

**DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE UN SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN
PARA EL NUEVO EDIFICIO DE LA E3T**

**STEFANY AGAMEZ HERAZO
STEFANNY ANDREA ALFONSO PALACIO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES.
BUCARAMANGA
2016**

**DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE UN SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN
PARA EL NUEVO EDIFICIO DE LA E3T**

**STEFANY AGAMEZ HERAZO
STEFANNY ANDREA ALFONSO PALACIO**

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingenieras Electricistas**

**Directora:
MÓNICA ANDREA BOTERO LONDOÑO
Dra. En Ciencias Física.**

**Codirector:
JUAN MANUEL REY LÓPEZ
Ing. Electricista**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES.
BUCARAMANGA
2016**

DEDICATORIA

*A mi madre por su constante cariño y comprensión,
a mi padre por mostrarme un camino que siempre
iluminó con su sabiduría y apoyo.*

*A mis hermanos por su amor y ejemplo, a la vida y a
Dios por presentarme personas maravillosas con las
que aún quedan muchas cosas por vivir.*

Stefanny Andrea Alfonso Palacio.

DEDICATORIA

A Dios por darme sabiduría, fortaleza y paciencia para realizar este proyecto.

A mi padre, Juan José Agamez por su apoyo incondicional, por creer en mí y permitirme embarcarme en esta aventura; a mi madre Amparo Herazo por darme su amor, apoyo y fuerzas para seguir adelante. Gracias por todos sus esfuerzos.

A mis hermanos por ser mi motor de vida, mi orgullo y apoyarme en cada paso de mi vida.

A mi familia sin duda sin ustedes no hubiese sido posible, gracias por sus oraciones, consejos y en la distancia apoyarme en todo momento.

A mis amigas y amigos por compartir sus experiencias de vida, conocimientos, y ayudarme a crecer como persona, por tantos momentos y recuerdos de esta bonita etapa: La Universidad, por apoyarme y estar conmigo en los buenos y malos momentos.

A mis queridos abuelitos José Herazo e Isabel Vega, a mi tía Auxiliadora y a mi primo Juan David, quienes hoy ya no están, pero contribuyeron en mi formación y sé que desde el cielo me acompañaron en todo momento de este maravilloso ciclo.

Stefany Agamez Herazo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi codirector por brindarme la idea para este proyecto, resolver mis dudas y atenderme cuando lo necesité, a mi directora por su paciencia, apoyo y sobretodo por su carismática personalidad.

A Joseph Vergel por convertirse en mi soporte y siempre darme su cariño, comprensión, tiempo y ayuda durante los momentos decisivos de este proyecto.

A mi amiga Luz por escucharme, siempre entenderme, de vez en cuando darme la razón y muchas veces rectificar mis cálculos con los suyos.

Finalmente, a mi compañera de proyecto Stefany Agamez porque a pesar de las adversidades siempre fue paciente y me apoyó.

Stefanny Andrea Alfonso Palacio.

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Mónica Andrea Botero Londoño directora del proyecto, por su confianza, respaldo y conocimientos brindados en la elaboración de la tesis.

A nuestro codirector el Ing. Juan Manuel Rey López, por su confianza y conocimientos brindados en la realización de este proyecto.

A María Cristina, Chechin, Key, Elian, Sergio y Leidy H. por darme su apoyo y fuerzas para culminar con éxito esta etapa. ¡Gracias!

A mi compañera Andrea Alfonso por su esfuerzo y apoyo contaste durante este proceso de aprendizaje.

A todos mis compañeros de estudio por compartir sus conocimientos, por ser pacientes y apoyarme en lo largo de este camino.

Finalmente, a la Universidad Industrial de Santander, a mis maestros y a todos aquellos que marcaron cada etapa de mi camino universitario y contribuyeron en mi formación tanto profesional, como espiritual.

Stefany Agamez Herazo.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. MOTIVACIÓN	17
2. ESTADO DEL ARTE	19
3. OBJETIVOS.....	20
3.1 OBJETIVO GENERAL	20
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	20
4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.	21
4.1 GENERACIÓN HÍBRIDA	21
4.1.1 Composición de un sistema de generación híbrido	22
4.2 BATERIAS	22
4.3 GENERADORES DIÉSEL	23
4.4 ENERGÍA SOLAR.....	24
4.4.1 Paneles solares	24
4.4.2 Inversores	25
4.5 ENERGÍA EÓLICA.....	26
4.5.1 Aerogeneradores	26
4.6 RECURSOS.....	27
4.6.1 Radiación solar	27
4.6.2 Viento.....	29
5. METODOLOGÍA	30
6. ETAPA I: ESTUDIOS DEL SOFTWARE	31
6.1 SELECCIÓN DEL SOFTWARE	31
6.2 COMPARACIÓN DE SOFTWARES.....	32
7. ETAPA II: DATOS PARA INGRESO AL SOFTWARE.....	37
7.1 PERFILES DE CARGA.....	37
7.1.1 Estimación perfil de carga diario en el edificio de la E3T	37

7.1.2 Comportamiento carga diaria.....	42
7.1.3 Estimación perfil de carga anual.....	43
7.1.4 Red de generación actual.....	44
7.2 DATOS METEOROLÓGICOS.....	44
7.2.1 Radiación solar en el edificio E3T.....	45
7.2.2 Velocidad y dirección del viento en el edificio E3T.....	48
7.3 ANALISIS DE LOS COMPONENTES DE LA RED HÍBRIDA.....	49
8. ETAPA III: RESULTADOS DE SIMULACIÓN.....	53
8.1 SIMULACIÓN EN SOFTWARE PVsyst.....	53
8.2 SIMULACIÓN EN SOFTWARE SAM.....	53
8.3 SIMULACIÓN EN SOFTWARE HOMER.....	54
8.3.1 Parámetros de equipos.....	55
8.3.2 Recursos.....	57
8.3.3 Simulación.....	58
9. ETAPA IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	61
10. CONCLUSIONES.....	64
11. RECOMENDACIONES.....	66
CITAS.....	67
BIBLIOGRAFÍA.....	72
ANEXOS.....	74

