

**DIMENSIONAMIENTO DE PANELES SOLARES Y ACUMULADORES DEL
SISTEMA DE ENERGÍA ELÉCTRICA ACUMULADA A PARTIR DE FUENTE
RENOVABLE PARA UN AIRE ACONDICIONADO HÍBRIDO**

ALEXANDER BLANDÓN

JAIRO DE JESÚS GUTIÉRREZ UPEGUI

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA ELÉCTRICA

Medellín

2016

**DIMENSIONAMIENTO DE PANELES SOLARES Y ACUMULADORES DEL
SISTEMA DE ENERGÍA ELECTRICA ACUMULADA A PARTIR DE FUENTE
RENOVABLE PARA UN AIRE ACONDICIONADO HÍBRIDO**

ALEXANDER BLANDÓN

JAIRO DE JESÚS GUTIÉRREZ UPEGUI

Asesor

Mónica Isabel Narváez Patiño

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA ELÉCTRICA

Medellín

2016

Tabla de contenido

TABLAS, 6

TABLA DE ILUSTRACIONES, 6

LISTA DE TABLAS, 7

RESUMEN, 8

INTRODUCCIÓN, 10

MARCO TEÓRICO, 13

ENERGÍA RENOVABLE, 13

ENERGÍA SOLAR, 13

RADIACIÓN SOLAR EN LA TIERRA, 13

¿CÓMO APROVECHAR LA ENERGÍA SOLAR?, 15

Energía solar fotovoltaica, 16

LA IRRADIANCIA, 17

¿QUÉ ES UN SISTEMA FOTOVOLTAICO?, 18

Baterías o acumuladores de energía solar, 18

PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO, 19

Células de silicio mono cristalino, 20

Células de silicio poli cristalino, 20

Células de silicio amorfo, 20

AIRE ACONDICIONADO HÍBRIDO, 22

AUTONOMÍA, 22

TABLERO DE TRANSFERENCIA (AUTOMATIC TRANSFER SWITCH), 23

REGULADOR DE CARGA, 24

CONVERSOR DE ENERGÍA, 24

METODOLOGÍA, 26

DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA, 26

Generalidades y parámetros de diseño, 26

Relación de componentes de la instalación fotovoltaica, 27

DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS, 27

Módulos fotovoltaicos, 27

Conexión entre los módulos, 30

Rango de funcionamiento entre los módulos y el inversor, 30

Estructura soporte, 30

Acumuladores, 32

Regulador de carga, 34

Inversor, 37

Cableado, 40

Protecciones y puesta a tierra, 40

DISEÑO DE LA INSTALACIÓN, 41

Estimación del consumo de energía, 41

Pérdidas en la instalación, 42

Pérdidas por efecto Joule en el cableado, 47

Radiación solar, 48

Producción energética estimada, 49

Inversor, 50

Sistema de acumuladores, 51

Regulador, 53

Montaje, 54

PRESUPUESTO, 56

ANÁLISIS Y RESULTADOS, 57

CONCLUSIONES, 66

RECOMENDACIONES, 67

BIBLIOGRAFÍA, 68

ANEXOS, 69

Tablas

Tabla de ilustraciones

Ilustración 1 Partes de un sistema solar fotovoltaico, 21

Ilustración 2 Aire acondicionado hibrido, 22

Ilustración 3 Panel solar 300Wp Mtek, 29

Ilustración 4 Instalación de paneles solares en el sitio, 32

Ilustración 5 Baterías de ciclo profundo, 34

Ilustración 6 Inversor - regulador Mtek linea Zefirot 10kVA, 39

Ilustración 7 Ubicación geográfica de la instalación, 43

Ilustración 8 Grafico de sombras sobre la instalación, 44

Ilustración 9 Gabinete de control e inversor en sitio, 55

Lista de tablas

Tabla 1 Radiación solar según el tipo de cielo, 14

Tabla 2 Radiación solar en Colombia por regiones, 15

Tabla 3 Componentes de la instalación fotovoltaica, 27

Tabla 4 Inclinación óptima de los paneles según la época, 42

Tabla 5 Pérdidas por sombras sobre los paneles, 45

Tabla 6 Pérdidas máximas permitidas, 45

Tabla 7 Pérdidas en el cableado, 47

Tabla 8 Radiación solar sobre los paneles, 49

Tabla 9 Características, cantidad y costos de los elementos, 56

Resumen

En la realización de este trabajo, se logró dimensionar un sistema solar fotovoltaico, con la utilización de paneles solares policristalinos, acumuladores, controladores de carga e inversores, los cuales tienen por objeto proveer energía eléctrica a un equipo de aire acondicionado híbrido que es utilizado para procesos pedagógicos en el laboratorio de refrigeración de la Institución Universitaria Pascual Bravo, en la ciudad de Medellín Colombia, cumpliendo así con el objetivo general del proyecto que es, dimensionar el número de paneles solares fotovoltaicos, su potencia y los acumuladores necesarios para brindar una autonomía de 60 minutos diarios a plena carga de un sistema de aire acondicionado híbrido en horario nocturno, para este dimensionamiento se hace una investigación del sistema montado actualmente, el que consta de 4 paneles solares con micro inversores, una condensadora y una manejadora que tienen un consumo de potencia de 2,5 kW a 220v, este equipo funciona de forma híbrida, pero solo funciona en presencia de luz solar ya que no posee acumulación.

El sistema que se montó en este proyecto, consta de un sistema solar fotovoltaico que debe ser utilizado en horas nocturnas, para el funcionamiento del equipo de aire acondicionado híbrido, convirtiéndose este sistema en una fuente alternativa de energía limitada a una utilización máxima diaria de 60 minutos, no necesariamente continuos.

Con el fin de dimensionar el número de paneles solares fotovoltaicos, su potencia y elementos necesarios para la carga de los acumuladores y definir la cantidad y capacidad

de los acumuladores para dar la autonomía de 60 minutos diarios a plena carga al sistema de aire acondicionado híbrido en horario nocturno se hicieron los cálculos y análisis necesarios para cumplir con estos objetivos.

Este proyecto es complementado por otros proyectos que hacen parte integral de un proyecto mayor en el que se hace uso de transferencia automática controlada por PLC y el uso de analizadores de redes para medir las variables eléctricas más importantes del sistema.

Introducción

El mundo actual tiene una gran demanda de energía proveniente de combustibles fósiles. Se observa con preocupación que cada día crece más la dependencia de energía convencional, pues el hombre cada día inventa sistemas, equipos y artículos que consumen energía no renovable. Las previsiones de energía eléctrica de todo tipo de fuentes para 2020 son de 20 TW (TeraWatts) y para 2030 de 23 TW (Agencia Internacional de Energía (AIE), se observa que en la actualidad se usa un 75% de energías provenientes de combustibles fósiles (energías no renovables) y un 25% de energías renovables (AIE), se espera un crecimiento en energías renovables hasta del 40% en 2020 (AIE). (Fernández Martínez, Navarrete Barbosa, Sánchez Liévano, Ontiveros Montesinos, Rodríguez Bolaños, & Jaime Buenrostro, 2012)

Las celdas fotovoltaicas continúan siendo la tecnología de generación de electricidad de más rápido crecimiento a nivel mundial. Entre el 2004 y el 2009 los sistemas fotovoltaicos conectados a la red mundial crecieron a una tasa del 60 % anual (AIE). La potencia total acumulada instalada en el 2009 es seis (6) veces mayores a la instalada en el 2004 (AIE). En Medellín el nivel de radiación solar promedio es de 4,5 kwh-m²/día (Atlas de radiación solar) lo que permite diseñar el sistema para la autonomía requerida, ayudando con la conservación del medio ambiente, aportando en el ahorro económico y energético de la institución Universitaria Pascual Bravo, servir como referente para la comunidad y

propiciar el uso de energías alternativas. (Fernández Martínez, Navarrete Barbosa, Sánchez Liévano, Ontiveros Montesinos, Rodríguez Bolaños, & Jaime Buenrostro, 2012)

El mercado fotovoltaico mundial creció 50 GW el año pasado (2015), mientras que la capacidad total ha alcanzado al menos los 227 GW, de acuerdo con el Programa del Sistema de Energía Fotovoltaica de la Agencia Internacional de Energía (AIE PVPS), Programa del Sistema de Energía Fotovoltaica recientemente publicado en su informe Instantánea del Mercado Global Fotovoltaico 2015.

Los avances más significativos se observaron en China, donde el mercado añadió 15,3 GW, según la AIE . El segundo mercado más importante fue Japón con 11 GW año pasado, por delante de la Unión Europea y EEUU, con más de 7 GW cada uno. La agencia destaca a la India, con 2 GW, como “la estrella ascendente en el sector fotovoltaico.” (Roca, 2006)

Es por esto que la ingeniería tiene el deber de buscar alternativas que conlleven a disminuir la dependencia de las energías no renovables, motivar el auto-consumo y el uso de nuevas tecnologías en generación.

En la búsqueda de contribuir con el cuidado del medio ambiente y el desarrollo sostenible, la institución universitaria Pascual Bravo, ha incentivado a la comunidad estudiantil y específicamente a los estudiantes de ingeniería eléctrica a incursionar en el mundo de energías renovables que según proyecciones internacionales en el mediano plazo será este tipo de energías las de mayor crecimiento a nivel mundial.

En la Institución Universitaria Pascual Bravo actualmente se encuentra un sistema de aire acondicionado híbrido para efectos académicos ubicado en el laboratorio de refrigeración, bloque 4-E aula 201, este sistema funciona a partir de generación de electricidad empleando sistemas fotovoltaicos en horas diurnas y utilizando parte de energía eléctrica tomada de la red normal.

