acondicionado 47%, iluminación 29.30% y refrigeración 10.88%, mientras que para climas cálidos secos se obtuvo el mismo orden en cuanto a consumo, pero en diferentes proporciones, siendo estos los siguientes: aire acondicionado 52.66%, iluminación 23.20%, refrigeración 14.46%, motores eléctricos 4.76%, misceláneos 3.52% y otros 1.40%.

4.2 BALANCE TÉRMICO

4.2.1 Factores de la edificación

Tamaño: el edificio cuenta con una construcción total de 6,882 m² por 5 m de altura

Horas de operación: el supermercado ofrece servicio en un horario de 10:00 a.m. a 10:00 p.m. por lo cual está abierto 12 horas continuas los 7 días de la semana.

Climatización: los sistemas de aire acondicionado operan 10 horas al día.

4.2.2 Factores climáticos y geográficos

Humedad: se consideraron 3 humedades relativas típicas de Jojutla Morelos: 59%, 49% y 63%.

Temperatura: se analizaron 3 temperaturas, una temperatura promedio de 28 °C, la temperatura máxima de 39 °C registrada en el mes de mayo y la temperatura mínima de 4.51 °C reportada para el mes de noviembre.

Vientos: Se evaluaron 3 velocidades de viento: 5.8 m/s, 4.49 m/s y 4.28m/s (NASA, 2021). Esto se realiza con el objetivo de proponer tres arreglos diferentes y se pueda seleccionar el mejor de ellos, se escogieron la temperatura máxima y mínima, ya que con esto se puede cubrir las necesidades de los meses restantes.

Se analizaron 5 diámetros de tubería con el fin de seleccionar el más factible, los diámetros escogidos son 6, 8, 10, 12 y 14 pulgadas debido a las variantes de temperatura, velocidad del

viento y humedad relativa se tienen 3 arreglos diferentes para cada diámetro, con esto, se determinó el mejor diseño para brindar confort térmico al interior de la edificación.

Orientación geográfica: El espacio propuesto para la implementación del intercambiador de calor tierra aire se encuentra en la parte oeste del edificio, debido a que en esta dirección predominan los vientos, este espacio cuenta con las siguientes dimensiones: 42.8 m de largo y 31.5 m de ancho, entonces el área total es de 1,348.20 m².

4.2.3 Volumen total por hora a climatizar

Para determinar el volumen por hora a climatizar se debe dividir el volumen total de la edificación por el número de horas que este se mantiene abierto, por lo que:

$$Volumen = (6,926 \text{ m}^2) * (5 \text{ m}) = 34,395 \text{ m}^3$$

Por lo que el volumen a climatizar es de 34,410 m³

$$qT = \frac{34,632 \text{ m}^3}{12 \text{ h}} = 2,886 \text{ m}^3/\text{h}$$

El volumen por hora es de **2,886 m³/h**, una vez obtenido el caudal de climatización se prosigue a calcular el volumen por hora del caudal de aire que circulará a través de los ductos.

4.2.4 Caudal de aire a través de la tubería

Para determinar el caudal interno de los ductos se debe considerar la velocidad del viento y el diámetro del ducto, por lo que, debido a que se están evaluando 5 distintos diámetros de tubería y 3 velocidades de viento diferentes, se obtuvieron 5 resultados diferentes para cada una de las velocidades del viento.

4.2.5 Numero de Ductos

Con el valor obtenido se calculó el número de ductos necesarios para brindar confort térmico al interior del edificio.

4.2.6 Longitud de los Ductos

Lo siguiente fue determinar la longitud de cada uno de los ductos por donde circulará el caudal de fluido, para esto, se utilizó la temperatura de entrada a los ductos siendo estas: 28 °C 32 °C y 4.51 °C.

Una vez realizados los cálculos, se obtuvieron los resultados ejemplificados en las Tablas 5, 6 y 7.

Tabla 5. Resultados para las velocidades del viento, las humedades relativas y las temperaturas analizadas en este trabajo

Parámetro geométrico	Velocidad de viento 5.8 m/s, humedad relativa 59 % y temperatura de 28 °C		Velocidad de viento 4.49 m/s, humedad relativa 49% y temperatura de 32 °C		Velocidad de viento 4.28 m/s, humedad relativa 63% y temperatura de 4.51 °C	
	N _D	Longitud (m)	N _D	Longitud (m)	N _D	Longitud (m)
Diámetro del ducto (pulgadas)						
6	10	92.5	8	80.18	11	90.14
8	6	131.16	5	114.46	6	127.65
10	4	183.18	3	161.7	4	177.9
12	3	219.96	2	194.16	3	213.62
14	2	256.74	2	226.63	2	249.34

Los resultados obtenidos permiten concluir que en el caso de los arreglos 2 y 3 correspondientes a las temperaturas de 4.51 y 39 ° C, la longitud de los Ductos es muy similar entre sí, por lo que en este caso escoger el diseño para la temperatura de 39° C al ser con la que mayor longitud se obtuvo, se puede cubrir las necesidades de las otras dos temperaturas propuestas, por otro lado, el diseño que menor cantidad de tubería necesita es con el Ducto de 14 pulgadas de diámetro. Sin embargo, el espacio disponible para su instalación se vuelve una limitante, debido a que no es posible distribuir su longitud en el espacio disponible, además de que el diámetro de la tubería y sus accesorios disponibles en el mercado, la opción de 12 y 10 pulgadas pueden verse como las mejores opciones debido a la longitud y número de ductos, sin embargo el diámetro de 12 pulgadas aún es muy difícil de encontrar disponible en el mercado, por lo tanto, se seleccionaron los 4 ductos de 10 pulgadas de 183.16 m, resultado arrojado en el arreglo número 3 con una temperatura de 39° C.

4.3 EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UNO O MÁS POZOS CANADIENSES

Tipo de suelo presente en el terreno. Las propiedades del suelo, como la conductividad térmica (capacidad del suelo para conducir calor) y la capacidad calorífica (retención de calor del suelo) determinarán si el terreno es viable para la implementación de los pozos canadienses (Cabezas, 2013). Morelos cuenta con una gran variedad de suelos, sin embargo, en Jojutla predomina el conocido como vertisol, el cual está constituido hasta en un 40% de arcillas expansivas (Programa Estatal de Desarrollo Urbano, 2012). Por lo que, de acuerdo con Cabezas, (2013), estos suelos tienen una gran conductividad térmica y capacidad calorífica, como se muestra en la Tabla 6. Por lo tanto, es viable la implementación de los pozos canadienses de acuerdo con las características del suelo.

Tabla 6. Conductividad térmica y capacidad calorífica por tipo de suelo. Cabezas, (2013).

Material	Conductividad térmica (J°/C/s)	Capacidad calórica (J°/cm ³ /s)
Suelo arenoso húmedo	0.017	1.68
Arena	0.003	1.26
Arcilla	0.0025	1.26
Orgánico	0.0126	2.39
Nieve compactada	0.0029	0.92

Espacio disponible. El establecimiento comercial cuenta con dos espacios con alto potencial para servir como recintos de las ecotecnologías propuestas. El primero es el estacionamiento (Figura 9) y el segundo se encuentra en la parte posterior derecha del edificio (Figura 10), el cual se usa únicamente como área de descarga, sin embargo, aun así, cuenta con el espacio suficiente para la implementación de alguna de estas eco tecnologías.



Figura 9. Estacionamiento del establecimiento comercial.



Figura 10. Parte trasera del establecimiento comercial.

Resultados del balance térmico: Una vez obtenidos los resultados se elige y propone el mejor diseño para el EAHE, el cual consiste es un sistema de ductos con longitud total de 183.18 m y 10 pulgadas de diámetro, distribuidos en arreglo tipo serpiente como se muestra en la Figura 11. El diseño final de los pozos canadienses resultó con una longitud total de 185 metros lineales por cada ducto se propone una distribución—en la parte posterior del establecimiento comercial (Figura 10), la cual está orientada hacia el oeste, dirección de donde predominan los vientos, con lo que de esta forma se cumple con los criterios de

instalación y se cumple con el objetivo de brindar confort térmico al interior de la edificación (Figura 11).