LISTA DE IMÁGENES

	Pág.
Ilustración 1. Representación de los rayos solares en la atmosfera terrestre.....	28
Ilustración 2. Comportamiento del consumo de carga en el edificio	43
Ilustración 3. Radiación solar global	45
Ilustración 4. Radiación solar incidente sobre la terraza de la E3T.....	46
Ilustración 5. Velocidad del viento en la terraza de la E3T.....	48
Ilustración 6. Resultados de la simulación HOMER.....	60
Ilustración 7. Configuraciones factibles de HOMER.....	61

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Comparación de softwares.....	33
Tabla 2. Fragmento de la tabla 220-11 de la NTC 2050.....	39
Tabla 3. Características de los aires acondicionados según términos definitivos..	41
Tabla 4. Horas de encendido de iluminación en día habitual.....	41
Tabla 5. Horas de encendido de cargas en día habitual.....	42
Tabla 6. Horas de encendido de aires acondicionados en día habitual.....	42
Tabla 7. Características paneles solares.....	49
Tabla 8. Características inversores DC/AC.....	50
Tabla 9. Características baterías.....	51
Tabla 10. Características térmicas del panel.....	56
Tabla 11. Costo unitario de los equipos.....	57
Tabla 12. Variables sensibles ingresadas para la simulación en homer.....	58
Tabla 13. Resultados de las 4 primeras configuraciones factibles según la simulación en HOMER.....	62

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Estimación perfil de carga diario.....	74
Anexo B. Estimación consumo energético anual.....	80
Anexo C. Resultados de la simulación en PVsyst.....	86
Anexo D. Resultados de la simulación en SAM.....	94
Anexo E. Resultados de la simulación en HOMER.....	99

RESUMEN

TÍTULO: DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE UN SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN PARA EL NUEVO EDIFICIO DE LA E3T.*

AUTORES: STEFANY AGAMEZ HERAZO
STEFANNY ANDREA ALFONSO PALACIO**

PALABRAS CLAVES: SISTEMA FOTOVOLTAICO, OPTIMIZACIÓN, GENERACIÓN RENOVABLE, SISTEMAS HÍBRIDOS.

DESCRIPCIÓN: Los retos actuales del sector eléctrico requieren de un mejoramiento continuo de los sistemas, para esto es necesario que la planeación de nuevos sistemas y elementos se integren adecuadamente con los existentes. En el caso específico de los sistemas híbridos, estos deben diseñarse teniendo en cuenta las características del perfil de carga instalada, proporcionando calidad en el servicio y disminuyendo el consumo energético de la red interconectada.

Tomando como referencia el caso específico del edificio de la E3T, ubicado en el campus principal de la Universidad Industrial de Santander, se genera la necesidad de proponer un diseño que permita integrar un sistema de generación fotovoltaico con el sistema eléctrico propio de la edificación. Durante la elección de la configuración se tuvieron en cuenta algunos criterios de diseño como la cantidad de equipos a instalar, costos de mantenimiento, inversión inicial, área disponible para la ejecución del proyecto y disponibilidad de los recursos, luego se hizo uso de las herramientas computacionales HOMER y PVSyst que permitieron plantear diferentes configuraciones para el sistema, obteniendo al final un sistema híbrido apto para el perfil de carga.

A diferencia de otros trabajos relacionados con esta temática, este proyecto posee una lista con algunos de los softwares más usados recientemente y sus características, ofreciendo al lector la posibilidad de elegir el programa más útil según las necesidades y requerimientos de cada proyecto.

* Trabajo de Grado en modalidad investigación.

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones . Directora: Dra. Mónica Andrea Botero Londoño. Codirector: Ing. Juan Manuel Rey López.

ABSTRACT

TITLE: OPTIMAL SIZING OF A HYBRID SYSTEM OF GENERATION FOR THE NEW E3T BUILDING.*

AUTHORS: STEFANY AGAMEZ HERAZO
STEFANNY ANDREA ALFONSO PALACIO**

KEYWORDS: PHOTOVOLTAIC SYSTEM, OPTIMIZATION, RENEWABLE GENERATION, HYBRID SYSTEMS.

DESCRIPTION: The electrical sector current challenges require a continuous improvement of systems, for this is necessary that the planning of new systems and elements are well integrated with the existing ones. For the specific case of hybrid systems, these should be designed taking into account the installed load profile characteristics, providing quality service and reducing the energy consumption of the interconnected system.

Taking as a reference the specific case of the E3T building, located on the main campus of the Universidad Industrial de Santander, the need to propose a design that allows to integrate a photovoltaic generation system with the current interconnected system is generated. During configuration choice, some design criteria as the amount of equipment to be installed, maintenance costs, initial investment, available area for project implementation and the resources availability were taken into account, then made use of computational tools HOMER and PVsyst that allowed to propose different system configurations, obtaining in the end a hybrid system suitable for the load profile.

Unlike other papers related to this subject, this project has a list of some of the most recently used softwares and its features, offering the reader the ability to choose the most useful program according to the needs and requirements of each project.

* Degree Project.

** Faculty of Physics Mechanics Engineering. Electrical, Electronics and Telecommunications School. Director: Dra. Mónica Andrea Botero Londoño. Codirector: Ing. Juan Manuel Rey López.

INTRODUCCIÓN

El uso de energías renovables para la generación de electricidad es cada vez más frecuente debido al alto índice de contaminación que se produce al generarla por métodos convencionales. Una de las razones por las cuales ésta tecnología no ha reemplazado los métodos usuales es que para grandes consumos de energía se hace necesaria la instalación de múltiples equipos, lo que incrementa el costo y lo convierte en una inversión poco atractiva [1].

Para contrarrestar la significativa inversión económica y disminuir la contaminación producida al generar energía por métodos convencionales, se ha implementado el uso de los sistemas de generación híbrida, pues permiten la combinación del sistema de red nacional interconectado con otros tipos de generación entre los que se encuentran las celdas de combustible, los generadores diésel, los aerogeneradores, los paneles fotovoltaicos y muchas otras tecnologías que encuentran su aprovechamiento dependiendo de las características bioenergéticas que caracterizan a las diferentes regiones geográficas.