Este sistema de aire acondicionado en las horas nocturnas carece de aprovechamiento de la energía solar debido a que no cuenta con acumulación de energía, utilizando el 100% del consumo de potencia de la red eléctrica normal.

Es por este motivo que se instaló un sistema con paneles fotovoltaicos adicional que en horas diurnas acumula energía para ser aprovechada durante 60 minutos diarios en horario nocturno en el sistema de aire acondicionado

Se implementó así un sistema de energía renovable acumulada a partir de paneles solares que alimentan un aire acondicionado híbrido con una autonomía de 60 minutos. Este proyecto se enfocó en el dimensionamiento de los paneles solares y los acumuladores necesarios para lograr la autonomía propuesta, además es necesario el diseño, control e implementación de una transferencia de energía eléctrica y el uso de un analizador de redes para monitorear el consumo y el ahorro energético que fueron objeto de otros proyectos complementarios a este.

El sistema propuesto en este proyecto aportará en el desarrollo del aprendizaje para la comunidad educativa que utiliza el laboratorio de refrigeración.

Marco teórico

Energía renovable

Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales. Entre las energías renovables se cuentan la eólica, geotérmica, hidroeléctrica, mareomotriz, solar, la biomasa y los biocarburantes.

Energía solar

La energía solar se define como la energía producida por reacciones nucleares al interior del Sol, que son transmitidas en forma de ondas electromagnéticas a través del espacio (radiación solar).

Radiación solar en la Tierra

El Sol irradia energía a una tasa de 3.9×10^{23} vatios y perpendicularmente, sobre la parte superior de la atmósfera, nuestro planeta recibe una radiación solar promedio de 1 367 vatios por cada metro cuadrado (Cartilla energías renovables UPME). Las variaciones en la cantidad de radiación solar recibida dependen de los cambios en la distancia al Sol como consecuencia de la órbita elíptica que recorre la tierra alrededor del mismo. Otras

variaciones son ocasionadas por pequeñas irregularidades en la superficie solar en combinación con la rotación del sol y posibles cambios temporales de su luminosidad. La radiación solar directa no tiene cambios en su dirección desde el sol hasta la superficie terrestre. Una vez dentro del planeta, las características físicas y la composición química de la atmósfera afectan la cantidad y el tipo de radiación que alcanza la superficie, razón por la cual, durante períodos de abundante nubosidad o bruma, la radiación que incide es esencialmente dispersada por partículas y moléculas del aire (radiación difusa).

Cantidad de radiación solar. Para conocer la cantidad de energía que se puede obtener del Sol, es necesario medir la cantidad de radiación solar (directa más difusa) que recibe realmente una región. Esta cantidad de radiación disponible para convertir en energía útil en una localidad depende de varios factores: posición del Sol en el cielo, que varía diaria y anualmente; condiciones atmosféricas generales y del microclima; altura sobre el nivel del mar y la duración del día (época del año). La máxima cantidad disponible sobre la superficie de la tierra en un día claro, fluctúa alrededor de 1 000 vatios pico por metro cuadrado (Cartilla energías renovables UPME).

TIPO DE CIELO	RADIACIÓN SOLAR en W/m ²
Constantemente nublado	Menos de 300
Nubosidad media	Entre 300 y 400
Nubosidad mínima	Entre 400 y 500
Cielo despejado	500 en adelante

Tabla 1 Radiación solar según el tipo de cielo

Energía solar en Colombia. Durante el año de 1992, el antiguo HIMAT y el INEA realizaron el primer Atlas de radiación solar de Colombia, tomando series anuales durante el periodo de 1980 a 1990, de 203 estaciones, así se establecieron niveles de radiación promedio anual diaria en kilovatios hora por metro cuadrado (kWh/m²). En general, el potencial solar en el país es alto, y tiene la enorme ventaja de que la radiación solar es uniforme durante el año.

Región	Radiación Solar (kW/m²/año)
Guajira	1980 - 2340
Costa Atlántica	1260 - 2340
Orinoquia	1440 - 2160
Amazonia	1440 - 1800
Andina	1080 - 1620
Costa Pacífica	1080 - 1440

Tabla 2 Radiación solar en Colombia por regiones

¿Cómo aprovechar la energía solar?

Para transformar la energía solar en este proyecto se utilizará el siguiente tipo de tecnología:

Energía solar fotovoltaica

Un sistema solar fotovoltaico funciona cuando el campo de módulos fotovoltaicos convierte en corriente eléctrica directa la energía solar que recibe durante el día. Dicha corriente transporta y almacena la energía eléctrica en la batería para ser utilizada en el momento que el usuario lo requiera para el televisor, radio o iluminación. La energía eléctrica que los módulos fotovoltaicos envían a la batería y que ésta suministra a la carga pasa por el controlador de carga, cuya función es proteger a los otros elementos del sistema contra sobrecargas o descargas excesivas, altas corrientes y bajos voltajes. Todos los módulos se conectan en serie o en paralelo para obtener las tensiones y corrientes que provean la potencia deseada. Los módulos se fabrican, generalmente, para tener una salida de 12 Vdc, varían desde unos cuantos vatios fotovoltaicos (2.8 Vatios pico, Wp) hasta 300 Wp, y su voltaje y corrientes son variables según la configuración de los paneles.

Los sistemas fotovoltaicos con batería de almacenamiento pueden diseñarse para equipos que utilicen corriente del tipo directa (DC) o alterna (AC). Si se quiere utilizar un equipo que funciona con corriente AC, debe acondicionarse un inversor para alimentar la carga. Entre los usos más frecuentes que se dan en hogares, fincas, industria, comercio, transporte, edificios, comunicaciones se encuentran:

- Iluminación interior o exterior.
- Señales de advertencia: luces, sirenas.
- Monitoreo: agua, aire, temperatura, flujo, movimiento.
- Batería para vehículo.
- Protección catódica contra la corrosión.
- Interruptores: eléctricos, válvulas, apertura compuertas.

- Control de encendido, radio, teléfono, telemetría.
- Bombeo de aceite y combustible.
- Refrigeración.

La irradiancia

La bóveda celeste diurna emite la radiación difusa debido a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar en la atmósfera, en las nubes y el resto de elementos atmosféricos y terrestres. La radiación directa puede reflejarse y concentrarse para su utilización, mientras que no es posible concentrar la luz difusa que proviene de todas las direcciones. La irradiancia directa normal (o perpendicular a los rayos solares) fuera de la atmósfera, recibe el nombre de solar y tiene un valor medio de 1366 W/m^2 .

En este orden de ideas el aprovechamiento del recurso de irradiancia directa para la generación de electricidad tiene un mejor rendimiento en los lugares donde la concentración de radiación de luz emitida por el sol, presenta condiciones de mayor constancia, sin dejar de lado su magnitud. Las zonas costeras y pertenecientes a los trópicos presentan las condiciones ideales de implementación de este recurso, sin embargo, es imperioso, teniendo en cuenta el principio de funcionamiento de los paneles solares, evitar

la obstrucción de luz por contaminación, lo que genera entonces la necesidad de implementar en lugares donde el nivel de polución y contaminación no sean muy elevados.

¿Qué es un sistema fotovoltaico?

Un sistema fotovoltaico es un conjunto de dispositivos que aprovechan la energía producida por el sol y la convierten en energía eléctrica.

Los sistemas fotovoltaicos se basan en la capacidad de las celdas fotovoltaicas de transformar energía solar en energía eléctrica (DC). En un sistema conectado a la red eléctrica esta energía, mediante el uso de un inversor, es transformada a corriente alterna (AC), la cual puede ser utilizada en hogares e industrias. (ERT, 2016)

Baterías o acumuladores de energía solar

La energía que se produce en las placas solares proveniente de los rayos del astro rey debe ser almacenada ya que si no es así se produciría un considerable desaprovechamiento de energía ya producida. Para ello existen las baterías solares, para poder conservar aquello que producimos ya sea para uso propio como para su venta o inversión en explotaciones de mayor escala que las que pueda tener un particular cualquiera. Lo lógico a la hora de escoger una batería sería analizar y valorar entre varios modelos la capacidad que pueden tener almacenada, el tamaño de las mismas, la complejidad a la hora de usarlas, el modo de instalación recomendado, la capacidad de descarga y el coste principalmente.

Panel solar fotovoltaico

Un panel solar o módulo solar es un dispositivo que capta la energía de la radiación solar para su aprovechamiento. El término comprende a los colectores solares, utilizados usualmente para producir agua caliente doméstica mediante energía solar térmica, y a los paneles fotovoltaicos, utilizados para generar electricidad mediante energía solar fotovoltaica.

Los paneles fotovoltaicos: están formados por numerosas celdas que convierten la luz en electricidad. Las celdas a veces son llamadas células fotovoltaicas. Estas celdas dependen del efecto fotovoltaico por el que la energía lumínica produce cargas positiva y negativa en dos semiconductores próximos de diferente tipo, produciendo así un campo eléctrico capaz de generar una corriente.

Los materiales para celdas solares suelen ser silicio cristalino o arseniuro de galio. Los cristales de arseniuro de galio se fabrican especialmente para uso fotovoltaico, mientras que los cristales de silicio están disponibles en lingotes normalizados, más baratos, producidos principalmente para el consumo de la industria microelectrónica. El silicio policristalino tiene una menor eficacia de conversión, pero también menor coste.