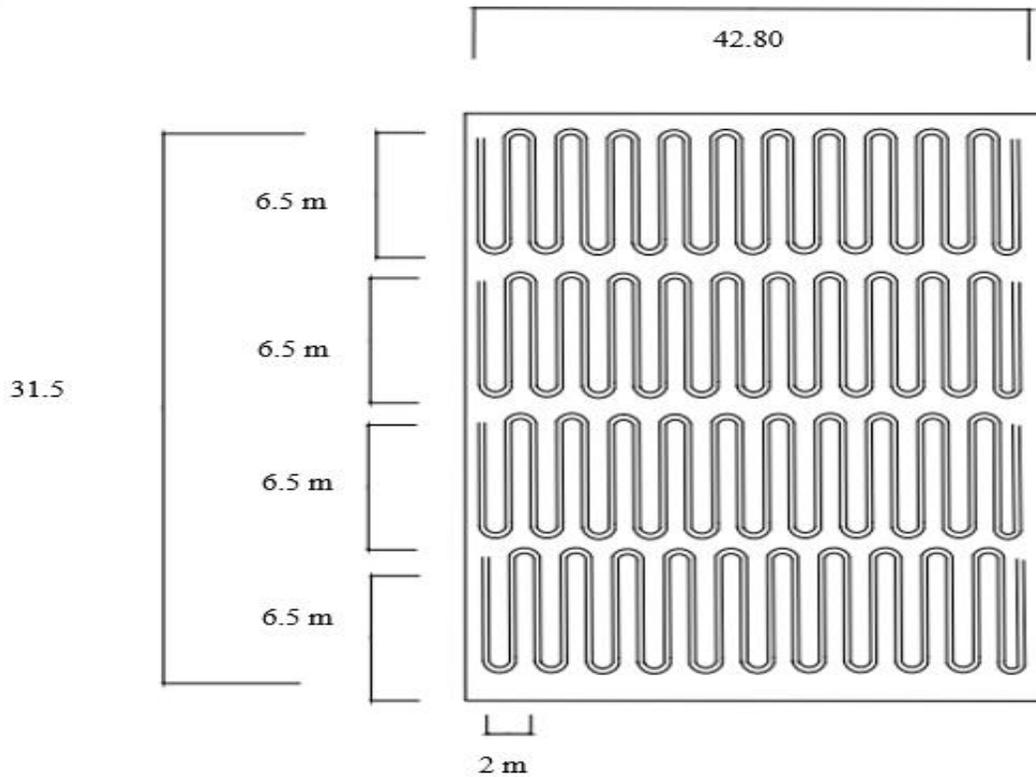


Figura 11. Diseño de los pozos canadienses

De manera comercial la tubería se vende por tramos de 6.10 m, por lo que en este caso y para cubrir la longitud total de 740 m de la tubería seleccionada, se necesitan 122 tramos para que se tenga un total de 744.20 m. Para cada pozo canadiense se necesita un total de 30.32 tramos, para cubrir con los 740 m de longitud, 30 codos y 60 coples por ducto, dando un total de 120 codos y 240 coples, además de requerir filtros de aire colocados en la boca de entrada del aire, esto para prevenir la entrada de polvo o alguna otra partícula indeseada; por último, es necesario colocar aislantes térmicos en la salida de aire de cada conducto, esto para impedir que exista algún tipo de pérdida de energía térmica y perjudique la temperatura final del aire interno de la edificación. La zona disponible para la implementación del EAHE se encuentra cubierta de pavimento, por lo que se necesita de maquinaria para realizar excavaciones, de acuerdo con la página habitissimo la excavación por 300 m² se cotiza en alrededor de

\$240,000 (Habitissimo, 2020) en este caso se tiene un área total de 735 m² por lo que, para determinar el costo de la excavación se utilizara la siguiente expresión $\text{costo total de la excavación} = \frac{740 \text{ m}^2}{300 \text{ m}^2} * 240,000$. Lo anterior se ejemplifica en la Tabla 9.

Tabla 7. Inversión total del sistema de pozos canadienses

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Tubería	122 tramos de 6.10 m	\$2,699	\$329,278
Codos	120 de 90°	\$480	\$57,600
Coples	240 de 10 pulgadas	\$129	\$30,960
Filtros de aire	3	\$1,100	\$3,300
Aislante térmico	2 rollos de 10.7 metros lineales	\$4,406	\$8,812
Excavación	735 m ²	\$240,000	\$592,000
SUBTOTAL			\$1,021,950.00

Se tiene un total de \$1,021,950.00, mientras que el gasto anual del sistema de aire acondicionado es de \$801,540.00 por lo cual el tiempo de retorno de inversión es de:

$$\text{tiempo de retorno de la inversión} = \frac{\$1,021,950.00}{\$801,540.00} = 1.27 \text{ años}$$

Por lo tanto, el tiempo de retorno de la inversión es de aproximadamente 15 meses y 24 días, entonces la inversión económica del EAHE es viable y factible para el supermercado.

4.4 PROPUESTA PARA LA INSTALACIÓN DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS

Con el fin de seleccionar el mejor diseño tanto a nivel económico como energético, se sometieron a evaluación 3 tipos de paneles solares de distintas potencias cada uno, siendo estos de 330 W, 400 W y 500 W, por lo que con cada uno de estos se realizó una propuesta económica para al final determinar la mejor opción.

4.4.1 Cálculo del sistema solar fotovoltaico

Cantidad de días de sol. El municipio cuenta con una temporada despejada que comienza el 1 de noviembre y termina el 21 de mayo, teniendo un total de 6 meses y 20 días de sol, y 12 horas y 12 minutos de sol en promedio al día.

Cantidad de días nublados. La parte más nublada del año comienza el 21 de mayo y termina el 1 de noviembre, teniendo un total de 5 meses y 10 días.

Precipitación. La temporada de lluvias comienza el 24 de abril y termina el 11 de noviembre, sin embargo, la mayor parte de la lluvia cae durante los 31 días centrados alrededor del 1 de julio, teniendo una acumulación total de 162 milímetros (NASA, 2020).

Recurso solar. Morelos tiene una radiación solar promedio de 5 kWh/m², sin embargo, en Jojutla se presenta un promedio anual superior el cual corresponde a 6.69 kWh/m² como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Radiación solar en Jojutla en los diferentes meses (elaboración propia con datos obtenidos del portal de la NASA)"

Mes	Radiación solar promedio (kWh/m ²)
Enero	7.46
Febrero	8.15
Marzo	8.5
Abril	7.64
Mayo	6.5
Junio	5.37
Julio	5.48
Agosto	5.01
Septiembre	5.98
Noviembre	7.23
Diciembre	7.21
Promedio	6.69

En la Tabla 8 se puede observar que se tiene un promedio de radiación solar de 6.69 kWh/m² y se tiene el pico más alto en el mes de marzo con un promedio de 8.15 kWh/m² mientras que el más bajo se tiene en agosto con 5.01 kWh/m² además de tener otros 3 meses (junio,

julio y septiembre) con un promedio similar (Stackhouse, 2021). Por lo que estos meses serán considerados como temporada crítica en cuanto a radiación solar, sin embargo, como se ha mencionado previamente en este documento 5.5 kWh/m^2 se considera suficiente para abastecer la demanda energética de una casa promedio de 5 habitantes, por lo que se determina que el recurso solar existente dentro del municipio de Jojutla es viable para la implementación y aprovechamiento de energía solar fotovoltaica.

4.4.2 Diseño del sistema fotovoltaico (SFV)

Para diseñar el sistema fotovoltaico, solo se considera el consumo correspondiente a la iluminación y refrigeración de alimentos y productos, siendo este de **250.758 kWh/día**.

4.4.3 Inclinación óptima

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69|18.6182| = 16.55$$

La inclinación para la instalación de los paneles solares debe ser de 16.55° con orientación hacia el sur geográfico, por lo cual el estacionamiento es el espacio recomendado para la implementación de dichos paneles, tal como se muestra en la Figura 12. Sin embargo, cabe mencionar que las estructuras para el montaje de los paneles disponibles en el mercado son fabricadas con una inclinación estándar de 20° , por lo que fue esta inclinación la que se utilizó en la propuesta de la implementación del sistema solar fotovoltaico.



Figura 12. Imagen satelital estacionamiento del establecimiento comercial (Google Earth).

4.4.4 Eficiencias de los componentes del SFV

Los componentes del sistema solar fotovoltaico presentan una eficiencia del 100% en condiciones ideales; sin embargo, estas condiciones difícilmente se cumplen al momento de la instalación, por lo que para el inversor se considera una eficiencia (η_i) del 95% y para el cableado (η_w) del 97%, con estos valores se puede determinar la eficiencia total (η_t) que está dada por el producto de $\eta_i * \eta_w$, es decir:

$$\eta_t = (0.97) * (0.95) \approx 92\%$$

4.4.5 Rendimiento térmico

Los paneles fotovoltaicos están fabricados para brindar una máxima eficiencia a determinada temperatura estándar. Sin embargo, debido a que esta temperatura varía de acuerdo a la zona de estudio, se tiene o presenta una pérdida de su rendimiento real, por lo que debe conocerse la temperatura máxima alcanzada en Jojutla, Morelos, dato que se obtuvo de la página de la NASA. Esta temperatura permitió determinar el rendimiento térmico utilizando la ecuación:

$$T_c = 36.1 + 0.03125 * 1000 = 67.35^\circ C$$

4.4.6 Determinación de pérdida de potencia por temperatura

Para esto se aplicó la siguiente formula:

$$\Delta P = (0.47 \text{ \%/}^\circ C) * (42.35) = 19.9045$$

Para calcular el diferencial de temperatura se aplicó la siguiente ecuación:

$$\Delta T = 67.35^\circ C - 25^\circ C = 42.35^\circ C$$

La diferencia de temperaturas es de 42.35 °C

Posteriormente, se calculó la potencia máxima que pueden generar los paneles seleccionados, para esto, se proponen 3 diferentes paneles de distinta potencia, siendo estas: 330 W, 400 W y 500 W.

$$\text{Potencia perdida} = (330) * (0.199045) = 65.68 \text{ W}$$

$$\text{Potencia máxima} = 330 - 65.68 = 264.32 \text{ W}$$

Para un módulo de 330 W la potencia máxima calculada será de **264.32 W**

$$\text{Potencia perdida} = (400) * (0.199045) = 79.62 \text{ W}$$

$$Potencia\ perdida = 400 - 79.62 = 320.38\ W$$

Para el módulo de 400 W la potencia máxima calculada será de **320.38 W**

$$Potencia\ perdida = (500) * (0.199045) = 99.5225\ W$$

$$Potencia\ máxima = 500 - 99.5225 = 400.475\ W$$

Para el módulo de 540 W la potencia máxima calculada será de **400.475 W**

Por último, se obtuvo el rendimiento térmico con la potencia máxima calculada, dividida por la potencia nominal del panel.

$$RT = \frac{264.32}{330} = .80$$

El rendimiento térmico para el panel de 330 W es de 80%

$$RT = \frac{320}{400} = .80$$

El rendimiento térmico para el panel de 400 W es de 80%

$$RT = \frac{400.475}{500} = .80$$

El rendimiento térmico para el panel de 500 W es de 80%

4.4.7 Dimensionamiento de la potencia máxima a instalar

Para determinar la potencia total en kWh que se debe suministrar se necesita conocer el consumo diario, el rendimiento térmico y la eficiencia total:

$$Pp = Ec / (Rs * RT * \eta t)$$

Donde:

Pp: Potencia pico

Ec: Energía consumida diaria

Rs: Recurso solar

$$Pp = 270.758\ kW / (6.69 * .8 * .92) = 54.989\ kW \approx 55\ kW$$

El diseño fotovoltaico debe cubrir una demanda total de 55 kWh al día, con base en este criterio se seleccionó el inversor adecuado.