El edificio de la escuela de ingeniería eléctrica, electrónica y de telecomunicaciones (E3T) de la Universidad Industrial de Santander posee actualmente un sistema de generación híbrido compuesto por paneles fotovoltaicos, la red interconectada nacional y un generador diésel que funciona como respaldo ante posibles fallas del sistema, sin embargo la razón fundamental de este proyecto es encontrar una configuración óptima que involucre más fuentes de generación renovable que contribuyan con la disminución de los gases de efecto invernadero. Para lograr lo anterior se estudiaron diferentes softwares que simulan configuraciones híbridas con el fin de obtener la que más se ajuste a los requerimientos del edificio.

1. MOTIVACIÓN

La necesidad de reducir los impactos ambientales producto de los combustibles fósiles y el potencial de las energías renovables en la actualidad, motivan el estudio y desarrollo de nuevas tecnologías y aplicaciones de las mismas. Debido al significativo impacto que tienen las edificaciones sobre el consumo energético, se plantea la necesidad de implementar el uso de energías renovables, permitiendo desarrollar el concepto de sostenibilidad y edificaciones verdes en ellas.

Las micro redes eléctricas son sistemas que permiten la integración de fuentes de generación renovable por medio de sistemas de generación distribuida, almacenamiento de energía y monitorización; técnicas de gestión de cargas y mantenimiento preventivo, este tipo de redes permiten el ahorro energético y mejoran la fiabilidad de la red [2].

Tomando como referencia el caso específico del edificio de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones (E3T), ubicado en el campus principal de la Universidad Industrial de Santander, se propone un diseño que permita integrar un sistema de generación a partir de fuentes renovables con el sistema eléctrico de la edificación. El propósito principal de este proyecto de grado es realizar un estudio sobre cómo se podría hacer del edificio de la E3T una edificación cercana a la autosuficiencia, que permita suplir la demanda de energía aprovechando la disponibilidad del recurso solar y eólico en el sitio, disminuyendo la dependencia de la red de suministro.

En el desarrollo del marco de estudio es importante recordar los parámetros en los cuales se empleará la temática principal; la eco movilidad hace referencia a aquellas prácticas que ayudan a reducir los efectos negativos en el ambiente (contaminación del aire, consumo excesivo de energía, efectos sobre la salud de la población o la saturación de las vías de circulación) [3] con el enfoque práctico de sensibilizar o

promover estrategias para la sostenibilidad que se encarga de atender las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas, garantizando el equilibrio entre crecimiento económico, cuidado del medio ambiente y bienestar social (Triple vértice de sostenibilidad) [4].

2. ESTADO DEL ARTE

El ser humano en su preocupación por aminorar los efectos negativos de los residuos provenientes de las fuentes de energía convencionales se ha propuesto incluir energías limpias en los sistemas de generación actuales. Los llamados sistemas híbridos son sistemas que usan dos o más fuentes de alimentación distintas, para poder implementar este tipo de tecnologías se hace necesario realizar un estudio que caracterice el comportamiento que tendrá el sistema, como también lo es el estudio de la disponibilidad de los recursos naturales en cada sitio.

Existen estudios donde se dimensionan y optimizan sistemas híbridos mediante diferentes métodos como en el trabajo realizado por M. Muselli, et al. de la Universidad de Córcega en 1999 [5], donde se simulan diferentes configuraciones del sistema según el tamaño de los componentes a través de un balance energético basado en la ecuación de continuidad de almacenamiento, esta ecuación es análoga a la utilizada por otros autores como Sidrach de Cardona y Mora López en 1992 [6] y Kaye en 1994 [7], que establecen como mejor configuración aquella que satisfaga la restricción de autonomía del sistema planteado y la máxima reducción en los costos de energía.

En los trabajos [8 - 10] se estudian y diseñan sistemas híbridos autónomos, en donde la selección de los componentes se obtiene mediante el dimensionamiento a través de un software de simulación, por lo general recomiendan llevar a cabo también un proceso de optimización con la finalidad de minimizar el costo neto actual o en su defecto el costo normalizado de la energía. El diseño de estos sistemas híbridos requiere de un completo y detallado análisis, en [11] se presenta una larga lista con las principales características y limitaciones de algunas herramientas que permiten el modelamiento de proyectos de sistemas de generación híbrida dentro de las cuales se destacan Hybrid2, HOMER, RETScreen, iHOGA, entre otros.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Optimizar por medio de una herramienta computacional la configuración y las características de las fuentes de generación de un sistema híbrido para el nuevo edificio de la E3T, utilizando una estimación de su perfil de carga.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

El cumplimiento del objetivo general del trabajo de grado comprende:

- Estimar el perfil de carga en el edificio de la E3T a partir de información como la carga instalada del edificio, la carga conectada y los horarios de utilización de las oficinas y los salones.
- Comparar las características y funciones que ofrece cada software para seleccionar una herramienta computacional que optimice sistemas de generación híbrida.
- Proponer una configuración final para un sistema híbrido mediante un análisis realizado a las opciones generadas por el software.

4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

4.1 GENERACIÓN HÍBRIDA

La generación híbrida consiste en aquellas redes que están compuestas por más de una fuente de energía, la mayoría de las veces con el fin de mejorar la calidad del suministro de energía que supe la carga instalada.

Día a día se hace más importante la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, es por esto que las políticas nacionales han evolucionado de manera tal que existen incentivos para aquellos usuarios que opten por invertir en generación renovable en Colombia.

El marco legal colombiano estipula en el capítulo III de la ley 1715 de 2014 [12] los beneficios que adquieren aquellos que se encuentran obligados a declarar renta y tienen proyectos de investigación, inversión o desarrollo a partir de FNCE¹ certificados por el Ministerio de Medio Ambiente como inversiones de beneficio ambiental, adicional a esto los proyectos también cuentan con exención de IVA y derechos arancelarios de importación para equipos, servicios, elementos y maquinaria que se encuentre dentro de la lista generada por la UPME y avalada también por el Ministerio de Medio Ambiente.

Resumiendo lo anterior, el panorama para las FNCE en Colombia es favorecedor y se espera que produzca un incremento significativo en la implementación de las mismas.