Cuando se expone a luz solar directa, una celda de silicio de 6 cm de diámetro puede producir una corriente de alrededor 0,5 A a 0,5 V (equivalente a un promedio de 90 W/m², en un campo de normalmente 50-150 W/m², dependiendo del brillo solar y la eficiencia de la celda). El arseniuro de galio es más eficaz que el silicio, pero también más costoso.

Células de silicio mono cristalino

Están constituidas por un único cristal de silicio. Este tipo de células presenta un color azul oscuro uniforme.

Células de silicio poli cristalino

También llamado multicristalino, están constituidas por un conjunto de cristales de silicio, lo que explica que su rendimiento sea algo inferior al de las células monocristalinas. Se caracterizan por un color azul más intenso.

Células de silicio amorfo

Son menos eficientes que las células de silicio cristalino, pero también más barato. Este tipo de células es, por ejemplo, el que se emplea en aplicaciones solares como relojes o calculadoras.

Los lingotes cristalinos se cortan en discos finos como una oblea, pulidos para eliminar posibles daños causados por el corte. Se introducen dopantes —impurezas añadidas para modificar las propiedades conductoras— en las obleas, y se depositan conductores metálicos en cada superficie: una fina rejilla en el lado donde da la luz solar y usualmente una hoja plana en el otro.

Los paneles solares se construyen con estas celdas agrupadas en forma apropiada. Para protegerlos de daños, causados por radiación o por el manejo de éstos, en la superficie frontal se los cubre con una cubierta de vidrio y se pegan sobre un sustrato —el cual puede

ser un panel rígido o una manta blanda—. Se hacen conexiones eléctricas en serie-paralelo para fijar el voltaje total de salida. El pegamento y el sustrato deben ser conductores térmicos, ya que las celdas se calientan al absorber la energía infrarroja que no se convierte en electricidad. Debido a que el calentamiento de las celdas reduce la eficacia de operación es deseable minimizarlo. Los ensamblajes resultantes se llaman paneles solares.

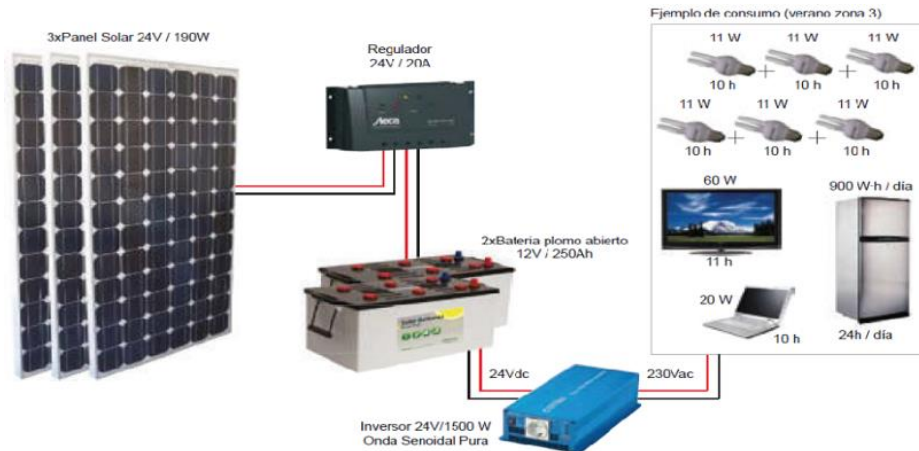


Ilustración 1 Partes de un sistema solar fotovoltaico

Aire acondicionado híbrido

Es aquel que puede trabajar con la energía solar fotovoltaica acumulada y también con la energía eléctrica de la red eléctrica de corriente alterna (operador de red).

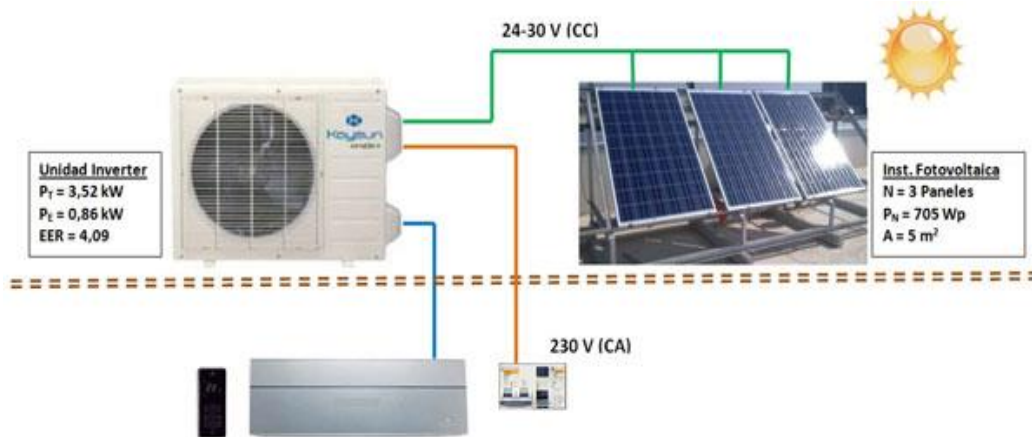


Ilustración 2 Aire acondicionado híbrido

Autonomía

Los sistemas autónomos que para generar electricidad emplean como fuente primaria un tipo de energía renovable, como la fotovoltaica o la eólica, por lo regular contienen un dispositivo acumulador de energía, o sea, utilizan baterías.

Se denominan «minutos de autonomía» A los minutos en que el sistema puede continuar sus funciones (consumo de energía), sin que exista generación de la fuente primaria. Esto se logra mediante la acumulación de la cantidad de energía necesaria en las baterías.

Tablero de transferencia (Automatic Transfer Switch)

Es una unidad que se instala para que inmediatamente se presente una falla en el suministro de energía se encienda la planta eléctrica o grupo electrógeno alterno.

La transferencia automática es un complemento muy útil para la planta eléctrica. Cuando la necesidad de energía eléctrica es constante para garantizar la seguridad de las personas y de los locales comerciales, conservación de alimentos, funcionamiento de equipos y maquinarias para procesos productivos y de atención al cliente.

Tiene la ventaja de adaptarse a las necesidades del cliente, pudiéndose programar tiempos de encendido y apagado con un reloj que es adaptado y sincronizado, el cual puede reprogramarse cuando los usuarios así lo requieran.

Para los lugares donde la falta de energía así sea por unos segundos genera inconvenientes y pérdidas, como en el uso de maquinarias, centros de cómputo, oficinas, locales comerciales, entre otros, se crea un sistema de respaldo que además de la planta eléctrica. Con su transferencia automática, se complementa con una UPS (Fuente Ininterrumpida de potencia) que evita la pérdida de energía así sea por un segundo por tener baterías propias de respaldo.

Para el caso de este proyecto la transferencia puede ser utilizada cuando se descarguen las baterías o cuando se desee que el aire acondicionado trabaje con la red de

corriente alterna. También cuando ocurra una falla en el sistema eléctrico la transferencia hará que entre en servicio el sistema de energía solar fotovoltaica

Regulador de carga

Un regulador de tensión o regulador de voltaje es un dispositivo electrónico diseñado para mantener un nivel de tensión constante.

Un regulador solar (o de carga) es un dispositivo encargado de controlar constantemente el estado de carga de las baterías, así como de regular la intensidad de carga con el fin de alargar la vida útil de las baterías. Controla la entrada de corriente proveniente del panel solar y evita que se produzcan sobrecargas y sobredescargas profundas en la batería.

Convertor de energía

La conversión de potencia es el proceso de convertir la energía de una forma a otra. Esto podría incluir los procesos electromecánicos o electroquímicos.

En la ingeniería eléctrica, la conversión de potencia tiene un significado más específico, que es la conversión de energía eléctrica de una forma a otra. Esto puede ser tan sencillo como un transformador para cambiar el voltaje de redes de corriente alterna, pero incluye también sistemas mucho más complejos. Los sistemas de conversión de potencia a

menudo incorporan la regulación de tensión (voltaje), que es el control de su valor dentro de ciertos límites.

Las formas típicas de conversión incluyen:

- corriente continua a corriente continua.
- corriente alterna a corriente continua (rectificador).
- corriente continua a corriente alterna (inversor).
- corriente alterna a corriente alterna.
- Voltaje a corriente (fuente de intensidad).

El conversor que aplica para el proyecto en mención es el que convierte la corriente continua en corriente alterna, es decir un inversor.

UMA

Unidad manejadora, este equipo es el encargado de hacer la transferencia de calor entre el aire del ambiente interior y el gas refrigerante que es conducido por un serpentín o radiador , el cual es atravesado por el aire forzado por un ventilador.

UCA

Unidad condensadora, este equipo es el encargado de hacer la transferencia de calor entre el gas refrigerante y el ambiente exterior, por medio de un serpentín o radiador , el cual es atravesado por el aire forzado por un ventilador.

Metodología

Descripción técnica de la instalación solar fotovoltaica

A continuación se presentan los parámetros técnicos que se utilizaron para el diseño e implementación de este proyecto, se hace necesario mencionar que los diseños fueron hechos con la ayuda de un software de diseño de redes eléctricas llamado CYPELEC de la organización CYPE , utilizando el módulo de Redes Eléctricas de Baja Tensión **CYPELEC REBT**, el cual es utilizado con licencia de prueba y se ajustan textos generados en su informe que son adaptados para el este proyecto específico. (CYPE, 2016)

Generalidades y parámetros de diseño

Todas las instalaciones debieron cumplir con las exigencias de protecciones y seguridad de las personas, y entre ellas las dispuestas en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE y la Norma Técnica Colombiana NTC-2050

Como principio general, se tiene que asegurar, como mínimo, un grado de aislamiento eléctrico de tipo básico (clase I) para equipos y materiales.