4.4.8 Selección del inversor

El inversor elegido debe ser mayor o igual a la potencia pico en kW del diseño fotovoltaico o en su defecto una combinación de varios inversores cuya sumatoria sea igual o mayor a 55 kW.

El inversor propuesto es el Epcom EPIG7K, Tipo cadena, para Interconexión a la Red, 7 kW, Salida 220 Vca. (Anexo 2).

Con voltaje de entrada de 90-550 V y Amperaje máximo de entrada de 22 A.

En el caso de los paneles de 330 W cuyas especificaciones técnicas son 33.6 V y 9.87 A (Anexo 3). Se propone un diseño que consiste en dos filas de 5 paneles conectados en serie por 2 paneles en paralelo por cada inversor.

$$\text{Potencia máxima} = 336 * 19.74 = 6,632.64 \text{ W}$$

Dando como resultado:

$$\text{Número de arreglos} = \frac{55,000}{6,632.64} = 8.29 \approx 9$$

$$\text{Número de paneles} = 9 * 20 = 180$$

En la tabla 9 se muestra el número de paneles necesarios y su potencia total en kW.

Tabla 9. Número total de paneles por diferente potencia

Potencia Panel (W)	Potencia Inversor (kW)	Número De Paneles	Potencia total (W)	Demanda total a suministrar (kW)
330	7	180	59.40	55.00
400	7	144	57.388	55.00
500	7	117	59.00	55.00

En la tabla 9 se puede apreciar que el diseño con menor excedente de potencia es el generado por los paneles de 400 W.

En la Tabla 10 se observa el costo total de paneles FV y de los inversores solares.

Tabla 10. Inversión total por los SFV

Panel (W)	Precio unitario	Cantidad	Precio total	Inversor	Cantidad inversores	Precio unitario	Precio total	Costo total
330	\$3,336	180	\$600,480	Epcom EPIG7K	9	\$22,679.70	\$204,117.73	\$804,597.3
400	\$4,044	144	\$582,236	Epcom EPIG7K	9	\$22,679.70	\$204,117.73	\$786,353.73
500	\$9,009.72	118	\$1,063,146.96	Epcom EPIG7K	9	\$22,679.70	\$204,117.73	\$1,267,264.69

En la Tabla 10 se observa que la menor inversión se realizaría con el arreglo de paneles FV de 400 W, seguido por el tipo de panel de 330 W y el que representa una mayor inversión inicial a pesar de ser el de menor número de paneles se obtiene con los de 500 W.

4.4.9 Selección de la estructura

Para los 180 paneles de 330 W se propone un diseño de 18 estructuras de 10 paneles con un costo unitario de \$11,673.9.

Para los 144 paneles de 400 W se propone un diseño de 9 estructuras de 10 paneles con un costo unitario de \$11,673.9 y 9 estructuras de 6 paneles con un costo unitario de \$9,853.2

Para los 118 paneles de 500 W se propone un diseño de 10 estructuras de 10 paneles costo unitario de \$11,673.9 y 3 estructuras de 6 paneles con un costo de \$9,853.2 En la Tabla 12 se aprecia que el menor monto de inversión para de las estructuras de montaje se tiene en el diseño de 500 W, seguido por el de 400 W y por último el de 330 W.

Tabla 11. Costo total de las estructuras.

Paneles	Numero de estructuras		Costo total
	6 paneles	10 paneles	
330 W		18	\$210,130
400 W	9	9	\$193,743.9
500 W	3	10	\$146,298.6

Una vez que se tiene el costo de la estructura de montaje y el costo del SFV, se puede obtener el costo total que genera la implementación de los paneles fotovoltaicos.

En la Tabla 12 se encuentran los costos de la inversión total para cada uno de los diseños analizados.

Tabla 12. Monto de la inversión.

Tipo de modulo	Costo estructuras	Costo equipos fotovoltaicos	Costo inversores	Costo total
330 W	\$210,130	\$600,480	\$204,117.73	\$1,014,727.73
400 W	\$193,743.9	\$582,236	\$204,117.73	\$980,096.73
500 W	\$146,298.6	\$1,063,146.96	\$204,117.73	\$1,413,563.29

El diseño de 500 W presenta algunas dificultades técnicas, ya que, al tratarse de un arreglo conectado en serie, se pueden originar fallas eléctricas en todos los módulos, si alguno de los paneles presenta problemas, por lo que técnicamente se considera inviable, además de ser el que mayor inversión inicial necesita. Por otro lado, el diseño de 330 W es el de mayor excedente energético. También se observa que el diseño que menor inversión requiere es el sistema fotovoltaico de 400 W, además resultó más eficiente. Por lo tanto, este se considera como la opción técnica y económicamente factible.

4.4.10 Tiempo de retorno de la inversión

A continuación, en la Tabla 13, se presenta el tiempo de retorno de inversión para cada diseño y arreglo propuesto, que se obtuvo con la Ecuación 19.

$$TRI = \frac{\text{Inversión total}}{\text{Costo anual energético}}$$

Ecuación 19

Tabla 13. Tiempo de retorno de la inversión

Tipo de diseño fotovoltaico	Consumo mensual	Costo mensual energético sin paneles FV	Costo anual energético sin paneles FV	Inversión	Tiempo de retorno de la inversión
330 W	250.758 kWh/día	\$37,907.44	\$446,327.53	\$1,014,727.73	2.27 años
400 W				\$980,096.73	2.19 años
500 W				\$1,413,563.29	3.16 Años

Como se observa en la Tabla 13, el menor tiempo de retorno de la inversión se obtuvo con el con los paneles de 400 W, mientras que el diseño con paneles de 500 W representa el mayor tiempo de retorno de la inversión, esto a pesar de que el número total de paneles era inferior a los otros dos diseños propuestos.

Molina y Muñoz, (2019). Realizaron una propuesta de inversión para sistemas solares fotovoltaicos en Mérida, Yucatán, en 20 pequeñas y medianas empresas de giro comercial (PYMES), en las que se determinó ahorro energético, ahorro económico y el tiempo de retorno de la inversión, dentro de sus resultados se destaca una empresa con un gasto bimestral de \$20,593.00 y \$123,558.00 de manera anual, para la que se calculó una inversión total de, \$87,311.27, con la que se tendrá un ahorro anual energético del 85% y un costo anual de la tarifa energética de, \$17,463.00, por lo que el tiempo de retorno de la inversión lo obtendrá en 0.7 años. En cuanto al resto de las PYMES evaluadas, detectaron que el mayor tiempo de retorno de inversión es de 4.2 años y será para una empresa cuyo gasto anual es de \$28,536.00. Por lo que concluyeron que la inversión para sistemas solares fotovoltaicos era una opción viable y rentable. De acuerdo con los resultados que se obtuvieron en esta investigación y comparados con los que se obtuvieron en el estudio de las 20 PYMES, se puede apreciar que el tiempo de retorno de la inversión es similar y se encuentra dentro del rango promedio que obtuvo Molina en su investigación.

En el 2021 en Ecuador se realizó un estudio para cubrir una demanda diaria de 212.2 kWh/día con un diseño fotovoltaico autónomo, el cual tuvo una inversión total aproximada de \$1,168,967.20 (Romo y Morales, 2021). Inversión mayor a la que se obtuvo como resultado en el presente estudio, por lo que, se concluye que el sistema solar fotovoltaico interconectado a la red es una opción más viable tanto económica, técnica y energéticamente.

Los paneles tienen una vida útil de aproximadamente 30 años, por lo que, pasado el tiempo de retorno de la inversión que en este caso es de 2.19 años, es decir que durante 27 años y 10 meses aproximadamente el establecimiento comercial se convertiría en un edificio sustentable tanto económicamente como energéticamente.

El inversor seleccionado tiene una garantía de aproximadamente 12 años de acuerdo con las especificaciones de fábrica.

4.4.11 Diseño del SFV seleccionado

Después de haber evaluado las distintas potencias de cada panel, así como sus viabilidad económica y energética, sus inconvenientes técnicos, etc. Por lo tanto, tras el estudio realizado, se seleccionó el diseño fotovoltaico con módulos de 400 W de potencia unitaria, debido a qué, comparado con los otros dos, este fue el que presentó el menor tiempo de retorno de la inversión, además de que también es el que mejor eficiencia energética presenta, ya que solo tiene un excedente de 2 kWh. A continuación, en la Figura 13 se muestra el diagrama final para la instalación del sistema solar fotovoltaico.