¹ FNCE (Fuentes No Convencionales de Energía)

4.1.1 Composición de un sistema de generación híbrido: Un sistema de generación híbrido se caracteriza por integrar dos o más fuentes de energía distintas entre fuentes convencionales y no convencionales, la complejidad de este tipo de sistemas varía dependiendo de la potencia, características de consumo y del recurso energético. Algunos de estos sistemas están compuestos por módulos fotovoltaicos, turbinas eólicas, generadores diésel, biomasa, entre otros.

Los sistemas híbridos fotovoltaicos tienen como una ventaja no sobredimensionar el generador solar para los períodos de baja irradiación, se usa prioritariamente la energía producida por una de las fuentes, al combinarlo con otras fuentes se consigue un suministro fiable y disponible las 24 horas del día durante todos los días del año.

4.2 BATERIAS

La batería es un dispositivo almacenador de energía compuesto por celdas en las que se encuentran dos placas llamadas ánodo y cátodo, sumergidas en un electrolito que facilita el movimiento de los iones entre los electrodos. En un sistema fotovoltaico aislado se hace necesario el uso de bancos de baterías para suplir la demanda de potencia en periodos sin sol, abastecer un sistema con demanda de voltaje constante o simplemente para almacenar la energía generada en exceso y con esto evitar su desperdicio [13].

Existe la posibilidad de no utilizar baterías, en el caso específico de ser posible acoplar la carga directamente al arreglo fotovoltaico y cuando no se necesite almacenamiento [14].

Existen en el mercado diferentes tipos de baterías, entre las más usadas se tienen:

Plomo ácido abiertas o de mínimo mantenimiento: Su ventaja consiste en que pueden llenarse con agua destilada pero deben tener un mínimo de mantenimiento. Este mantenimiento comprende mediciones de voltaje, densidad y temperatura, y pruebas de descarga, realizadas según las frecuencias recomendadas por los proveedores o fabricantes.

Plomo ácido, selladas o libres de mantenimiento: Su principal ventaja es que no necesitan mantenimiento. Su mayor desventaja es una vida útil más corta que la de las baterías que necesitan mantenimiento.

Gel, selladas o libre mantenimiento: Su principal ventaja es que no necesitan mantenimiento y están protegidas contra la salida de ácido. Su desventaja es que no aguantan una corriente mayor de lo que se especifica.

AGM selladas libre de mantenimiento: Son fabricadas con fibra de vidrio absorbido, están protegidas contra la salida de ácido y catalizan hasta el 95% del hidrógeno y del oxígeno gasificado otra vez en agua, gracias a lo cual tienen una vida útil más larga. No necesitan mantenimiento. Su principal desventaja es el precio ya que son de las más costosas del mercado [15].

4.3 GENERADORES DIÉSEL

Un generador diésel es una máquina que mueve un generador eléctrico a través un motor de combustión interna y son generalmente utilizados como sistemas de respaldo de la conexión a la red cuando se hace necesario mantener el suministro de energía constante en lugares como hospitales y fábricas con delicados procesos industriales.

Los generadores tienen un costo considerable en el mercado, sin embargo son la forma más económica de abastecer a corto plazo la demanda de energía en las

zonas no interconectadas, actualmente se fabrican generadores diésel para distintos rangos de potencia que presentan costos competitivos en relación a la duración de su vida útil.

Una desventaja de utilizar generadores son los efectos negativos que producen sobre el medio ambiente aumentando la producción de gases de efecto invernadero.

4.4 ENERGÍA SOLAR

La energía solar es una fuente de energía renovable y se destaca por ser una energía limpia, libre de contaminantes como los provenientes de fuentes convencionales. Entre las desventajas que presenta son los altos costos de la instalación, sobre todo por los sistemas almacenamiento [16].

El concepto de energía solar nace del aprovechamiento de la radiación electromagnética que proviene del sol y es capturada por medio de diversas tecnologías para ser transformada en otros tipos de energía.

La energía solar fotovoltaica convierte la luz solar directamente en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico y puede ser aprovechado como fuente de energía eléctrica con la ayuda de paneles fotovoltaicos e inversores [17].

Debido a la larga vida útil de una instalación fotovoltaica y su bajo costo de mantenimiento, este tipo de aprovechamiento de la energía solar se convierte en una tecnología atractiva para suplir la demanda de energía eléctrica mediante el uso de los recursos renovables.

4.4.1 Paneles solares: Un panel solar tiene como función captar la energía proveniente de la radiación solar y convertirla en energía eléctrica. Los paneles solares fotovoltaicos se componen de celdas que convierten la luz en electricidad

directamente. Dichas celdas se aprovechan del efecto fotovoltaico, mediante el cual la energía luminosa produce cargas positivas y negativas en dos semiconductores próximos de distinto tipo, por lo que se produce un campo eléctrico con la capacidad de generar corriente. Los fotones que llegan del sol chocan sobre la superficie del panel siendo absorbidos por los materiales semiconductores, tales como el silicio o arseniuro de galio. Los electrones que se alojan en los orbitales de energía que interactúan con los fotones se desligan de los átomos a los que estaban originalmente unidos, lo que permite que circulen a través del material y produzcan electricidad [13].

4.4.2 Inversores: El inversor es uno de los componentes más importantes de la instalación fotovoltaica, este convierte la corriente continua generada por los paneles en corriente alterna con forma de onda sinusoidal apta para ser consumida por la carga conectada [13]; estos generan una onda de impulsos que se encarga de filtrar los armónicos indeseados, por lo general un inversor de onda sinusoidal pura tiene un menor rendimiento que uno de onda sinusoidal modificada.

Los inversores se caracterizan especialmente por la tensión de entrada ya que esta se debe ajustar a la tensión del arreglo fotovoltaico, otras de las características esenciales a la hora de elegir un inversor son la potencia máxima de salida, la baja distorsión armónica, la frecuencia de trabajo, la fiabilidad ante sobrecorrientes y la eficiencia de conversión.

La eficiencia del inversor varía en función de la potencia consumida por la carga, esta variación es necesario conocerla sobre todo si la carga en alterna es variable afín de que el punto de trabajo del equipo se ajuste lo mejor posible a un valor promedio especificado [14].