Se incluyen todos los elementos necesarios de seguridad para proteger a las personas frente a contactos directos e indirectos.

Se incluyen todas las protecciones necesarias para proteger a la instalación frente a cortocircuitos, sobrecargas y sobretensiones.

Los materiales situados en intemperie se protegieron contra los agentes ambientales, en particular contra el efecto de la radiación solar y la humedad. Todos los equipos expuestos a la intemperie tienen un grado mínimo de protección IP 65, y los de interior, IP 20. Los equipos electrónicos de la instalación cumplen con las directivas comunitarias de seguridad eléctrica y compatibilidad electromagnética.

Relación de componentes de la instalación fotovoltaica

Descripción	Cantidad
Panel fotovoltaico, potencia nominal: 300.00 W	2.00
Inversor, potencia nominal: 6.00 kW	1.00
Regulador de carga, corriente de carga: 70.00 A	2.00
Baterías de acumulación, capacidad: C20 h 100.00 Ah	4.00
Interruptores Magneto térmicos	
Descripción	Cantidad
Doméstico o análogo (IEC 60898); In: 40 A; Icu: 6 kA; Curva: C. 2P	1.00

Tabla 3 Componentes de la instalación fotovoltaica

Descripción de los equipos

Módulos fotovoltaicos

Se dispone de 2 paneles fotovoltaicos con una potencia nominal de 300 Wp cada uno de 24Vdc. Todos los módulos que integren la instalación deben ser del mismo modelo, o

en el caso de modelos distintos, el diseño debe garantizar totalmente la compatibilidad entre ellos y la ausencia de efectos negativos en la instalación por dicha causa.

Se utilizan módulos que se ajusten a las características técnicas descritas a continuación.

Los módulos deben llevar los diodos de derivación necesarios para evitar las posibles averías de las células y de sus circuitos por sombreados parciales, que tendrán un grado de protección IP 65.

Para que un módulo resulte aceptable, su potencia máxima y corriente de cortocircuito reales, referidas a condiciones estándar deberán estar comprendidas en el margen del $\pm 5\%$ de los correspondientes valores nominales de catálogo.

Es rechazado cualquier módulo que presente defectos de fabricación, como roturas o manchas en cualquiera de sus elementos, así como falta de alineación en las células, o burbujas en el encapsulante.

Los marcos laterales, deben ser de aluminio o de acero inoxidable. Cuando las tensiones nominales en continua sean superiores a 48 V, la estructura del generador y los marcos metálicos de los módulos están conectados a una toma de tierra, que es la misma que la del resto de la instalación.

Se instalaron los elementos necesarios para la desconexión, de forma independiente y en ambos terminales, de cada una de las ramas de los paneles.



Ilustración 3 Panel solar 300Wp Mtek

Conexión entre los módulos

Los paneles debieron ser escogidos de manera que se permita establecer una configuración modular mediante la interconexión de varias unidades. Mediante asociaciones en serie y en paralelo fue posible garantizar la tensión e intensidad requeridas.

Con este fin, la instalación diseñada se compone de una rama de 2 paneles, de este modo, se consigue una tensión de 73.20 V y una intensidad total de 8.19 A.

Rango de funcionamiento entre los módulos y el inversor

El inversor escogido debió cumplir con los siguientes parámetros límite:

Las tensiones producidas bajo 1000 W/m^2 y a una temperatura de 25°C están dentro de los límites que nos definen la NTC-2050 en la sección 690. Ver anexo

Estructura soporte

Se dispondrán las estructuras soporte necesarias para montar los módulos solares incluyendo todos los accesorios y bancadas y/o anclajes, evitando cualquier sombra proyectada sobre los módulos solares.

La estructura soporte de los módulos solares ha de resistir, con los módulos instalados, las sobrecargas de viento y agua.

El diseño y la construcción de la estructura y del sistema de fijación de módulos, se realizará para la orientación y el ángulo de inclinación especificado para el generador fotovoltaico, teniendo en cuenta la facilidad de montaje y desmontaje, y la posible necesidad de sustituciones de elementos. Además, permitirá las necesarias dilataciones térmicas sin transmitir cargas que puedan afectar a la integridad de los módulos, siguiendo las indicaciones del fabricante.

La estructura se protegerá superficialmente contra la acción de los agentes ambientales. La realización de taladros en la estructura se llevará a cabo antes de proceder, en su caso, al galvanizado o protección de la estructura. La tornillería será realizada en acero inoxidable. En el caso de que la estructura sea galvanizada se admitirán tornillos galvanizados, exceptuando la sujeción de los módulos a la misma, que serán de acero inoxidable.



Ilustración 4 Instalación de paneles solares en el sitio

Acumuladores

Los acumuladores (baterías) son de plomo-ácido, preferentemente estacionarias y de placa tubular. Las baterías estacionarias normalmente se componen de celdas individuales de 2 V, conectadas en serie para alcanzar la tensión deseada (12, 24 o 48 V), aunque también pueden ser utilizadas baterías de estructura compacta (monobloc) para pequeñas instalaciones. No se permite el uso de baterías de arranque.

Para asegurar una adecuada recarga de las baterías, la capacidad nominal del acumulador (en Ah) no excede en 25 veces la corriente (en A) de cortocircuito en CEM (condiciones estándar de medida) del generador fotovoltaico.

La máxima profundidad de descarga (referida a la capacidad nominal del acumulador) no excede el 80% en instalaciones donde se prevea que descargas tan profundas no son frecuentes. En aquellas aplicaciones en las que estas sobre-descargas puedan ser habituales, tales como alumbrado público, la máxima profundidad de descarga no puede superar el 60%.

Se protegió, especialmente frente a sobrecargas, a las baterías con electrolito gelificado, de acuerdo a las recomendaciones del fabricante haciendo uso del controlador de carga.

La capacidad inicial del acumulador es superior al 90% de la capacidad nominal. En cualquier caso, deben seguirse las recomendaciones del fabricante para aquellas baterías que requieran una carga inicial.

La autodescarga del acumulador a 20°C no excedió el 6% de su capacidad nominal por mes.

La vida del acumulador, definida como la correspondiente hasta que su capacidad residual caiga por debajo del 80% de su capacidad nominal, debe ser superior a 1000 ciclos, cuando se descarga el acumulador hasta una profundidad del 50% a 20°C.

El acumulador fue instalado siguiendo las recomendaciones del fabricante. En cualquier caso, debió asegurarse lo siguiente:

- El acumulador se sitúa en un lugar ventilado y con acceso restringido.
- Se adoptaron las medidas de protección necesarias para evitar el cortocircuito accidental de los terminales del acumulador, por ejemplo, mediante cubiertas aislantes.

Cada batería, o vaso, está etiquetado, al menos, con la siguiente información:

- - Tensión nominal (V)
 - Polaridad de los terminales Capacidad nominal (Ah)
 - Fabricante (nombre o logotipo) y número de serie



Ilustración 5 Baterías de ciclo profundo

Regulador de carga

El regulador de carga protege las baterías contra sobrecargas y sobre-descargas, aunque dichas funciones pueden incorporarse en otros equipos siempre que se asegure una protección equivalente. Se tomaron las medidas adecuadas para permitir el paso de corriente en un sólo sentido (del panel hacia la batería), y no en sentido contrario.

En los reguladores de carga que se utilizaron la tensión del acumulador como referencia para la regulación debieron cumplir los siguientes requisitos:

- La tensión de desconexión de la carga de consumo del regulador debió elegirse para que la interrupción del suministro de electricidad a las cargas se produzca cuando el acumulador haya alcanzado la profundidad máxima de descarga permitida.

- La precisión en las tensiones de corte efectivas respecto a los valores fijados en el regulador fue del 1%. La tensión final de carga debe asegurar la correcta carga de la batería.

- Se permitirán sobrecargas controladas del acumulador para evitar la estratificación del electrolito o para realizar cargas de igualación.

Se permitirá el uso de otros reguladores que utilicen diferentes estrategias de regulación atendiendo a otros parámetros, como por ejemplo, el estado de carga del acumulador. En cualquier caso, deberá asegurarse una protección equivalente del acumulador contra sobrecargas y sobre-descargas.

Los reguladores de carga están protegidos frente a cortocircuitos en la línea de consumo y se seleccionan para que sean capaces de resistir sin daño una sobrecarga simultánea, a la temperatura ambiente máxima, de:

- Corriente en la línea de generador: un 25% superior a la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico en CEM.

- Corriente en la línea de consumo: un 25% superior a la corriente máxima de la carga de consumo.

El regulador de carga está protegido contra la posibilidad de desconexión accidental del acumulador, con el generador operando en las CEM y con cualquier carga. En estas condiciones, el regulador asegura, además de su propia protección, la de las cargas conectadas.

Al ser el sistema menor de 1 kW en el lado de paneles solares, las caídas internas de tensión del regulador entre sus terminales de generador-acumulador y batería-consumo son inferiores al 4% de la tensión nominal, incluyendo los terminales.

Estos valores se especifican para corriente nula en la línea de consumo y corriente en la línea generador-acumulador igual a la corriente máxima especificada para el regulador.

Las pérdidas de energía diarias causadas por el autoconsumo del regulador en condiciones normales de operación son inferiores al 3% del consumo diario de energía.

Las tensiones de reconexión de sobrecarga y sobredescarga son distintas de las de desconexión, o bien están temporizadas, para evitar oscilaciones desconexión-reconexión.