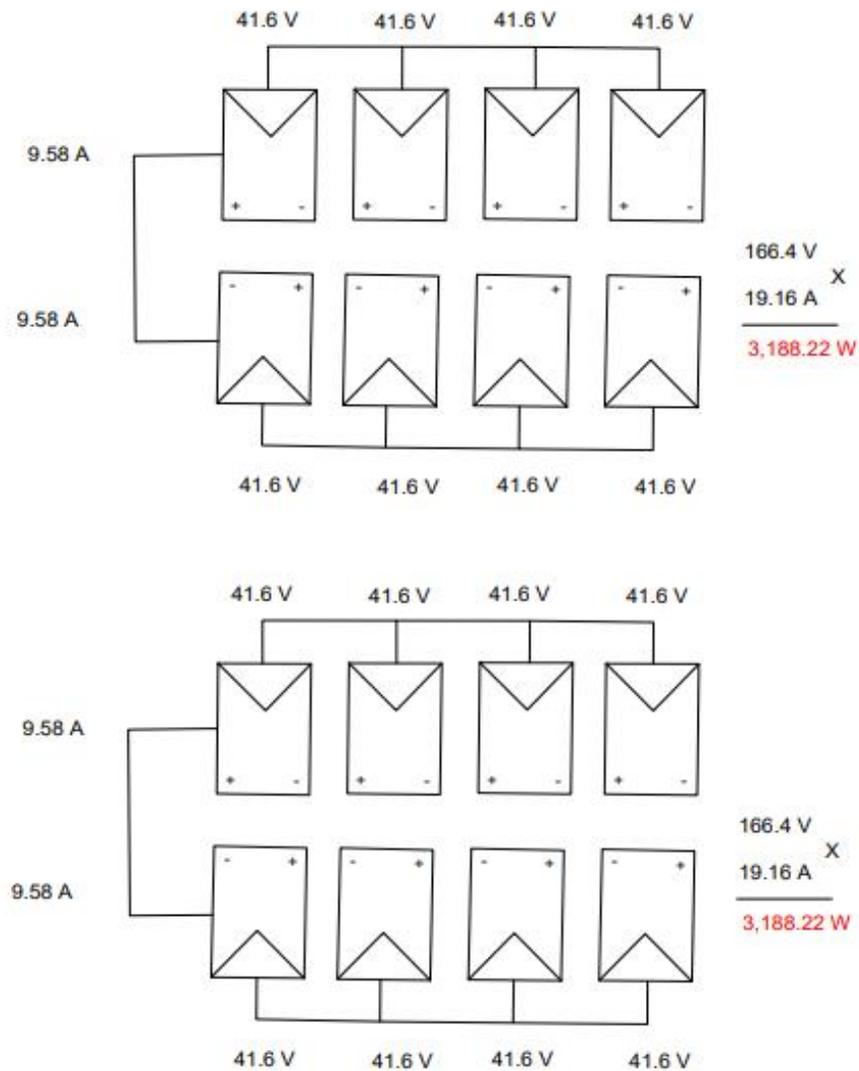


Figura 13. Diagrama del diseño solar fotovoltaico.

En la Figura 13, se observa el diseño final propuesto, este consta de dos filas de paneles solares conectados en serie por dos en paralelo, siendo dos juegos para cada inversor, gracias al diseño propuesto los voltajes se multiplican por los 8 paneles conectados en total dando así 166.4 V por cada juego, mientras que la corriente se multiplica únicamente por dos, dando un total de 19.16 A, de esta forma se cumple con las especificaciones del inversor, ya que se está por debajo del amperaje y voltaje máximos de entrada, por lo tanto, cada juego de paneles está produciendo una potencia de 3,188.22 W, por lo que cada inversor es alimentado con 6,376.44 W. Produciendo una potencia total de 57,387.96 W, por lo que, se tiene un sobredimensionamiento de 2,387.96 W.

4.5 ANÁLISIS DE LAS EMISIONES DE CO₂ AL MEDIO AMBIENTE POR LA PRODUCCIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA UTILIZADA POR EL ESTABLECIMIENTO COMERCIAL DE ESTE CASO DE ESTUDIO

Se realiza primero la cuantificación de las emisiones evitadas correspondientes a la climatización de la edificación por el uso de sistemas de aire acondicionado convencionales, los cuales presentan un consumo diario de 450 kWh.

Para el análisis de la emisión de CO₂ al ambiente que serán evitadas al implementar las ecotecnologías propuestas, se tomaron como referencia los factores de emisión de CO₂ equivalente de “la Guía Para Determinar el Factor de Emisión de Dióxido de Carbono Equivalente Para el Sistema Eléctrico Nacional” emitido por la comisión federal de electricidad (CFE) en donde se especifica que para obtener la cantidad de CO₂ equivalente es necesario conocer la cantidad de combustible utilizado (kg), su poder calorífico y su factor de emisión. y para el cálculo final se utilizará la Ecuación 20.

$$E_{CO_2} = \sum C_i * P_{ci} * FE_{CO_2}$$

Ecuación 20

Donde

C_i: consumo de combustible

P_{ci}: poder calorífico del combustible

FE CO₂: factor de emisión del combustible

En este caso se evaluarán el gas LP, el carbón y el petróleo debido a que son los 3 tipos de combustibles más utilizados en México para la producción de la energía eléctrica de acuerdo con el balance nacional de la energía (SENER, 2018).

Para el caso del carbón cuyo poder calorífico es de 35.731 kJ/kg y su factor de emisión es de 2.405 y por último se debe conocer la cantidad de carbón necesaria para producir la energía eléctrica por el establecimiento comercial que en este caso se consumen un total anual de 164,250 kW/h y el carbón produce 2.94 kW/h por kilogramo, por lo tanto, para producir la energía que necesita suministrarse al establecimiento comercial es necesario la quema de un total de 55,867.34 kg de carbón anuales.

Sustituyendo en la fórmula

$$E_{CO_2} = \sum 55,867.34 \text{ kg} * 35.731 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * 2.405 \text{ kg/kJ} = 4,800,851.79 \text{ kg } CO_{2 \text{ eq}}$$

$$Ton \text{ } CO_{2 \text{ eq}} = \frac{4,800,851.79 \text{ kg } CO_{2 \text{ eq}}}{1000} = 4,800.851 \text{ Ton } CO_{2 \text{ eq}}$$

Para el caso del petróleo cuyo poder calorífico es de 49.57 kJ/kg y su factor de emisión es de 2.928 y por último se debe conocer la cantidad de petróleo necesaria para producir la energía eléctrica consumida por el establecimiento comercial que en este caso es un total anual de 164,250 kW/h y el petróleo produce 11.86 kWh por litro, por lo tanto, para producir la energía que necesita suministrarse al establecimiento comercial es necesario la quema de un total de 13,846 litros de petróleo anuales. La densidad del petróleo es de 0.900 g/ml por lo que primero se debe obtener la cantidad en kilogramos necesario para abastecer dicha demanda energética. Para esto se utilizó la siguiente expresión:

$$kg \text{ petroleo} = 13,849.071 * 0.900 \frac{\text{kg}}{\text{l}} = 12,464.163 \text{ kg}$$

$$E_{CO_2} = \sum 12,464.163 \text{ kg} * 49.57 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * 2.928 \frac{\text{kg}}{\text{kJ}} = 1,809,060.58 \text{ kg } CO_{2 \text{ eq}}$$

$$Ton \text{ } CO_{2 \text{ eq}} = \frac{1,809,060.58 \text{ kg } CO_{2 \text{ eq}}}{1000} = 1,809.060 \text{ Ton } CO_{2 \text{ eq}}$$

Para el caso del gas LP, el cual es capaz de generar 6.98 kWh por litro quemado y un equivalente de CO₂ de 1.51 kg CO_{2e}/l. por lo tanto para generar 164,250 kW/h, es necesaria la quema de 23,531.51 litros de gas LP, por lo tanto, la cantidad de CO_{2e} se calculó con la siguiente ecuación.

$$E_{CO_2} = (23,531.51 L) \left(1.51 \frac{kg CO_{2equivalente}}{L} \right) = 35,532.58 CO_{2eq}$$

$$Ton CO_{2eq} = \frac{35,532.58 CO_{2eq}}{1000} = 35.523 Ton CO_{2eq}$$

Se calcularon las emisiones anuales de carbono equivalente (CO_{2e}) por consumo de energía eléctrica en el centro comercial por la iluminación y refrigeración de alimentos y productos 250.758 kWh/día, de acuerdo con lo indicado por el IPCC. Para lo cual se tienen presentes los siguientes conceptos:

- Emisión de GEI
- Carbono equivalente (CO_{2e})
- Factor de Emisión (FE)
- Potencial de Calentamiento Global (PCG)

La ecuación general para el cálculo de emisiones de GEI en base a alguna actividad en específico es:

$$Emisiones\ de\ la\ actividad = (Magnitud\ de\ la\ actividad)(FE)(PCG)$$

El factor de emisión del Sistema Eléctrico Nacional es el señalado por la Comisión Reguladora de Energía (CRE) para el cálculo de las emisiones indirectas de gases de efecto invernadero por consumo de electricidad correspondiente al año 2021 (SEMARNAT, 2022).:

$$FE = 0.423\ tCO_{2e}/MWh$$

Para la estimación se requiere aplicar la ecuación 21.

$$HC = (kWh)(FE)(FC)$$

Ecuación 21

Dónde:

$kWh = \text{Consumo de energía eléctrica de la vivienda}$

$FE = \text{Factor de emisión}$

$FC = \text{Factor de conversión}$

$HC = \text{Huella de carbono}$

Por lo que remplazando los datos en la ecuación 1 se obtiene:

$$HC = \left(\frac{kWh}{mensual}\right) \left(\frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}}\right) \left(\frac{1 MWh}{1000 kWh}\right) \left(\frac{0.423 \text{ tCO}_2\text{e}}{\text{año}}\right)$$

$$HC = \left(\frac{250.758kwh}{diario}\right) \left(\frac{365 \text{ dias}}{1 \text{ año}}\right) \left(\frac{1 MWh}{1000 kWh}\right) \left(\frac{0.423 \text{ tCO}_2\text{e}}{\text{año}}\right) = 38.71 \text{ ton CO}_2\text{equivalente}$$

Tabla 14. Huella de carbono por consumo de energía eléctrica.

Gasto mensual por consumo de energía eléctrica (\$)	kWh (diario)	kWh (anual)	HC _{AA} (tCO ₂ e / año)
Iluminación	62.64 kWh	22,863.60 kWh	9.67
Refrigeración de alimentos y productos	188.118 kWh	68,663.07 kWh	29.04
Total	250.758	91,526.37 kWh	38.71

Para finalizar el estudio ambiental, es importante mencionar que de acuerdo con el Instituto Nacional de Ecología se necesitan aproximadamente 139 hectáreas de selva baja (vegetación predominante en Jojutla) para absorber una tonelada de CO₂, por lo que, para absorber las toneladas de CO₂ equivalente para cada tipo de combustible se necesitan 667,318.28 Ha para la quema de carbón, 251,459.34 Ha para la quema de petróleo y 4,937.69 Ha para la quema de gas LP. Todo esto para el caso de la climatización. Mientras que para la generación de electricidad se necesitan 5,308.69 Ha. Esta situación que se vuelve cada vez más complicada en esta zona debido a la constante deforestación por el crecimiento demográfico y las actividades económicas como la agricultura y la ganadería.