4.5 ENERGÍA EÓLICA

La energía eólica consiste en el aprovechamiento de la energía generada por las corrientes de aire como resultado de las diferencias de presión producidas por los cambios de temperaturas. La energía eólica se deriva de la energía solar ya que la radiación solar que se proyecta sobre la superficie terrestre es la que produce dichas variaciones de temperatura. Las aplicaciones más comunes son el bombeo de agua y la generación eléctrica mediante la construcción de parques eólicos [18].

Esta es un tipo de energía limpia que ayuda a reducir las emisiones de gases causadas por la generación de energía mediante las fuentes convencionales, se prevé un inminente crecimiento para este tipo de generación con base en los 319 [GW] de capacidad de energía eólica global instalados para el año 2013 frente a los 370 [GW] instalados para el año 2014 [19].

4.5.1 Aerogeneradores: Los aerogeneradores o turbinas de viento, son dispositivos que se encargan de convertir la energía cinética del viento en energía eléctrica. Su funcionamiento es muy simple, el flujo de viento que pasa por las aspas del aerogenerador provoca una fuerza giratoria que hace rodar un eje, que unido a un conjunto de transmisión mecánica o caja multiplicadora incrementa la velocidad de rotación del eje proveniente del rotor y a través de una bobina magnética genera electricidad convirtiendo la energía rotacional en energía eléctrica.

La energía producida por un aerogenerador depende de la potencia del viento y es directamente proporcional a la densidad del aire, la superficie barrida por sus palas y la velocidad del viento. Los aerogeneradores están diseñados para funcionar en forma óptima cuando el viento sopla dentro de un rango determinado de velocidades, los más usuales trabajan a velocidades de entre 3 y 24 [m/s]. La mínima velocidad para generar electricidad se llama velocidad de conexión y a la

máxima se le llama velocidad de corte, esta situación es contraproducente, ya que podría causar daños al mecanismo.

Los aerogeneradores pueden trabajar solos o en grandes cantidades sobre tierra o sobre el agua a cierta distancia de la costa del mar formando parques o granjas eólicas marinas [16].

4.6 RECURSOS

4.6.1 Radiación solar: Es la energía emitida por el sol que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. La medición de la radiación solar se realiza en forma instantánea como el cociente entre la cantidad de energía solar incidente en la unidad de área y de tiempo (Energía/Área Tiempo) [W/m^2] o integrada durante un lapso de tiempo que normalmente es un día (Energía/Área) [$kWh/m^2día$], y generalmente se mide con un instrumento denominado piranómetro.

Para alcanzar la superficie terrestre la radiación solar debe atravesar la atmosfera donde sufre diversos fenómenos de reflexión, absorción y difusión que disminuye su intensidad final. Se distinguen distintos tipos de radiación en función de cómo es esta recibida por la superficie [20]:

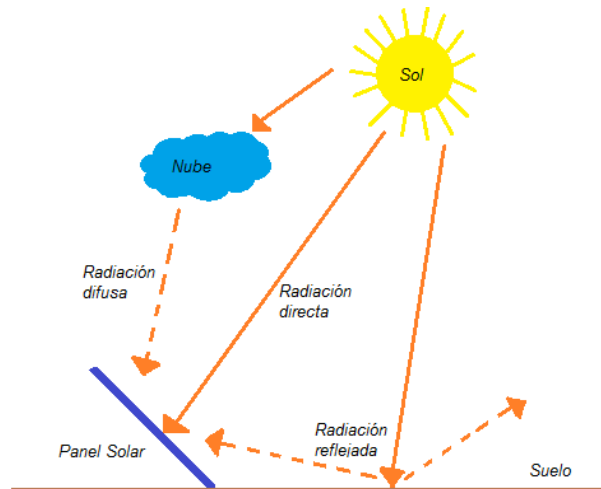
Directa: Es la radiación que llega directamente del sol sin haber sufrido cambios en su dirección. Es la mayor y la más importante en las aplicaciones fotovoltaicas.

Difusa: Es la parte de la radiación que atraviesa la atmosfera y es reflejada y absorbida por las nubes, partículas de polvo atmosférico, moléculas de agua, edificios y el suelo. Las superficies horizontales reciben mayor parte de esta radiación con respecto a las superficies verticales.

Reflejada: Es la radiación que llega procedente de la reflexión de la radiación directa en los elementos del entorno.

Global: La radiación global es la suma de la radiación directa, reflejada y difusa.

Ilustración 1. Representación de los rayos solares en la atmosfera terrestre.



4.6.1.1 Horas pico solares: Las horas pico solares (HPS) representan la intensidad de radiación solar que llega a un lugar cuando el sol brilla desde su punto más alto durante un determinado número de horas, debido a que durante el día no se presenta una irradiación constante es necesario saber durante cuánto tiempo en el día el panel puede trabajar bajo las condiciones de máxima potencia, para conocer cuánto es ese tiempo se hace necesario el cálculo de las horas pico solares. Dado que la radiación solar pico es tomada como $1000 \text{ [W/m}^2\text{]}$, las horas pico solares se calculan dividiendo la energía producida en un día entre la radiación pico [13].

La insolación diaria promedio se obtiene de sumar todos los valores de radiación solar por hora medidos durante el día, luego sumar todas las radiaciones obtenidas

durante el año y finalmente calcular el valor medio de las mismas, la ecuación que modela el cálculo de la insolación diaria se muestra a continuación:

Ecuación (1):

$$\text{Insolación Diaria Promedio} \left[\frac{\text{w}}{\text{m}^2} \right] = \frac{\sum \sum (\text{Radiación durante el día})}{\text{Días del año}}$$

4.6.2 Viento: El viento es el movimiento de masas de aire desde un área de alta presión a un área de baja presión, a causa de la variación de temperatura sobre las diversas partes de la superficie terrestre, el instrumento que mide la velocidad del viento es el anemómetro y permite registrar la dirección y la rapidez a lo largo del tiempo, la velocidad del viento se puede expresar en metros por segundo [m/s], en kilómetros por hora [km/h] o en nudos [kn] [21].

La dirección del viento se define como la dirección desde la cual sopla el viento [22], es decir la orientación que este sigue en su movimiento y se registra por medio de veletas, integradas generalmente en los mástiles de los anemómetros.