El regulador de carga está etiquetado con al menos la siguiente información:

- Tensión nominal (V)
- Corriente máxima (A)
- - Fabricante (nombre o logotipo) y número de serie Polaridad de terminales y conexiones

Inversor

Los requisitos técnicos de este apartado se aplican a inversores monofásicos o trifásicos que funcionan como fuente de tensión fija (valor eficaz de la tensión y frecuencia de salida fijos). Para otros tipos de inversores se aseguran requisitos de calidad equivalentes.

Los inversores son de **onda senoidal pura**. Se permite el uso de inversores de onda no senoidal, si su potencia nominal es inferior a 1 kVA, no producen daño a las cargas y aseguran una correcta operación de éstas.

Los inversores se conectan a la salida de consumo del regulador de carga o en bornes del acumulador. En este último caso, se asegura la protección del acumulador frente a sobrecargas y sobredescargas.

Estas protecciones están incorporadas en el propio inversor o se realizan con el regulador de carga, en cuyo caso el regulador permite breves bajadas de tensión en el acumulador para asegurar el arranque del inversor.

El inversor asegura una correcta operación en todo el margen de tensiones de entrada permitidas por el sistema.

La regulación del inversor asegura que la tensión y la frecuencia de salida están en los siguientes márgenes, en cualquier condición de operación:

$V_{NOM} \pm 5\%$, siendo $V_{NOM} = 220 \text{ VRMS}$ o 230 VRMS $60 \text{ Hz} \pm 2\%$

El inversor es capaz de entregar la potencia nominal de forma continuada, en el margen de temperatura ambiente especificado por el fabricante.

El inversor arranca y opera todas las cargas especificadas en la instalación, especialmente aquellas que requieren elevadas corrientes de arranque (TV, motores, etc.), sin interferir en su correcta operación ni en el resto de cargas.

Los inversores estarán protegidos frente a las siguientes situaciones:

Tensión de entrada fuera del margen de operación.

Desconexión del acumulador.

Cortocircuito en la salida de corriente alterna.

Sobrecargas que excedan la duración y límites permitidos.

El autoconsumo del inversor sin carga conectada es menor o igual al 2% de la potencia nominal de salida.

Las pérdidas de energía diaria ocasionadas por el autoconsumo del inversor son inferiores al 5% del consumo diario de energía. Se recomienda que el inversor se mantenga apagado para reducir estas (esto no afecta la carga de las baterías). Se considera que los inversores son de onda senoidal si la distorsión armónica total de la tensión de salida es inferior al 5% cuando el inversor alimenta cargas lineales, desde el 20% hasta el 100% de la potencia nominal.

Los inversores están etiquetados con, al menos, la siguiente información:

- Potencia nominal (VA)
- Tensión nominal de entrada (V)
- Tensión (VRMS) y frecuencia (Hz) nominales de salida Fabricante (nombre o logotipo) y número de serie Polaridad y terminales



Ilustración 6 Inversor - regulador Mtek linea Zefirot 10kVA

Cableado

Todo el cableado cumple con lo establecido en la legislación vigente.

Los conductores necesarios tienen la sección adecuada para reducir las caídas de tensión y los calentamientos. Concretamente, para cualquier condición de trabajo, los conductores tienen la sección suficiente para que la caída de tensión sea inferior, incluyendo cualquier terminal intermedio, al 1,5% de la tensión nominal continua del sistema.

Se incluye toda la longitud de cables necesaria (parte continua y/o alterna) para cada aplicación concreta, evitando esfuerzos sobre los elementos de la instalación y sobre los propios cables.

Los positivos y negativos de la parte continua de la instalación se conducen protegidos y señalizados (códigos de colores, etiquetas, etc.) de acuerdo a la normativa vigente.

Los cables de exterior están protegidos contra la intemperie.

Protecciones y puesta a tierra

Todas las instalaciones con tensiones nominales superiores a 48 voltios cuentan con una toma de tierra a la que está conectada, como mínimo, la estructura soporte del generador y los marcos metálicos de los módulos.

El sistema de protecciones asegura la protección de las personas frente a contactos directos e indirectos. En caso de existir una instalación previa no se alteraron las condiciones de seguridad de la misma.

La instalación está protegida frente a cortocircuitos, sobrecargas y sobretensiones. Se presta especial atención a la protección de la batería frente a cortocircuitos mediante un fusible, disyuntor magnetotérmico u otro elemento que cumpla con esta función como el controlador de carga de la batería, que es en este caso la protección utilizada para las baterías.

Diseño de la instalación

Estimación del consumo de energía

La estimación correcta de la energía consumida por el sistema fotovoltaico es determinada en aquellas aplicaciones en las que se conocen exactamente las características de la carga (por ejemplo, sistemas de telecomunicación o aire acondicionado) que es el caso de este proyecto e incluirá las pérdidas diarias de energía causadas por el autoconsumo de los equipos (regulador, inversor, etc.).

El valor de la energía demandada toma un valor de **2,562 kWh/día**.

Pérdidas en la instalación

Se determinará la orientación e inclinación óptimas ($\alpha = 0^\circ$, β_{opt}) para el período de diseño elegido. En la tabla siguiente se presentan períodos de diseño habituales y la correspondiente inclinación (β) del sistema fotovoltaico que hace que la absorción de energía solar sea máxima:

Periodo de diseño	β_{opt}	
Diciembre	$\phi + 10$	1.7
Julio	$\phi - 20$	1
Anual	$\phi - 10$	1.15

ϕ = Latitud del montaje, en grados

Tabla 4 Inclinación óptima de los paneles según la época

El diseño busca, en la medida de lo posible, orientar los paneles de forma que la energía captada sea máxima en el período de diseño ($\alpha = 0^\circ$, β_{opt}). Sin embargo, no es siempre posible orientar e inclinar el generador de forma óptima, ya que pueden influir otros factores como son la acumulación de suciedad en los módulos, la resistencia al viento, las sombras, etc.

Al trabajar con unos parámetros distintos a los óptimos, las pérdidas por orientación e inclinación se calculan siguiendo el método que se utiliza a continuación, con ello se determinan los valores máximo y mínimo de inclinación permitidos para la instalación, los

cuales dependen de la orientación de los paneles respecto al sur y de la latitud de la instalación.

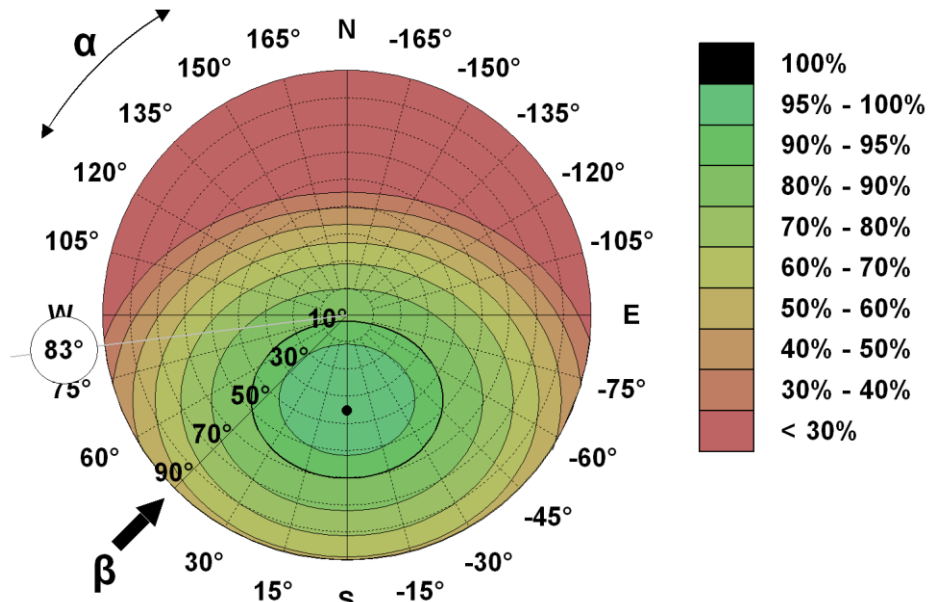


Ilustración 7 Ubicación geográfica de la instalación

$$\beta_{\max \text{ gráfico}} = --$$

$$\beta_{\min \text{ gráfico}} = --$$

Se corrige la ϕ con la siguiente fórmula, para comprobar los límites reales de β :

$$\beta_{\max} = \beta_{\max \text{ gráfico}} - (41^\circ - \phi)$$

$$\beta_{\min} = \beta_{\min \text{ gráfico}} - (41^\circ - \phi)$$

$$\beta_{\min} (3.48) < \beta (32.35) < \beta_{\max} \quad \checkmark$$

Para obtener las pérdidas por las sombras que puedan proyectarse sobre los módulos se toma el diagrama de trayectorias del sol correspondiente a la ubicación de la instalación y se superpone el perfil de obstáculos que generan sombras sobre los paneles.

A continuación, tras seleccionar la tabla que más se asemeja a las condiciones de inclinación y orientación seleccionadas, se accede a la tabla correspondiente utilizando las letras y los números de las casillas cubiertas en el diagrama. Con ello se obtienen los valores del porcentaje de pérdidas correspondiente.

En función de si las casillas del diagrama están total o parcialmente cubiertas se le aplicará un coeficiente de ponderación (0.25-0.5-0.75-1) a cada una antes de realizar el sumatorio de los valores obtenidos.