De acuerdo con el análisis realizado para cada combustible evaluado se puede concluir que la implementación de las ecotecnologías propuestas contribuirá de manera importante a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

5. CAPITULO V

5.1 CONCLUSIONES

- Se ha demostrado que el mayor consumo energético del establecimiento comercial recae en el área de climatización, seguido por la refrigeración de productos y alimentos.
- Las propiedades del suelo predominante en Jojutla son aptas para la implementación de energía geotérmica de baja entalpia, a través de pozos canadienses.
- El área existente permitirá la implementación de ambas ecotecnologías.
- Las condiciones climatológicas de Jojutla, incluyendo el recurso solar son óptimas para la implementación de energía solar fotovoltaica.
- Se demostró que a mayor velocidad del viento se necesita una mayor longitud de los ductos para la implementación de los pozos canadienses.
- El diseño del SFV de 400 W demostró ser la mejor opción tanto a nivel energético como económico.
- El tiempo de retorno de la inversión para ambas ecotecnologías resulto viable, factible y redituable.
- Las emisiones de CO₂ emitidas en el municipio de Jojutla, en su mayoría son amortiguadas por la selva baja caducifolia (vegetación predominante en la región), sin embargo, debido a la deforestación creciente dada por el incremento de la ganadería, agricultura y más recientemente por la construcción de nuevas zonas residenciales, así como por la expansión de zonas comerciales, esta se ve cada vez más reducida, por lo que generar estrategias para implementar tecnologías sustentables cobra una relevancia como nunca antes se había visto. Para generar dichas estrategias es necesaria la colaboración de todos los sectores y dimensiones de la sostenibilidad.
- La formación de alianzas entre el sector privado y el sector público, así como la participación de las instalaciones educativas es de vital importancia para cumplir con estos objetivos.
- Este estudio demuestra que las ecotecnologías para acondicionamiento térmico de edificaciones son competitivas con las tecnologías convencionales de ventilación y aire acondicionado dentro del mercado global.

6. PERSPECTIVAS A FUTURO

Para continuar con este tipo de trabajos y estar cada vez más cerca de la implementación de ecotecnologías en distintos sectores de la sociedad se realizan las siguientes perspectivas.

- Elaborar una estrategia para que el sector privado tenga una perspectiva más amplia y de esta manera colaborar de forma activa para realizar este tipo de trabajos.
- Desarrollar nuevos estudios tecno-económico-ambientales en diferentes condiciones climatológicas y contrastar sus resultados con los obtenidos en este estudio.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alrashed, F., & Asif, M. (2012). Prospects of renewable energy to promote zero-energy residential buildings in the KSA. *Energy Procedia*, 18, 1096-1105.
- Arballo, B. D., Kuchen, E., y Chuk, D. (2019). Optimización de la eficiencia energética aplicando confort térmico adaptativo en un edificio de oficinas público en San Juan-Argentina. *Revista hábitat sustentable*, 9(1), 58-67.
- Arcos, V. M. (2016). Estudio experimental del desempeño térmico de un intercambiador de calor tierra-aire en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo. (Posgrado). UNIVERSIDAD DE QUINANA ROO. 3
- Cabezas, A. M. (2013). eficiencia energética a través de utilización de pozos canadienses con el análisis de datos de un caso real “casa pomaret” (Maestría). Universidad Politécnica de Cataluña. 9
- Cárcel, F. J., y Martínez, D. (2015). LA ENERGÍA GEOTÉRMICA DE BAJA ENTALPÍA. *3C Tecnología*, (4), 96-108.3
- Carro, M. E., Peiretti, A. y Francisca, F.M. (2018). Energía geotérmica de baja entalpía en suelos loésicos: cálculo y diseño para caso de estudio. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 22, 04.23-04.34.4
- CFE. Guía Para Determinar el Factor de Emisión de Dióxido de Carbono Equivalente Para el Sistema Eléctrico Nacional. <https://lapem.cfe.gob.mx/normas/pdfs/t/SPA00-63.pdf>
- Chamorro, J. (2002). Volviendo a un Viejo debate: el nivel de Vida de la clase obrera británica durante la Revolución Industrial. *Revista de Historia Industrial. Economía y Empresa*, (21), 13-60.
- Conforme-Zambrano, G. D. C., y Castro-Mero, J. L. (2020). Arquitectura bioclimática. *Polo del Conocimiento*, 5(3), 751-779.
- Constantini, A. B., Pérez, M. C., y Francisca, F. M. (2021). Evaluación del comportamiento térmico de una edificación reemplazando el material de la envolvente por suelo-cemento. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente-AVERMA*, 20, 33-43.

- Cunningham, R. E. (2003). La Energía, historia de sus fuentes y transformación. *Petrotecnia*, (7), 1-7.
- Díaz, P. (2017). Análisis experimental de un intercambiador de calor tierra-aire para su uso como sistema pasivo para el confort térmico en clima cálido-humedo. (Maestría). Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Fernández, V.J., Tolón, A. y Lastra, X. (2016). Sostenibilidad energética en el sector de la edificación en España y la Unión Europea. España: une.
- García. I. (2011). Línea base del uso final de la energía eléctrica en edificios comerciales y de servicios de la república mexicana: indicadores energéticos. (Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México.
- González-Tablas, A. M., Orlandini, A. y López, S. H. (2011). Crisis, cambio global y energía. *Revista de Economía Mundial*, (29), 265-286.
- Guerra, M. R. (2013). Arquitectura Bioclimática como parte fundamental para el ahorro de energía en edificaciones. *energética*, 1, 2.
- Habitissimo (2020). <https://www.habitissimo.com.mx/presupuesto/excavaciones>
- Hernández, J. M., Alonso, B. D. C., Nochebuena, M. C. V., & Oliver, J. S. (2012). Integración de sistemas de energía solar fotovoltaica en el edificio de oficinas del ZAE en Alemania. *Hábitat Sustentable*, 59-72.
- Hornero Pérez, R. (2013). Estudio de la Ventilación natural en un edificio y su efecto en el grado de confort de los ocupantes (Maestría). Universidad Politécnica de Cataluña.
- IEA. (2018). International Energy Agency. <https://www.iea.org/data-and-statistics/?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=TPESbySource>.
- INECC (2018). Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto invernadero. <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero>

INECC. (2007). EMISIONES Y CAPTURA DE CARBONO EN MÉXICO. [http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/296/cap3.html#:~:text=El%20manej o%20forestal%20tiene%20un,nuestro%20pa%C3%ADs%20\(cuadro%203.4\).](http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/296/cap3.html#:~:text=El%20manej o%20forestal%20tiene%20un,nuestro%20pa%C3%ADs%20(cuadro%203.4).)

INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2015).

Infobae. (2020, 29 marzo) Cómo la luz del sol podría convertir a México en uno de los líderes mundiales de las energías renovables... <https://www.infobae.com/america/mexico/2020/03/29/como-la-luz-del-sol-podria-convertir-a-mexico-en-uno-de-los-lideres-mundiales-de-las-energias-renovables/>

Infobae. Energía geotérmica, una opción con mucho potencial en México. (2020, 27 agosto). <https://www.infobae.com/america/mexico/2020/08/27/energia-geotermica-una-opcion-con-mucho-potencial-en-mexico/>

Jarauta, L. (2014). Las energías renovables. Barcelona: Editorial UOC.

Jiménez, R. V. (2010). Energía, desarrollo y globalización: los dilemas de la soberanía. Ciudad de México: Instituto Politécnico Nacional.

López-Rodríguez, F., Cuadros-Blázquez, F., Segador-Vegas, C., Ruiz-Celma, A., Sanz-Calcedo, J. G., Mena-Nieto, Á., ... & Heras-Celemín, M. R. (2011). Edificio Peter: Un ejemplo de construcción bioclimática y de integración de energías renovables. *Dyna*, 86(2), 212-221.

Martínez-Pérez, F. (2017). La energía, su ahorro y eficiencia energética. Papel del Mantenimiento. *Revista Ingeniería Agrícola*, 7(3), 61-68.

Medrano, M. (2020). Cambio Climático, Ciencia y Capitalismo: Reflexiones críticas desde el reverso de la historia. *Revista Científica de FAREM-Estelí*, (33), 109-118.

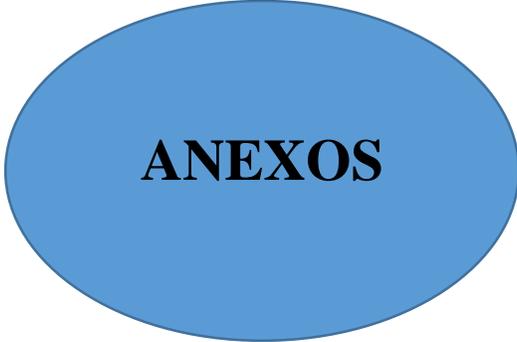
Méndez, J.M. y Cuervo, R. (2007). Energía Solar Fotovoltaica. Madrid: Graficas Marcar S.A

Molina, R, G., y Muñoz, A. C. (2020). Propuesta de Inversión de paneles solares para Pymes en el Sureste de México. *Revista Universitaria Ruta*, 22(1), 2-31.