5. METODOLOGÍA

El desarrollo de este trabajo de grado está conformado por varias etapas. La etapa 1 consistió en la revisión bibliográfica que permitió afianzar los conceptos y definiciones en los temas que envuelven esta investigación, en la etapa 2 se realizó la estimación del perfil de carga anual mediante un levantamiento de las cargas conectadas en el edificio y los horarios de utilización del mismo, al mismo tiempo se efectuó la recopilación de las características de los posibles softwares para la realización de la simulación. Después de generar destreza sobre el manejo de los softwares en la tercera etapa se planteó el dimensionamiento de acuerdo a las especificaciones técnicas de los equipos y los potenciales energéticos seleccionados, para finalmente llevar a cabo el proceso de simulación.

Se tomó como ejemplo para este proyecto el tema de estudio en Kurdistán, Irán [23], donde se realizó la proyección de un sistema híbrido con conexión a la red integrando un sistema AMI², este tipo de sistemas ofrecen una solución para la medición y el control de la energía, pues recolectan y analizan datos en tiempo real y son capaces de tomar decisiones para controlar la micro red a la que están conectados. Además, la elección de la configuración se basó en la combinación de los resultados arrojados por el software Homer y el análisis de las configuraciones por medio del programa Expert Choice, sin embargo, el proyecto en Kurdistán difiere con el planteado aquí pues se busca establecer un sistema híbrido con conexión a la red por medio del análisis en diferentes programas de simulación y optimización de sistemas de energías renovables, haciendo énfasis en sus características. La elección de la configuración óptima se realiza mediante el análisis de los resultados obtenidos en la simulación a partir de los costos y la meta de producción de energía anual estimada.

² AMI (Advanced Metering Infrastructure).

6. ETAPA I: ESTUDIOS DEL SOFTWARE

6.1 SELECCIÓN DEL SOFTWARE

Para la selección del software se tuvieron en cuenta factores como costo, proceso de instalación, actualizaciones, elementos de simulación, idioma, soporte técnico y variables con las que cada software escoge su mejor propuesta.

De los softwares considerados, el costo es una variable importante pues se desea que este tipo de herramientas computacionales se usen en beneficio de la comunidad, creando consciencia con respecto al consumo energético en hogares y empresas e incentivando la planeación de redes híbridas en diferentes ambientes con el fin de disminuir la producción de gases de efecto invernadero.

Cada año surgen nuevas tecnologías y dispositivos de generación que aumentan la relación entre costo de inversión y aprovechamiento de energías renovables, es por esto que se hace necesario escoger un software que presente actualizaciones constantes que se encuentren a la vanguardia de las mismas. Durante el proceso de selección del software se descartaron aquellas herramientas computacionales que dejaron de presentar actualizaciones.

Otro factor a considerar durante la selección del software fueron los elementos de simulación; lo anterior se debe a que cada herramienta computacional es creada en diferentes partes del mundo donde las condiciones climáticas varían, así que para la ejecución de este proyecto se escogieron softwares que resaltan las virtudes de la zona en la que se encuentra el edificio de la E3T, pues al estar ubicados sobre la línea del ecuador es importante priorizar aquellas tecnologías que aprovechan la radiación solar presente en esta parte del mundo.

6.2 COMPARACIÓN DE SOFTWARES

La tabla 1 muestra un análisis comparativo de los programas más relevantes descritos en el capítulo anterior y se enfoca en las características principales de estos.

Tabla 1. Comparación de softwares.

COMPARACIÓN SOFTWARES						
CARACTERÍSTICA	HOMER Pro	SAM 2015.6.30	RETScreen Suite	PVsyst 6.4.2	iHOGA 2.2	HYBRID2
Sistema operativo	Windows Vista o superior Windows 7/8/8.1 o superior No en Windows XP preferiblemente 64 bits	Windows 10/8/7/vista OS X 10.8 Intel o superior Linux x86-64	Windows XP o superior	Windows o máquina virtual con instalación de Windows	Windows XP, Vista, 7 y 8	Windows previos a XP
Tipo de licencia	30 días gratuitos, licencias (estándar, académica y estudiantes) pagas	Gratuita	Gratuita	Gratuita	PRO+1 año y PRO+ sin límite temporal (pagas) y EDU (gratuita)	Gratuita
Manual de usuario	Disponible	Disponible	Disponible como manual de ayuda dentro de Excel	Disponible	Disponible	No disponible
Tipo de análisis	Sensibilidad, optimización, técnico, económico y ambiental	Financiero y técnico	Financiero y ambiental	Financiero y técnico	Optimización	Técnico y económico
Última actualización	Marzo 1 de 2016	Octubre 13 de 2015	2012	Marzo 18 de 2016	Mayo 23 de 2014	-

Tabla 1. Continuación.

COMPARACIÓN SOFTWARES						
CARACTERÍSTICA	HOMER Pro	SAM 2015.6.30	RETScreen Suite	PVsyst 6.4.2	iHOGA 2.2	HYBRID2
Tecnologías para modelos de desempeño	Generador, turbina de viento, FV plato plano, FV concentración, baterías, convertidor DC/AC, volante de inercia, calentador, reformador, electrolizador, tanque de hidrógeno, controlador de carga térmica, hidrocinético, red avanzada	Sistemas fotovoltaicos (plato plano, concentración), modelo de baterías de almacenamiento para sistemas fotovoltaicos, concentrador solar, torre de concentración solar (sales fundidas y vapor directo), concentración lineal Fresnel, energía solar térmica, calentador de agua térmico convencional para residencias o construcciones comerciales, energía eólica (grande y pequeño), energía geotérmica y energía biomasa	Turbina eólica, turbina a gas, celda electroquímica, energía de corrientes oceánicas, energía de las olas, energía de mareas, energía geotérmica, energía térmica solar, fotovoltaico, motor a pistones, turbina a gas (ciclo combinado), turbina a vapor, turbina hidráulica	Paneles fotovoltaicos, convertidor DC/AC, reguladores de carga, baterías, generadores, bombas, reguladores de bombeo	Paneles fotovoltaicos, aerogeneradores, turbinas hidráulicas, pila de combustible, tanque de H2, electrolizadores, baterías, convertidor DC/AC, rectificador AC/DC y generadores AC	Turbinas de viento, panel fotovoltaico, generadores diésel, baterías, convertidor de potencia
Idioma	Inglés - español	Inglés	36 idiomas	Inglés - francés - español - alemán - italiano	Español	Inglés

Tabla 1. Continuación.