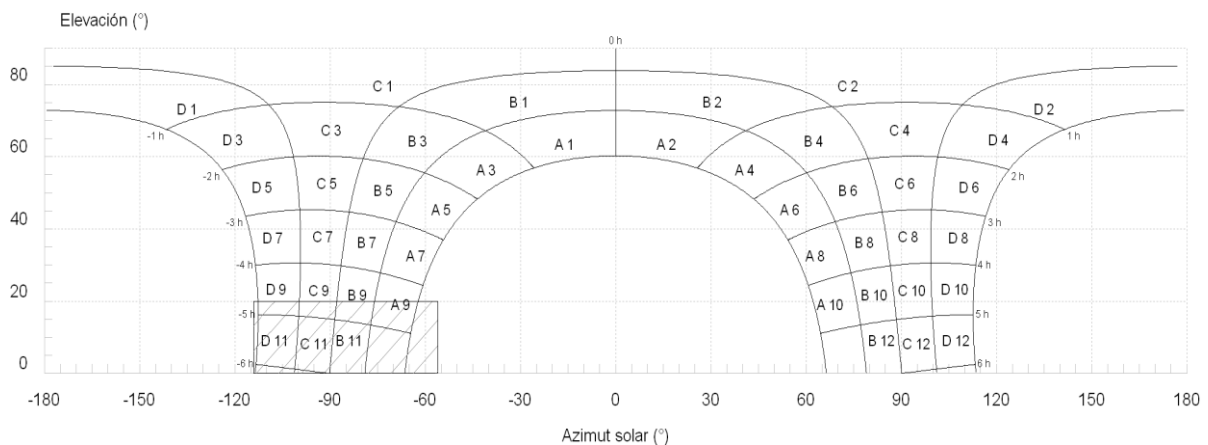


Ilustración 8 Grafico de sombras sobre la instalación

(inclinación 5.00°, orientación 83.00°)			
Porción	Factor de llenado (real)	Pérdidas (%)	Contribución (%)
A 9	0.50 (0.54)	0.05	0.03
B 9	0.50 (0.38)	0.32	0.16
B 11	1.00 (1.00)	0.01	0.01
C 9	0.25 (0.30)	0.70	0.17
C 11	1.00 (1.00)	0.18	0.18
D 9	0.25 (0.26)	2.23	0.56
D 11	1.00 (1.00)	1.05	1.05
		TOTAL (%)	2.16

Tabla 5 Pérdidas por sombras sobre los paneles

Las pérdidas de radiación causadas por sombreado y por una orientación e inclinación de los paneles distintas a las óptimas en el período de diseño no serán superiores a los valores especificados en la tabla siguiente:

Pérdidas de radiación en el panel	Valor máximo permitido (%)
Inclinación y orientación	20%
Sombras	10%
Combinación de ambas	20%

Tabla 6 Pérdidas máximas permitidas

En cuanto a las pérdidas debidas a los componentes de la propia instalación, se define el rendimiento energético (PR) como un parámetro adimensional que tiene en cuenta la eficiencia de la instalación en condiciones reales de trabajo para el periodo de diseño seleccionado. En el mismo intervienen las siguientes pérdidas:

- L_{cab} Pérdidas de potencia en el cableado de corriente continua entre los paneles fotovoltaicos y la entrada del inversor, incluyendo las pérdidas en fusibles, conmutadores, conexionados, diodos antiparalelo en caso de que se dispongan, etc. (0.00)
- L_{dis} Pérdidas de potencia por dispersión de parámetros entre módulos (0.01)
- L_{inv} Pérdidas de potencia en el inversor (0.40)
- L_{pol} Pérdidas de potencia debidas al polvo y la suciedad sobre los módulos fotovoltaicos (0.01)
- L_{ref} Pérdidas de potencia por reflectancia angular espectral, cuando se utiliza un piranómetro como referencia de medidas. Si se utiliza una célula de tecnología equivalente (CTE), el término es cero. (0.01)
- L_{rb} Pérdidas de potencia en el conjunto regulador-acumulador (0.15)
- L_{tem} Pérdidas medias anuales por temperatura (0.00)
- L_{usu} Otras pérdidas de potencia (0.00)

Pérdidas por efecto Joule en el cableado

- L_{cab} Pérdidas de potencia en el cableado de corriente continua entre los paneles fotovoltaicos y la entrada del inversor, incluyendo las pérdidas en fusibles, conmutadores, conexiones, diodos antiparalelo en caso de que se dispongan, etc. (0.00)
- I Intensidad del tramo (A)
- ρ Resistividad del conductor a 20°C ($\Omega \cdot mm^2/m$)
- L Longitud del conductor (m)
- S Sección del conductor (mm^2)
- W_{per} Pérdidas de potencia en el cable (0.00 kW)
- W_{tot} Potencia que circula por la línea (0.60 kW)

Tramo	Núm	I (A)	ρ ($\Omega \cdot mm^2/m$)	L (m)	S (mm^2)	W_{per} (W)	ΣW_{per} (kW)
Inversor	1	8.19	0.018	5.00	5.26	1.207	0.001
Acumulador	1	8.19	0.018	2.00	21.2	0.051	0.000
Total:							0.00 kW

Tabla 7 Pérdidas en el cableado

En la medida de lo posible, se deben orientar los paneles de forma que la energía captada sea máxima en el período de diseño. Sin embargo, no será siempre posible orientar e inclinar los paneles de forma óptima, ya que pueden influir otros factores como son la acumulación de suciedad en los módulos, la resistencia al viento, las sombras, etc.

Radiación solar

Se establece un período de diseño en función de las necesidades de consumo y de la radiación incidente para dimensionar el generador fotovoltaico.

En escenarios de consumo constante a lo largo del año, el criterio de 'peor mes' corresponde con el de menor radiación.

La siguiente tabla muestra los valores medios mensuales de irradiación diaria sobre superficie horizontal y sobre el plano de irradiación en kWh/(m²·día).

Una vez obtenidos, tras calcular el PR de la instalación y considerando la potencia pico del generador, es posible obtener la energía producida en kWh/día para cada módulo. Valor que resultará de utilidad al tomarlo como referencia estimativa para conocer el número de paneles necesarios para la instalación.

Mes	$G_{dm} (0)$ [kWh/(m ² ·día)]	$G_{dm} (\alpha, \beta)$ [kWh/(m ² ·día)]	PR	E_p [kWh/día]
Enero	3.750	4.283	0.49	1.27
Febrero	4.250	4.854	0.49	1.43
Marzo	4.250	4.854	0.49	1.43
Abril	3.750	4.283	0.49	1.27
Mayo	4.250	4.854	0.49	1.43
Junio	4.250	4.854	0.49	1.43
Julio	5.250	5.996	0.49	1.76
Agosto	4.750	5.425	0.49	1.60
Septiembre	4.250	4.854	0.49	1.43
Octubre	3.750	4.283	0.49	1.27
Noviembre	3.250	3.712	0.49	1.10
Diciembre	3.250	3.712	0.49	1.10
Anual	4.084	4.665	0.49	1.38

Tabla 8 Radiación solar sobre los paneles

P_{mp} Potencia pico del generador (0.60 kWp)

G_{CEM} (1 kW/m²)

Producción energética estimada

El dimensionado mínimo de los paneles solares se ha realizado de acuerdo con los datos anteriores, según las siguientes expresiones:

Para $\beta \leq 15^\circ$

$P_{mp,min}$	Potencia pico mínima del generador (<i>1.032 kWp</i>)
E_D	Energía demandada (<i>2.370 kWh/día</i>)
G_{CEM}	Irradiación sobre los paneles en Condiciones Estándar de Medida (<i>1 kW/m²</i>)
$G_{dm}(0)$	Valor medio mensual de la irradiación diaria sobre el plano horizontal (<i>4.084 kWh/m²·día</i>)
$G_{dm}(a,b)$	Valor medio mensual de la irradiación diaria sobre el plano del panel, en el que se han descontado las pérdidas por sombras (<i>4.665 kWh/m²·día</i>)
a	Orientación de los paneles respecto al Sur (<i>83.00 grados</i>)
b	Inclinación de los paneles respecto a su posición horizontal (<i>5.00 grados</i>)
b_{opt}	Inclinación óptima de los paneles respecto a su posición horizontal (<i>3.72 grados</i>)
PR	Rendimiento energético (<i>0.49</i>)
K	Factor dependiente de la inclinación óptima de los paneles (<i>1.15</i>)

Inversor

La potencia del inversor será como mínimo el 80% de la potencia pico real del generador fotovoltaico.