Morillón, D., Escobedo, A., & García, I. (2015). Retos y Oportunidades Para la Sustentabilidad Energética en Edificios de México: Consumo y Uso Final de Energía

- en Edificios Residenciales, Comerciales y de Servicio. Serie Investigación y Desarrollo, Instituto de Ingeniería-UNAM: México City, México.
- Moro, M. (2010). INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS. Madrid: Paraninfo SA.
- OECC. (2021). FACTORES DE EMISIÓN REGISTRO DE HUELLA DE CARBONO, COMPENSACIÓN Y PROYECTOS DE ABSORCIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO. https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/factoresemision_tcm30-479095.pdf
- Ortiz, J.A., Masera, O.R. y Fuentes, A.F. (2014). La Ecotecnología en México. México: Imagia.
- Otero, D. (2011). Metodología para auditorías energéticas en el sector terciario: hoteleros, docentes, hospitalarios y comerciales. (Posgrado). Universidad de Barcelona.
- Pareja, M. (2010). Energía Solar Fotovoltaica. Barcelona: Marcombo SA.
- Perales, T. (2012). El universo de las energías renovables. Barcelona: Marcombo, S.A.
- Posso, F. (2002). Energía y ambiente: pasado, presente y futuro. Parte dos: sistema Energético basado en energías alternativas. *Geoenseñanza*, 7(1-2), 54-73.
- Restrepo-Garcés, A. R., Manotas-Duque, D. F., y Lozano, C. A. (2017). Método Híbrido Multicriterio-ROA, para la selección de fuentes de energía renovables: caso de estudio centros comerciales. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 25(3), 399-414.
- Rey Martínez, F. J., & Velasco Gómez, E. (2006). Eficiencia energética en edificios. Certificación y auditorías energéticas: certificación y auditorías energéticas. España: Paraninfo.
- Rivera, L. (2018). Energía: Hacia un Paradigma de Progreso Sostenible. *Milenio*, 71-82. Recuperado a partir de <https://reVistas.upr.edu/indez.php/milenio/article/View/15649>
- Roldan, J. (2008). Fuentes de energía. Instalaciones eólicas, instalaciones solar térmicas. Madrid: Learning Paraninfo, S.A.

- Romero, M. (2010). Energía Solar Fotovoltaica. Barcelona: CENTRO DE LIBROS PAPP S.L.U.
- Romo, D., & Morales, D. (2021). Eficiencia Energética en la Universidad Católica sede Azogues un enfoque de implementación técnico–económico basado en energía solar. *Revista Técnica" energía"*, 17(2), 44-54.
- Santaló, J. M. G. (2009). La generación eléctrica a partir de combustibles fósiles. Boletín IIE, 143-151.
- Schallenberg, J., PiernaVieja, G., Hernandez, C., Unamunzaga, P., García, R., Díaz, M., Cabrera, D., Martel, G., Pardilla, J. y Subiela, V. (2008). Energías renovables y eficiencia energética. Canarias, España. Instituto Tecnológico de Canarias, S.A.3
- SENER (2018). Balance Nacional de Energía 2018. <https://www.gob.mx/sener/documentos/balance-nacional-de-energia>.
- SENER (2018). Balance Nacional de Energía 2018. <https://www.gob.mx/sener/documentos/balancenacional-de-energia>.
- Stackhouse, P. (2021). NASA POWER | Data Access Viewer. NASA. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-Viewer/>
- Tartaglia, A. (2019). Tecnología fotovoltaica con paneles bifaciales: ¿Vuelve para quedarse? (Posgrado). UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA.
- Vargas, L. y Otoyá, M. (2001). ACCESO A LA ENERGIA RURAL EN CENTRO AMERICA. Centro Internacional en Política Económica (CINPE), (5), pp.5-40.



ANEXOS



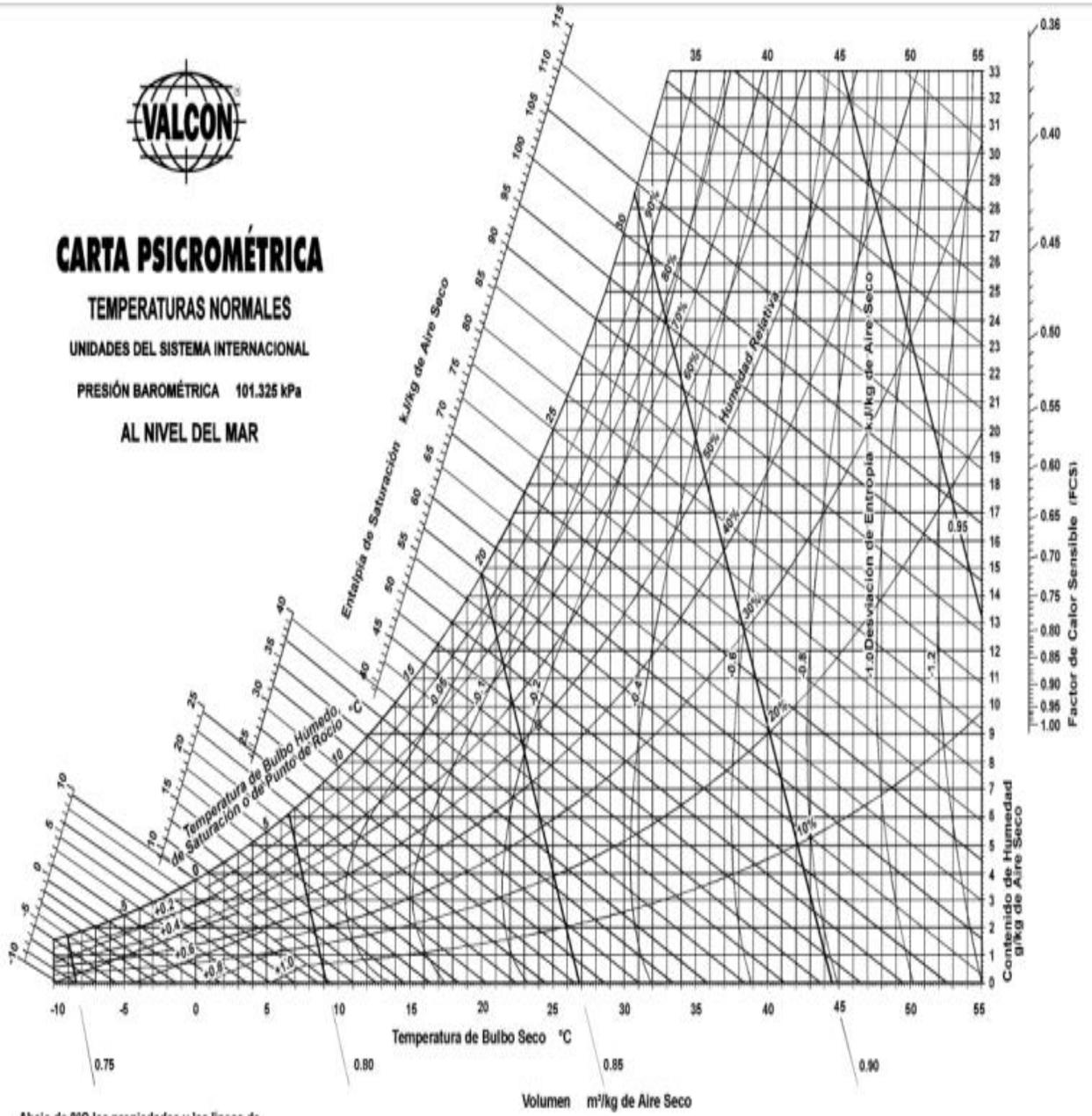
CARTA PSICROMÉTRICA

TEMPERATURAS NORMALES

UNIDADES DEL SISTEMA INTERNACIONAL

PRESIÓN BAROMÉTRICA 101.325 kPa

AL NIVEL DEL MAR



Abajo de 0°C las propiedades y las líneas de desviación de la entalpia son para el hielo

Carta psicrométrica

Inversor de Interconexión EPIG7K

epcom
POWER + LINE

Especificaciones Técnicas

Modelo	EPIG-7KV3
ENTRADA (CD)	
Max. Potencia de entrada	7800 W
Max. Voltaje de entrada	600 V
Voltaje de inicio	120 V
Rango de voltaje MPPT	90 - 550 V
Voltaje de entrada nominal	360 V
Rango de voltaje MPPT a plena carga	350 - 480 V
Max. Corriente de entrada	11 A x 2
Max. Corriente de corto circuito	12 A x 2
Numero de MPPTs	2
SALIDA (CA)	
Max. Potencia de salida	7000 W
Max. Corriente de salida	30.5 A
Voltaje nominal de red eléctrica	230 Vca en una sola fase
Rango de voltaje de red eléctrica	180 - 280 Vca
Rango de frecuencia de red eléctrica	50/60 Hz
THD	< 3% (Potencia de salida nominal)
Componente en CD	< 5% x corriente de salida nominal
Factor de potencia	> 0.99 (Potencia de salida nominal)
Factor ajustable de potencia	Adelanto 0.8 - Retraso 0.8
EFICIENCIA	
Max. Eficiencia	97.80%
Eficiencia europea	97.30%
OTROS	
Protecciones	Anti-isla, salida de corto circuito, fuga de corriente, polaridad invertida en CD, detección de impedancia de entrada.
Comunicación	RS485, WiFi/Ethernet (Opcional), GPRS (Opcional)
Indicadores	Indicadores LED
Autoconsumo por la noche	< 0.5 W
Protección IP	IP 65
Enfriamiento	Enfriamiento natural
Método de instalación	Montado en pared
Terminal de cableado CD	MC4
Terminal de cableado CA	Plug and play
Estándares	IEC/EN 62109-1, IEC/EN 62109-2, VDE 0126-1-1, CEI 0-21, EN 50438, IEC 61683, IEC 61727, IEC 62116, ABNT NBR 16419, ABNT NBR 16150
Temperatura de operación	-25°C - +60°C (> 45°C descendiendo)
Humedad relativa	0% - 100% (Sin condensar)
Altitud	4000 m (> 2000 m descendiendo)
Ruido	< 40 dB
Dimensiones (AxAxP mm)	370 x 126.5 x 420
Dimensiones de embalaje (AxAxP mm)	440 x 205 x 490
Peso neto (kg)	10.9
Peso bruto (kg)	12.5



- Alta eficiencia con altos beneficios.
- Diseño sin transformador, máxima eficiencia arriba de 97%.
 - Avanzada tecnología de MPPT con eficiencia mayor a 99.9%.
 - Amplio rango de voltaje (100Vdc-500Vdc), configuración flexible de paneles solares.
- Fácil instalación, Operación flexible.
- Resistente a polvo y agua (IP65).
 - Sin ruido de ventiladores (Nivel de ruido <30dB), Apropiado para instalaciones dentro de casa.
 - Conector sellado contra agua, fácil instalación y mantenimiento.
- Robusto and rentable; Beneficio duradero
- Alarma inteligente de detección de fallo y protecciones.
 - Enfriamiento natural; 25 años de vida útil.
 - Rango amplio de temperatura rango-25--+60°C, poder continuo
- Generación a carga completa en ambientes de alta temperatura.
- Certificados TUV / CE / CQ.