COMPARACIÓN SOFTWARES						
CARACTERÍSTICA	HOMER Pro	SAM 2015.6.30	RETScreen Suite	PVsyst 6.4.2	iHOGA 2.2	HYBRID2
Soporte técnico	Preguntas frecuentes, foros de usuarios, tutoriales, portal de ayuda, base de datos, documentos HOMER, entrenamiento HOMER	Sistema de ayuda F1 en Windows o ? En Mac OS, foro de usuarios, documentación, videos y horarios de entrenamiento en la página de aprendizaje del sitio web de SAM	Búsqueda RETScreen, preguntas frecuentes, material de entrenamiento, libro de texto virtual para ingenieros, casos de estudios/guías, calendario de entrenamiento, tienda y contacto directo por medio de un formato (inglés o francés).	Preguntas frecuentes, sistema de ayuda PVsyst, foros de usuarios y sesiones de entrenamiento programadas	Mediante e-mail por un año (pago)	Glosario online
Base de datos meteorológicos	NASA (Radiación global horizontal, temperatura del aire, velocidad del viento a 50m sobre la superficie de la tierra)	OpenEI U.S. (venta detallada de electricidad para U.S), NREL (solar, condiciones climáticas ambientales, viento, biomasa)	Datos meteorológicos de superficie y energía solar de la NASA (No hay datos de Bucaramanga), base de datos climatológicos RETScreen a 6700 sitios de estaciones terrestres	Métodos de importación de clima Meteornorm 7.1 y NASSA-SSE	Datos meteorológicos de radiación de la NASA, del viento de Windfreedom, hídrico de base de datos	Base de datos de recursos meteorológicos (sólo USA)

Con ayuda de la tabla 1 donde se comparan las características principales de cada software y se descartan los siguientes:

1. **HYBRID2** debido a que no se encontró información que demostrara su amplio uso, complicando la solución de dudas durante una simulación, además no se halló última fecha de actualización y presenta características restringidas para su instalación.
2. **iHOGA2.2** debido a que la versión gratuita (EDU) sólo permite modelar sistemas de hasta 10 [kWh/día], adicional a esto, el software no se ha actualizado en un tiempo considerable.
3. **RETScreen** aunque es un software gratuito que maneja diversas tecnologías, se descartó debido a que su última actualización fue en 2012.

Luego se seleccionaron los programas HOMER, SAM y PVsyst para las simulaciones finales en respuesta a su capacidad de optimización de sistemas híbridos, plataforma gratuita para simulación con tecnologías renovables y cálculo de configuraciones fotovoltaicas con sistemas conectados a la red, respectivamente.

Cada software escogido requiere de información diferente a la hora de implementar un proyecto, así que se elaboró una estimación del perfil de carga diario y anual en el edificio de la E3T, debido a que actualmente la edificación no cuenta con equipos de medición que permitan el modelamiento del gasto energético por serie de tiempo, se aprovechan las mediciones realizadas a los tableros de distribución del proyecto de grado de Otero y Pedrozo [24] para establecer un comportamiento que se asemeje a la carga consumida. En la etapa siguiente se describe la información que se debe incluir en cada software para la simulación correspondiente.

7. ETAPA II: DATOS PARA INGRESO AL SOFTWARE

7.1 PERFILES DE CARGA

Para las estimaciones del consumo energético del edificio de la E3T se recopilaron los horarios de ocupación correspondientes a cada salón de clase y oficina, los planos eléctricos actualizados del edificio y las características de consumo de los equipos conectados. A continuación, se describe la procedencia y el análisis realizado a cada uno de los requisitos:

7.1.1 Estimación perfil de carga diario en el edificio de la E3T: El cálculo del consumo energético diario se hace con el fin de obtener un parámetro adicional con el que se pueda corroborar el cubrimiento de la demanda de cada día en el edificio, para conseguirlo se emplearon los planos eléctricos actualizados del edificio, se realizó la búsqueda de las características técnicas de las cargas para determinar la potencia de cada una y posteriormente se realizó una estimación del número de horas en las cuales se encienden los diferentes equipos que se encuentran conectados a la red.

Finalmente se obtuvo un valor para el consumo energético diario de 184.25 [kWh/día] que corresponde a la combinación de la potencia de cada elemento con el número de horas en el cual se estima su uso y la relación de este valor con un factor de demanda correspondiente (ver anexo A). A continuación se presentan los pasos que se tuvieron en cuenta para calcular el valor aproximado de la energía que se consume diariamente:

7.1.1.1 Planos actualizados del edificio de la E3T: Con base en los planos eléctricos actualizados de la tesis de Otero y Pedrozo en [24] se delimitaron las áreas de cada piso y posteriormente se contaron las luminarias instaladas en cada una de estas zonas con el fin de agregar los datos a la caracterización de equipos.

7.1.1.2 Caracterización de equipos conectados en el edificio de la E3T: Para el análisis realizado a la potencia de los equipos conectados a la red se establecieron tres tipos de cargas que representan diferentes factores de demanda descritos más abajo. Los datos caracterizados se adjuntan en el anexo A.

- **Iluminación:**

Gran parte del consumo energético del edificio se debe al encendido de lámparas, sin embargo este posee un sistema de automatización que consta de sensores de iluminación y de presencia que disminuyen tiempo de encendido de las mismas en salones y pasillos.

El edificio cuenta con diferentes tipos de luminarias instaladas en los salones con el fin de otorgar la cantidad necesaria de lúmenes correspondientes al tipo de actividad que se lleva a cabo en cada una de estas. Por tanto el edificio cuenta con lámparas fluorescentes de 4X14W y 2X28W y plafones con rosca e-27 ubicados en los cuartos pequeños.

Para aquellos salones donde la iluminación es natural y los sensores de luminosidad mantienen las lámparas apagadas se estableció un horario de encendido nocturno dependiendo de la ocupación de cada aula y para los recintos que no poseen ventanas que permitan el paso de la luz natural como el sótano, baños y cuartos técnicos se aplicó el factor de demanda que se explica a continuación.