Potencia mínima del inversor: 0.48 kW

Potencia del inversor: 6.00 kW ✓

Sistema de acumuladores

El consumo diario medio de las cargas (L_D) en Ah se obtendrá mediante la siguiente expresión:

- L_D Consumo medio diario de las cargas (*49.38 Ah/día*)
- E_D Energía demandada (*2370.00 Wh/día*)
- V_{nom} Tensión nominal de acumulación de las baterías (*48.00 V*)

Considerando el rendimiento energético del inversor seleccionado (60 %), el rendimiento energético del conjunto regulador + acumulador (85 %) y un $PD_{max} = 0.80$, se obtiene el valor de la carga mínima:

- C_{min} Capacidad nominal mínima de las baterías (*$C_{20min} = 121.02 Ah$*)
- A Autonomía del sistema de baterías (*1.00 días*)
- L_D Consumo medio diario de las cargas (*49.38 Ah/día*)
- PD_{max} Porcentaje de descarga máximo (*0.80*)
- h_{in} Rendimiento del inversor (*0.60*)
- h_{rb} Rendimiento del conjunto regulador-acumulador (*0.85*)

Para asegurar una adecuada recarga de las baterías, la capacidad nominal del acumulador en Ah no será superior a 25 veces la intensidad de cortocircuito en CEM del generador fotovoltaico. Esto es:

C_{\max} Capacidad nominal máxima de las baterías ($C_{20\max} = 221.25 \text{ Ah}$)
 $I_{\text{cc,CEM}}$ Intensidad de la corriente de cortocircuito extraída de los generadores y medida en condiciones estándar de medida. (8.85 A)

Por tanto, si tenemos 1 rama de paneles y la intensidad de cortocircuito en CEM es de 8.85 A en los paneles:

$$I_{\text{cc,CEM}} = 8.85 \text{ A} \cdot 1 = 8.85 \text{ A}$$

$$C_{20\max} = 25 \cdot 8.85 \text{ A} = 221.25 \text{ Ah}$$

Como norma general, la autonomía mínima de sistemas con acumulador será de tres días.

$$A (3.00 \text{ días}) \geq 3 \text{ días}$$

Para asegurar que los acumuladores se cargan correctamente, la tensión de funcionamiento nominal de los paneles deberá ser superior al voltaje de acumulación de las baterías, si bien estos valores deben ser cercanos entre sí, lo que se consigue disponiendo

un número de paneles en serie en cada rama adecuado, con lo que es posible satisfacer el resto de comprobaciones.

$$V_{mpp} \cdot \text{Número de paneles en serie (73.20 V)} > V_{nom} (48.00 \text{ V}) \quad \checkmark$$

La capacidad nominal de descarga de las baterías, obtenida como resultado de multiplicar la capacidad de descarga de cada acumulador por el número total de acumuladores, deberá situarse entre los valores mínimo y máximo anteriormente calculados.

$$C_{20min} (121.02 \text{ Ah}) < C_{20} (400.00 \text{ Ah}) < C_{20max} (221.25 \text{ Ah})$$

Regulador

El regulador de carga se seleccionará para que sea capaz de resistir sin daños una sobrecarga simultánea, a la temperatura ambiente máxima, un 25% superior a la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico en CEM. La corriente de cortocircuito de los paneles generadores es 8.85 A. Como tenemos 1 rama de paneles :

$$I_{cc,CEM} = 8.85 \text{ A} \cdot 1 = 8.85 \text{ A}$$

Por tanto:

$$I_{reg} (50.00 \text{ A}) > 1.25 \cdot I_{cc,CEM} (11.06 \text{ A}) \quad \checkmark$$

El regulador de carga se seleccionará para que sea capaz de resistir sin daño una sobrecarga simultánea, a la temperatura ambiente máxima, de la corriente en la línea de consumo un 25% superior a la corriente máxima de la carga de consumo. Para calcularla se toma tanto la potencia máxima de consumo como el voltaje de acumulación de las baterías:

$I_{\max,car}$ Intensidad de corriente máxima de la carga de consumo (2.06 A)
 $P_{\max,car}$ Potencia máxima de consumo (98.75 W)
 V_{bat} Voltaje de acumulación de las baterías (48.00 V)

$$I_{req} (50.00 A) > 1.25 \cdot I_{\max,car} (2.57 A) \checkmark$$

Montaje

Después de hacer el diseño de la instalación, se procede con el montaje en sitio, primero se hace la instalación de los paneles solares con sus respectivos apoyos, en la zona de la piscina de la Institución Universitaria Pascual Bravo, a un costado de los paneles solares originales del sistema de aire acondicionado híbrido, conservando la estética y sistema de montaje.

Luego se procedió a hacer el montaje del gabinete que contiene la transferencia automática, las baterías y el PLC LOGO que es el encargado de controlar el sistema. A un

costado del gabinete de control, se instaló el inversor, adosado a la pared dado su considerable peso.



Ilustración 9 Gabinete de control e inversor en sitio

Presupuesto

En la siguiente tabla se puede ver el costo de los elementos utilizados en este proyecto.

CONCEPTO	CANTIDAD	PRECIO EN \$	TOTAL EN \$
Batería 12 V 100 A/h ciclo profundo	4	\$630.000	\$2.520.000
Módulo policristalino Mtek -300 Wp, 24 V	2	\$721.480	\$1.442.960
Regulador de 60 A	2	\$463.115	\$463.115
Inversor 6000W, 48V	1	\$3.453.200	\$3.453.200
Gabinete de protecciones	1	\$482.150	\$482.150
Cableado y soporteria	1	\$341.250	\$341.250
Mano de obra	1	\$550.000	\$550.000
Total en pesos \$			\$9.252.675

Tabla 9 Características, cantidad y costos de los elementos

Análisis y resultados

Los sistemas solares pueden llegar a ser una alternativa viable si el consumo energético es considerado un insumo importante en un estamento, debido a eso es importante adquirir el conocimiento necesario para lograr dimensionar eficazmente un sistema solar fotovoltaico, ya que en un sistema solar fotovoltaico intervienen diferentes elementos que interactúan y se convierten en parte fundamental y necesaria para que todo el sistema funcione.

Al dimensionar un sistema solar fotovoltaico podemos encontrar la mejor configuración de equipos, con este trabajo se logró establecer la cantidad de equipos (paneles, baterías, inversores, cargadores y demás), de acuerdo a la demanda máxima del aire acondicionado, horas de servicio, porcentaje de eficiencia de baterías y paneles.

Como se pudo observar en la metodología se debe tener en cuenta principalmente la ubicación de los paneles solares, teniendo presente que en la ciudad de Medellín, la radiación es aproximadamente $4,5\text{kWh/m}^2$, lo que es un promedio bueno para aprovechar la energía que nos provee el sol.

Se puede observar que fue necesario utilizar dos paneles solares de 300 Wp, para que los acumuladores lograran almacenar la energía necesaria en horas diurnas para obtener una autonomía de 60 minutos diarios en horas nocturnas.

Este sistema es capaz de producir una potencia máxima de 2,5kW desde los acumuladores y 0,6kW máximo de forma directa con los paneles solares conectados directamente a una carga

Los equipos utilizados en este proyecto fueron:

2 paneles solares policristalinos de 300 Wp 24V

1 inversor y regulador Marca Ztek línea Zefirot de 10 kVA 220v

4 baterías ciclo profundo, 100 Amp-h 12V

Con estos equipos y algunos accesorios adicionales como cables, conectores, protecciones, gabinetes, etc. Se logró poner en funcionamiento el sistema con los resultados esperados.

En algunos sistemas solares fotovoltaicos, se hace un aprovechamiento mucho mayor de la energía tomada con los paneles, al utilizar paneles solares monocristalinos, que son más eficientes e igualmente más costosos. En los sistemas solares de altas potencias, se utiliza también un sistema de seguimiento motorizado para ubicar los paneles solares siempre en posición perpendicular a la ubicación del sol, logrando así un mayor rendimiento del sistema y un aprovechamiento óptimo de la energía proporcionada por el sol.

* Los altos costos de la energía eléctrica y el alto consumo de los aires acondicionados hacen que los ingenieros cada día innoven y pongan en práctica otras

alternativas de generación de energía y la energía solar es una gran oportunidad en virtud de que es una energía limpia y renovable que siempre va a estar disponible para el uso de equipos de aire acondicionado puede llegar a representar el 50% del consumo total de los edificios.

La climatización de los edificios, tanto en frío como en calor, se ha convertido en una práctica muy habitual para generar confort a las personas. Tanto es así que, en determinadas zonas y para determinadas aplicaciones, el consumo energético derivado

Con la instalación de estos paneles solares se logró tener un ahorro en el costo de la energía de \$30.000 pesos mensuales en comparación con el sistema existente el cual trabaja con energía eléctrica convencional.

Cuando se implementa un sistema solar fotovoltaico para alimentar un aire acondicionado híbrido puede haber un ahorro del 70% en comparación con el costo de la energía eléctrica convencional.

Cabe anotar que este proyecto tiene fines pedagógicos porque la utilización de este aire acondicionado no es permanente, solo se pone en funcionamiento de manera temporal y por este motivo el ahorro no es óptimo, pero está disponible para cuando se requiera su uso.

La radiación media en la Institución Universitaria Pascual Bravo es de 4.5 kWh/m² y la ubicación elegida fue el costado sur-occidental detrás de la piscina, esta condición permitió que el proyecto fuera viable y se lograra una instalación óptima.

* El sistema solar fotovoltaicos sin acumulación, por si solo es un sistema que convierten parte de la energía producida por el sol, en energía eléctrica para el aprovechamiento en el equipo de aire acondicionado hibrido, este sistema funciona en óptimas condiciones ante la presencia de luz solar, pero que en la noche no es posible usar esta energía alternativa, es necesario disponer de un sistema de acumulación para hacer un mayor aprovechamiento de los recursos solares aun cuando no haya sol.

Es así como el sistema propuesto y montado por este proyecto cumple con este requerimiento, en horas del día, el equipo de aire acondicionado está conectado a la red normal y a los paneles solares propios del equipo, pero en las horas de nocturnas que no hay luz solar, el aire acondicionado utiliza la energía acumulada en las baterías que hacen parte de este proyecto.

Para el dimensionamiento de las baterías, se tuvo en cuenta los requerimientos de potencia del equipo de aire acondicionado, para este caso 2,5kW, y el tiempo de autonomía que se requiere, 1 hora máximo diario, en jornada nocturna entre las 18:00 horas y las 22:00 horas. Con estos datos y utilizando los cálculos expuestos en la metodología, se pudo definir que son necesarias 4 baterías de ciclo profundo de 100 Ah, para tener la capacidad de suministrar 2,5kW durante una hora diariamente, aunque esta hora no sea continua, pero que se encuentre dentro del horario programado.