Inversor solar Epcom EPIG7K, Tipo cadena, para Interconexión a la Red, 7 kW, Salida 220 Vca.

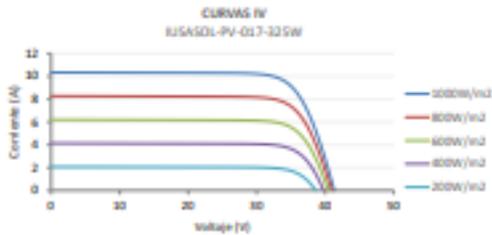
IUSASOL-PV-17

MÓDULO MONOCRISTALINO PERC
320W, 325W, 330W, 335W, 340W

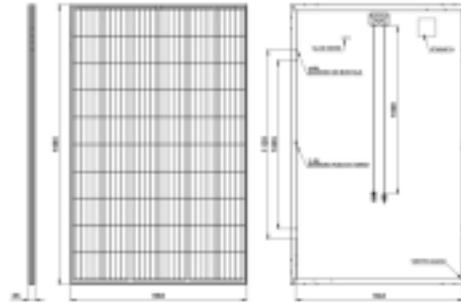
CARACTERÍSTICAS DE OPERACION

Temperatura de Operación	-40°C - +80°C
Voltaje Máximo de Sistema	1500 V (IEC)
Resistencia al Fuego	CLASE C (IEC 61730)
Corriente Inversa Máxima	12 A
Clase de Aplicación	CLASE A
Tolerancia de Potencia	0 - +5W

CURVA IV



DIMENSIONES DEL MÓDULO (mm)



CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS EN CONDICIONES ESTANDAR STC

Código	222895	222898	222911	222914	222898	
Potencia Máxima	Pmax (Wp)	320	325	330	335	340
Voltaje a Potencia Máxima	Umpo (V)	33.5	33.6	33.6	33.7	33.8
Corriente a Potencia Máxima	Imax (A)	9.6	9.74	9.87	10.01	10.15
Voltaje a Circuito Abierto	Uoc (V)	41.3	41.3	41.4	41.5	41.6
Corriente a Corto Circuito	Isc (A)	10.13	10.25	10.56	10.78	10.99
Eficiencia del Módulo	%	19.4%	19.7%	20.0%	20.2%	20.6%

Condiciones de prueba estándar (STC): Irradiación: 1000 W/m², espectro AM 1.5, temperatura de la celda: 25°C.
Tolerancia de medida: (Pmax, Uoc, Isc) ±1.2%

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS EN CONDICIONES NORMALES NOCT

Código	222895	222898	222911	222914	222898	
Potencia Máxima	Pmax (Wp)	232	236	239	243	248
Voltaje a Potencia Máxima	Umpo (V)	33.6	33.7	33.9	34.0	34.1
Corriente a Potencia Máxima	Imax (A)	6.91	6.98	7.05	7.12	7.17
Voltaje a Circuito Abierto	Uoc (V)	41.6	41.8	41.9	42.1	42.3
Corriente a Corto Circuito	Isc (A)	7.5	7.57	7.66	7.75	7.82

Temperatura NOCT: Irradiación de 800 W/m², espectro AM 1.5, temperatura ambiente 20°C.
Temperatura de la celda a NOCT: velocidad del viento: 3m/s.
Tolerancia de medida: (Pmax, Uoc, Isc) ±1.2%

ESTÁNDARES

IEC 61215 / IEC 61730
UL 61730
ISO 9001:2015 / Sistema de Gestión de Calidad



CORPORATIVO
Paseo de la Reforma 2608 PH Lomas
Azca, Miguel Alemán CP 11890,
Ciudad de México

PLANTA
Carretera Panamericana México-Qro
Km 108, Jacótitlan, CP 98700
Estado de México

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

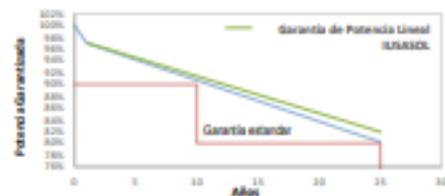
Celdas	60 celdas de silicio monocristalino PERC, M3
Arreglo de celdas	Arreglo 6 x 10
Dimensiones	1665 x 992 x 35 mm
Peso	18 kg
Frontal	Vidrio templado de 3.2 mm, antirreflejo.
Posterior	Lamina multicapa blanca
Marco	Aluminio anodizado natural
Caja de conexión	IP68, UL TUV con 3 diodos bypass
Conector	Compatible con MC4, resistente a la intemperie
Lámina	1x4mm ² de sección (12 AWG), largo: 1000 mm
Varina	25 módulos, 480kg
Conector (por Wp)	300 módulos

COEFICIENTES DE TEMPERATURA

Coefficiente de temperatura de Isc	+0.07% / °C
Coefficiente de temperatura de Voc	-0.36% / °C
Coefficiente de temperatura de Pmax	-0.38% / °C

IUSASOL® GARANTÍA

Garantía del producto: 15 años en materiales y mano de obra.
Garantía de potencia lineal: 25 años.



PRECAUCIÓN: Lea las instrucciones de instalación antes de utilizar el producto.

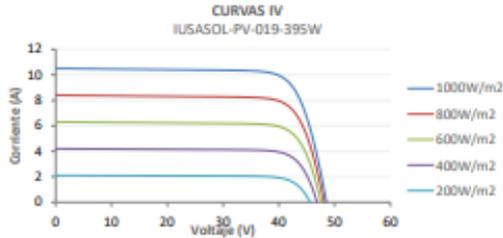
Panel solar 330 W 33.6 V y 9.87 A.

395W, 400W

CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN

Temperatura de Operación	-40°C - +85°C
Voltaje Máximo de Sistema	1500 V (IEC)
Resistencia al Fuego	CLASE C (IEC 61730)
Corriente Inversa Máxima	15 A
Clase de Aplicación	CLASE A
Tolerancia de Potencia	0 - +5W

CURVA IV



CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS EN CONDICIONES ESTÁNDAR STC

Código	223877	223901
Potencia Máxima	P _{max} (Wp)	395 400
Voltaje a Potencia Máxima	U _{mpp} V	41.5 41.6
Corriente a Potencia Máxima	I _{mpp} A	9.53 9.58
Voltaje a Circuito Abierto	U _{oc} V	49.2 49.3
Corriente a Corto Circuito	I _{sc} A	10.31 10.39
Eficiencia del Módulo	η	19.9% 20.2%

*Condiciones de prueba estándar(STC): Irradiancia de 1000 W/m², espectro AM 1.5, temperatura de la celda 25°C.
Tolerancia de medición: (P_{max}, Voc, Isc) +/- 2%

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS EN CONDICIONES NORMALES NOCT

Código	223877	223901
Potencia Máxima	P _{max} (Wp)	296 300
Voltaje a Potencia Máxima	U _{mpp} V	38.8 39.2
Corriente a Potencia Máxima	I _{mpp} A	7.65 7.68
Voltaje a Circuito Abierto	U _{oc} V	46.4 46.7
Corriente a Corto Circuito	I _{sc} A	8.36 8.42

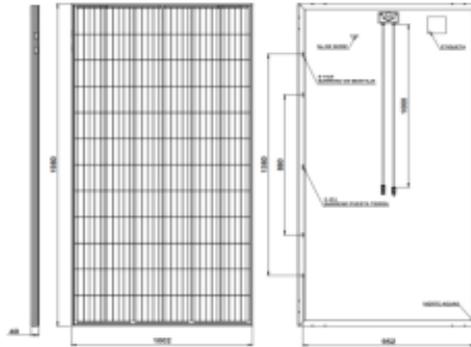
*Comportamiento a NOCT: Irradiancia de 800 W/m², espectro AM 1.5, temperatura ambiente 20°C, temperatura de la celda a NOCT, velocidad del viento 1m/s.
Tolerancia de medición: (P_{max}, Voc, Isc) +/- 2%

ESTÁNDARFS

IEC 61215 / IEC 61730
UL 61730
ISO 9001:2015 / Sistema de Gestión de Calidad



DIMENSIONES DEL MÓDULO (mm)



CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

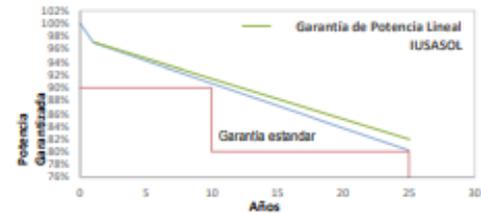
Celdas	72 celdas de silicio monocristalino PERC, M3
Arreglo de celdas	Arreglo 6 x 12
Dimensiones	1980 x 1002 x 40mm
Peso	22 kg
Frontal	Vidrio templado de 3.2 mm, antirreflejante
Posterior	Lamina multicapa blanca
Marco	Aluminio anodizado natural
Caja de conexión	IP68, UL, TUV, con 3 diodos bypass
Conector	Compatible con MC4, resistente a la intemperie
Cables	1x4mm ² de sección (12 AWG), largo 1000 mm
Tarima	25 módulos, 587Kg
Contenedor (40' HQ)	250 módulos

COEFICIENTES DE TEMPERATURA

Coefficiente de temperatura de Isc	+0.04% / °C
Coefficiente de temperatura de Voc	-0.29% / °C
Coefficiente de temperatura de P _{max}	-0.37% / °C

IUSASOL® GARANTÍA

Garantía del producto: 15 años en materiales y mano de obra.
Garantía de potencia lineal: 25 años.