Se logró tener una autonomía de 1 hora diaria, si el consumo del aire acondicionado requiere más de una hora de funcionamiento, el equipo no estará en capacidad de proveer más energía que la que tiene en acumulación, así que en esta situación, genera un regreso automático del equipo a consumo con la red normal del operador de red, dejando en estado de espera el sistema fotovoltaico hasta que haya nuevamente presencia de luz solar para un nuevo proceso de carga de los acumuladores.

El sistema solar fotovoltaico con acumulación que se instaló en este proyecto, tiene una mejora comparativa con el sistema original del equipo de aire acondicionado, ya que se puede contar con energía eléctrica acumulada en horario nocturno, lo que no es posible en el sistema original del equipo de aire acondicionado que solo hace aprovechamiento de energía solar fotovoltaica cuando hay presencia de luz solar.

La presencia en este proyecto de los acumuladores, genera la posibilidad de utilización del aire acondicionado en horario nocturno con el evidente ahorro en costos de energía que fueron analizados en otros apartados, esto supone un proceso de carga y descarga de los acumuladores, lo que disminuyen la vida útil de las baterías, pero que hasta la actualidad son consecuencias secundarias inevitables e irreversibles en los sistemas de acumulación.

* El proyecto dimensionamiento y diseño de una transferencia eléctrica para un sistema de energía eléctrica acumulada a partir de fuente renovable para un aire acondicionado híbrido requirió de cuatro subgrupos o cuatro subprocesos lo que hizo que fuera un proyecto integral que necesitó un trabajo en equipo.

Para efectos del desarrollo del proyecto los temas a estudiar fueron:

Dimensionamiento de paneles solares y acumuladores

Dimensionamiento de la transferencia de energía

Automatización de la transferencia

Monitoreo de la energía para este aire acondicionado alimentado por un panel solar.

Se conformó un equipo multidisciplinario para poder trabajar alineados con los objetivos del proyecto. Cada uno de los equipos se asignó teniendo en cuenta el potencial de cada integrante.

Esta interacción con los demás subgrupos hizo que se enriquecieran los conocimientos e hizo que el equipo se sintiera acompañado y apoyado por los demás.

Para el subtema de los paneles solares y los acumuladores fue necesario explorar información sobre los tipos de paneles, su composición, los tipos baterías, su caracterización, entre otros.

El subtema del dimensionamiento de la transferencia comprometió a ese subgrupo a estudiar el tema de las transferencias eléctricas, su funcionamiento, los tipos de transferencias y su aplicación.

El dimensionamiento de la transferencia llevó a los miembros de ese subgrupo a verificar la potencia de la transferencia a utilizar, así como la realización del programa en el PLC, a conocer el funcionamiento de los relés, los contactores y las luces piloto.

Y el subgrupo encargado del monitoreo de la energía estuvo dedicado a estudiar el equipo analizador de redes, teniendo en cuenta que el manejo de estos equipos es de gran complejidad. Con este equipo se facilitó el análisis de la red y el monitoreo de la misma, lo que permitió el control de las variables en tiempo real.

Este proyecto ayudó a fortalecer los conceptos concernientes a la energía solar fotovoltaica, mediante su estudio se conoció el funcionamiento de los diferentes elementos que componen el sistema como son los paneles solares, las baterías, la transferencia, el inversor, el analizador de redes, el PLC, los relés y los contactores.

Los resultados fueron muy satisfactorios porque se pudo terminar en el tiempo programado el proyecto.

El sistema se puso en funcionamiento y cumplió con las expectativas del proyecto, dando la autonomía requerida y presentando la información sobre las variables del sistema para su posterior uso.

* El medio ambiente no es ajeno a los objetivos de este proyecto, con la implementación de energías alternativas, se está aportando en cierta forma a la reducción del consumo de los recursos energéticos no renovables o fósiles, que adicionalmente generan gran contaminación en el aire y las aguas de nuestro planeta.

También es necesario observar otros tipos de impactos ambientales que son prácticamente nulos al utilizar un sistema solar fotovoltaico, por ejemplo el ruido y las emisiones directas de gases contaminantes, son dos ejemplos del impacto positivo de la utilización de esta tecnología.

Se pudo determinar que si el equipo de aire acondicionado es utilizado 1 hora diaria 5 días a la semana, se estaría aprovechando 750 kWh/año, lo que implica un ahorro de emisiones contaminantes CO₂ de 0,13 Toneladas al año (Blog de CEMAER, 2016), que podría ser un valor relativamente bajo, pero que a la luz de los aportes que podrían hacer todas las personas, es un ahorro significativo si se multiplicara por miles de personas que tuvieran consciencia de utilización de los sistemas solares fotovoltaicos.

Se esperaba que el sistema solar fotovoltaico hiciera un aporte a la conservación del medio ambiente, que según las cifras anteriores, producen este aporte, aunque se podrían utilizar otros sistemas de energías alternativas menos contaminantes como la energía eólica, pero para el caso de este proyecto, la opción de energía eólica no es una buena opción, ya que en la Institución Universitaria Pascual Bravo, no se encuentran zonas ni condiciones aptas para estos sistemas.

En la zona de la piscina, la zona donde se instalaron los paneles solares, es una zona donde se pretendía crear el menor impacto visual, adicionalmente como este sistema no genera contaminación como ruido o gases, se complementa perfectamente con el ambiente, dado que es una zona para recreación y deporte.

Cuando se hace uso de energías alternativas renovables, que es el caso de los sistemas solares fotovoltaicos, estamos haciendo un aporte significativo al medio ambiente, pero se debe tener en cuenta los impactos ambientales que se producen en la utilización de silicio en la fabricación de los paneles solares, ya que los procesos de extracción de silicio invaden y destruyen grandes hectáreas de tierra y consume grandes cantidades de agua.

* Con la terminación de este trabajo se cumple con el requisito principal para optar al título de ingeniero electricista en la Institución Universitaria Pascual Bravo.

Conclusiones

- Para el dimensionamiento de un sistema solar fotovoltaico, se debe tener en cuenta la ubicación geográfica de los paneles, así como posibles obstáculos que impidan el aprovechamiento óptimo de la energía del sol.

- Un sistema solar fotovoltaico, puede llegar a tener una eficiencia del 12%, aspecto que se ve limitado básicamente por la eficiencia de los paneles solares.

- El sistema solar fotovoltaico montado con este proyecto, permite un ahorro económico mensual de \$ 30.000 COP aproximadamente, si es utilizado diariamente 1 hora.

- Las emisiones de CO₂ que se dejan de irradiar a la atmosfera con la utilización de este proyecto es de 0,13 TON/año, cifra significativa si se tiene en cuenta que es un proyecto de pequeñas dimensiones.

- El dimensionamiento de los sistemas de acumulación requieren de especial cuidado, es de vital importancia la utilización de un buen sistema controlador de carga.

- El sistema de acumulación de este proyecto permite una autonomía de 60 minutos con un consumo de 2,5kWh, si el consumo es mayor, el sistema tendrá una autonomía menor.

Recomendaciones

El sistema solar fotovoltaico montado en este proyecto, hace parte de un sistema más amplio que incluye la implementación y automatización de una transferencia electromecánica automática, controlada por un PLC y un analizador de redes para monitorear las variables eléctricas más importantes del proyecto, así que para comprender mejor este proyecto, el lector se debe remitir a dichos proyectos y hacer uso complementario de la información allí contenida.

El sistema solar fotovoltaico de este proyecto, se puede definir como un proyecto escalable, debido a que es susceptible de mejora en la autonomía, al implementar un banco de baterías adicional, que mínimo debe ser en una combinación tal que su voltaje de funcionamiento sea de 48v, así es posible lograr una autonomía inclusive 3 veces mayor a la actual.

La ubicación de los paneles solares en el sector de la piscina, crea la posibilidad de ampliación del área de captación de la radiación solar, contiguo a la ubicación de los paneles, se haya una zona amplia y suficiente para instalar nuevos paneles, que pueden ser conectados sin ningún problema al controlador de carga y al inversor, estos equipos se encuentran utilizados en un 30% de su capacidad nominal.

El inversor debe ser apagado diariamente, para evitar que el consumo en estado de espera, descargue las baterías reduciendo así la autonomía diaria de 60 minutos.

Bibliografía

Blog de CEMAER. (2016). Recuperado el 3 de 09 de 2016, de

<http://www.gstriatum.com/energiasolar/blog/2008/05/19/cuanto-co2-se-ahorra-con-la-energia-solar/>

CYPE. (15 de 07 de 2016). *CYPE Ingenieros*. Recuperado el 15 de 07 de 2016, de

<http://cypelec-rebt.cype.es/>

ERT. (2016). *Energias Renovables de Toluca*. Recuperado el 14 de 07 de 2016, de

<http://www.energiasrenovablesdetoluca.com/panel-solar>

Fernández Martínez, X., Navarrete Barbosa, J. I., Sánchez Liévano, G., Ontiveros

Montesinos, J. A., Rodríguez Bolaños, F., & Jaime Buenrostro, E. Y. (2012).

prospectiva sector electrico 2012-2026. Recuperado el 22 de 08 de 2016, de

https://noalamatgirona.files.wordpress.com/2013/07/prospectivasectorelectrico_2012_2026.pdf

Roca, J. A. (2006). *el periodico de la energia*. Recuperado el 30 de 08 de 2016, de

<http://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>

Anexos

Manual inversor Zefirot.

Ficha técnica paneles solares.

Ficha técnica baterías.