Panel solar 400 W 41.6 V y 9.58 A

Panel Solar Monocristalino 39 VDC 500 W



MODELO

P30V-500W

CARACTERÍSTICA ESPECIAL

Monocristalino

MARCA

EVANS

CATEGORIA

Sistemas Interconectados

DIAGRAMA DE CONEXIÓN
SISTEMA FOTOVOLTAICO
INTERCONECTADO A RED



CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL PANEL

Número de celdas	144
Tipo de celda	Monocristalino
Espesor del vidrio	3.20 mm
Cable	4 mm ² x 1000 mm
Conectores	MC4
Material del marco	Aluminio anodizado

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS STC DEL PANEL

P _{max}	500.00 W
V _{mpp}	39.00 V
I _{mpp}	12.89 A
V _{oc}	46.80 V
I _{sc}	13.40 A
Eficiencia módulo	21.13 %
Voltaje máximo del sistema	1500.00 V
Fusible	20.00 A
Tolerancia de potencia	(0~ +5) %
Coefficiente de temperatura	-0.34 P _{max} (%/°C)
Coefficiente de temperatura	0.04 I _{sc} (%/°C)
Coefficiente de temperatura	-0.27 V _{oc} (%/°C)

USOS

Industrial / Comercial

BENEFICIOS

Tecnología alta eficiencia PERC,
tolerancia positiva 0~+5

Panel solar 500 W 39 V y 12.89 A



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS e INGENIERÍA

Programas educativos de calidad reconocidos por CIEES, CACEI y CONACYT
SGC Certificada en la norma ISO 9001:2015



Facultad de Ciencias
Químicas e Ingeniería



DR. LUIS CISNEROS VILLALOBOS
DRA. MARIANA ROMERO AGUILAR
DR. MOISÉS MONTIEL GONZÁLEZ
DR. ESTEBAN MONTIEL PALACIOS
DR. ROBERTO ALVARADO JUÁREZ
P R E S E N T E

FORMATO T-2
NOMBRAMIENTO DE COMISIÓN REVISORA
Y DICTAMEN DE REVISIÓN

Cuernavaca, Mor., a 24 de noviembre de 2022.

Por este conducto, me permito informarle que ha sido asignado como integrante de la Comisión Revisora de la tesis que presenta JESÚS DOMINGUEZ MARTINEZ, titulada: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TECNOCOMERCIAL-AMBIENTAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ECOTECNOLOGÍAS EN UN ESTABLECIMIENTO COMERCIAL DEL SUR DE MORELOS, realizada bajo la dirección del DR. MOISÉS MONTIEL GONZÁLEZ del Programa Educativo de Maestría en Ingeniería Ambiental y Tecnologías Sustentables. Agradezco su valiosa participación en esta Comisión y quedo a sus órdenes para cualquier aclaración o duda al respecto.

A T E N T A M E N T E
Por una humanidad culta

DRA. VIRIDIANA AYDEÉ LEÓN HERNÁNDEZ
DIRECTORA DE LA FCQEI

D I C T A M E N

DRA. VIRIDIANA AYDEÉ LEÓN HERNÁNDEZ
DIRECTORA DE LA FCQEI
P R E S E N T E

En respuesta a su amable solicitud para formar parte de la Comisión Revisora de la tesis mencionada y una vez realizada la revisión correspondiente, me permito informarle que mi VOTO es:.

D I C T A M E N

NOMBRE	VOTO	FIRMA
Dr. Luis Cisneros Villalobos	APROBADO	
Dra. Mariana Romero Aguilar	APROBADO	
Dr. Moisés Montiel González	APROBADO	
Dr. Esteban Montiel Palacios	APROBADO	
Dr. Roberto Alvarado Juárez	APROBADO	

Se anexan firmas electrónicas



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

VIRIDIANA AYDEE LEON HERNANDEZ | Fecha:2022-11-24 21:54:47 | Firmante

BsLiZQ8wX9k7illu6b1AY1es6pnm9BTvhDwzOmQclcaQ6ea6mXVSnF9ZsJ/B6D2fEspnQFglQHWFRZq/5Y6J9yGSutCBfAvwdTK1rcACIB0atrKfoV4nCP2wQEoisnoCF6wSCoFJ
Ys1e4YcXNSyRuKg3QTzaoWiAyVajdrV/z/S6k+9GoGRrRLg1e+c64rGD+oHyoTLc5p49Jc2Pkk5FRtY9MrzYBqHhk6uvGOSfXt1yip1OlzSH2mrCtjZLiSU7O8Zy9MKnN3tOKnbXL6
WaLeGCH+4CZgF71PYtLubZ243iILpEt4tAvXnu+BHbNfMe93VJALX3iN4TP5d+yqgitw==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[7EHwVyhqg](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/veEPzoLxaVflpjMNSOHFkB3hcsSVng3L>





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

MOISES MONTIEL GONZALEZ | Fecha:2022-11-25 09:26:39 | Firmante

D9ogK/ILkJWd6aJrjzLiyXuEMKEB6dL0REMrbCYmXxGIS+P6xdkZo7XcBvFotRxr+4zK+UWotUX4w5JPzZMgggisFoOOLdeh2pyzG7MPxuK68U7stQHXCMa6yNsSXARw08wUdnPLUColqAB5ILRtun7+BA6Hqb5fvRm5t65pVSuuYLVbNhg1ii43pC8zCmOtsRb5Sdzu657zMQJWzXnW2eytY11//Xcd9yC8CIVt0Xb7IvkdElrwtJJBHw3POERCi3pnZ8qN4Ok0B4+4knJ5EDmhefJwGcRYz0okHYEUobp2el8bcXh+490Mdf8PoBftMaBBR+3oY3/CVb/aClg==

LUIS CISNEROS VILLALOBOS | Fecha:2022-11-25 11:18:22 | Firmante

PqvHKFZP/HZaQFCSA9GYfYsK9AyRrwnFzoiFb2NwldwDRsFRMFuILRAVqYj5PP4kmXOZ//Cn96Jb0FR4VfkmU/8iRKAWvoi9Fq0y82xXgaOLmYRsyhjM5C5VPontG0KiUkUJzEGPTS04rZ4z55NmgCf12U0aJ6tf/zCwlfmToH4jDyWFIJfyPKE3LCJ50K5WmoeWl7poM+orV6ErK+oqMmLhBKRbK9/vzs2Honl7m1JjgKKi2lbcvxxGCVCs3hKRrGogI9sJvOs93fv1u33exvICgASiPkp+ml6IM0Gd0QupVbauEnhmYhqwFnC3yKyK9hSRLe05tMjtmClpw==

ESTEBAN MONTIEL PALACIOS | Fecha:2022-11-25 11:24:02 | Firmante

AnkwRWyHYZSgX4bCrMSOsyTi2c+LLxP6w4ABwa4Kvx4f6ZzoADyQ+BoJhZb5n/EQ35EdPxTLpuga0OyP2Syo8qarPBWToPcSt7AuN5ATPURj2EWCKj0YcgDY/NRHxIZDPzL1VCyqxdt8VqQOR4nWCUVnjl5aj3KwXjAvLZ1s8muE28tGRADqJpw1AzMyMtbBz5gKujFMznNS24FhIFGrdd7CamBzKZ+gY6f8t7S29dKt82s8nclth9//1K5LDI4XFafOn6qGYCBxYHbBWxq9zpxQSPX4UaaNXSyaOyG/XFrIWLwvao5jkSH9OoqGtyHyRkb/FvFce1N5F3EFCQ==

MARIANA ROMERO AGUILAR | Fecha:2022-11-25 13:55:28 | Firmante

m4ETcwwZPIRQhnrZ+AVbiHvy6H9C0zdubXCm1qVvuOJCmNNLYEnj/H9NbnqunSABZIGhmQ82I2DtfjTzo2DTJNvanp2fPtaZK0r90voDQP78evXEsD35ZK9uGwXZKjrDaxTyEp5JN7z1dMHU8MYXmWfB+V5FihJpOqiaLJ/R7tQTCePisoQXZpTXECXilg9yYe+UWnLgamTirksluwvT4xyWvXxgJi0uN08g5jBijKILq/41kn5h3H2amyMMsGyTTspHmn7MKd9Ngjpc8it/q//YHkiDxKJtkRVDjLLry3SLwlvDohNkvoaRPy0708IQcRHXXiWfAXtDLsIOt3eNq==

ROBERTO ALVARADO JUÁREZ | Fecha:2022-11-26 14:11:43 | Firmante

Mnj+d+N2fwHzEwPraVdaMdPjfi02doUW8De0jYKvE2f6kT/WcalSPOqPVYnzozyf98PUnfu/fGxcGr+7iq6tDWmd5g0n15olZJqn5+Z9Dz57oOemy1vmwgO6nGd7q4fS+lvfMBQukaTFWlftl6j6DMYKCUiX2OHhFFbYUbk9GUyAR94A/E5SbMYZPw+VEGfZurM6wldbgRecmA/TS2Oym+kZhDdfASKjDON6BmuukypNQkjlpt1iSbMeJYF4osiqRhPbby9J4t2yj1Pavglrw0B552E7FA7qwwH5vn9Vovziqt6C+MIPYMFyLLeLlByhLJePxs0TZxh9xa/okiw==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



KwN3xY7gd

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/Otk9cpPFA90UXj1rwP2NRZwdloZlpZpA>