Para realizar el cálculo final que involucra toda la iluminación de la edificación se

tuvieron en cuenta los parámetros establecidos por la NTC2050 donde se establece en la tabla 220-3b [25] la carga mínima de alumbrado por metro cuadrado de suelo en colegios (32 VA/m²), debido a que el valor de este tipo de ocupación coincide con el de unidades de vivienda, se aplica la tabla 220-11 de la misma norma (tabla 2).

Tabla 2. Fragmento de la tabla 220-11 de la NTC 2050 [25].

TIPO DE OCUPACIÓN	PARTE DE LA CARGA DE ALUMBRADO A LA QUE SE APLICA EL FACTOR DE DEMANDA (VA)	FACTOR DE DEMANDA %
Unidades de vivienda	Primeros 3000 o menos	100
	De 3001 a 120000	35
	A partir de 120000	25

Por consiguiente el cálculo correspondiente a la iluminación del edificio es:

$$P_{Iluminación} = (3000 [VA] * 100\%) + (20200 [VA] * 35\%) = 10070 [VA].$$

- **Cargas y extractores:**

Según la NTC 2050 en la sección 220-13 [25], para calcular la potencia total con respecto a las cargas por tomacorrientes, se permite adicionar la potencia de estos al análisis hecho con el factor de demanda para iluminación de la tabla 2, por lo tanto a los 20200 [VA] al 35% debidos a las luminarias se le adicionan 17197 [VA] debidos a cargas por tomacorrientes. Todos los cálculos hacen parte del anexo A.

- **Aires acondicionados:**

La base del funcionamiento de un aire acondicionado es proporcionar ciertas condiciones seleccionadas durante la programación del mismo, sin embargo el encendido de este se ve afectado por las variables ambientales del lugar donde se instala (temperatura, humedad y ventilación), proporcionando un patrón intermitente de actividad.

Como una de las excepciones presentes en la sección 220-15 de la NTC 2050 [25] establece que la totalidad de la carga debida a la potencia de los aires acondicionados se ve afectada cuando estos presentan ciclos de servicio o encendido intermitente, se calcula el consumo energético de los anteriores con ayuda de la potencia promedio tal como lo explica DEMIREL [26]. La ecuación que

se utilizó fue
$$P_{promedio} = \frac{\text{Capacidad de enfriamiento [BTU/h]}}{SEER [BTU/Wh]}$$
.

Donde,

Capacidad de enfriamiento [BTU/h] es la cantidad de calor que puede extraer un aire acondicionado por hora en un ambiente.

SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio) [BTU/Wh] es la relación de la eficiencia energética por estación de los aires acondicionados.

Los parámetros se obtuvieron de los datos proporcionados por la Dirección de contratación y proyectos de inversión de la Universidad Industrial de Santander [27], (ver tabla 3).

Tabla 3. Características de los aires acondicionados según términos definitivos [27].

CARACTERISTICAS AIRES ACONDICIONADOS					
PISO	CAPACIDAD ENFRIAMIENTO [BTU/h]	SEER [BTU/Wh]	Pprom [W]	CANTIDAD	POTENCIA PROMEDIO TOTAL [W]
SOTANO	36000	13	2769,23	2	5538,46
4 PISO	36000	13	2769,23	8	22153,85
5 PISO	24000	13	1846,15	1	1846,15
	12000	13	923,08	1	923,08
	9000	13	692,31	1	692,31

7.1.1.3 Horas de consumo diario por tipo de carga: Una estimación de las horas en las que se usa cada tipo de carga durante un día habitual se muestra en las siguientes tablas:

Tabla 4. Horas de encendido de iluminación en día habitual.

ÁREA	Horas/día
Salones y oficinas	4 – 7
Pasillos	4
Baños	3
Cuarto de aseo	1
Cuarto técnico	0,5
Áreas comunes	1 – 3

Tabla 5. Horas de encendido de cargas en día habitual.

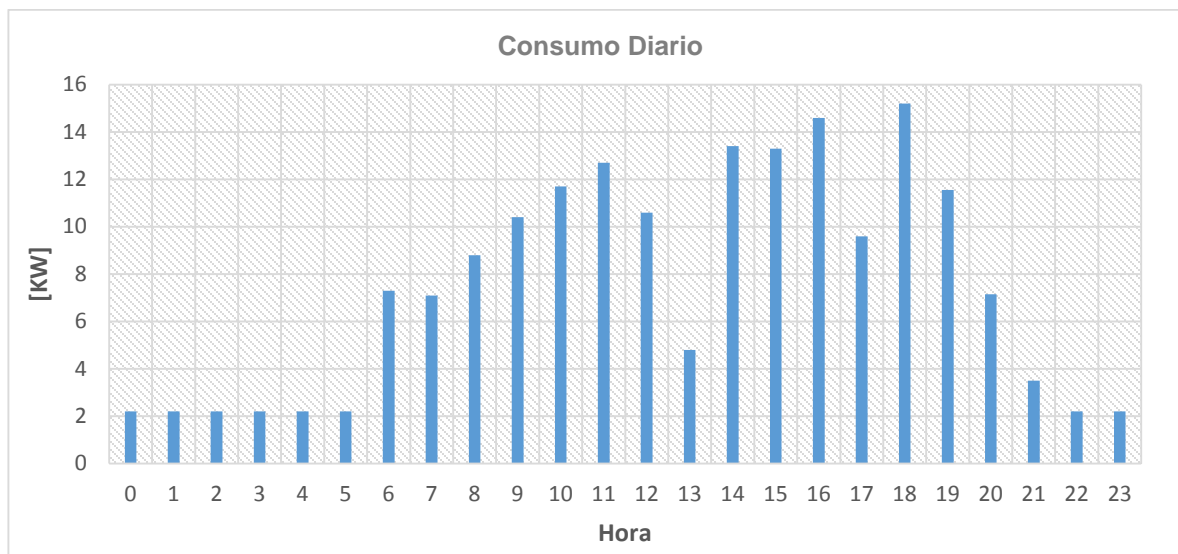
ÁREA	Horas/día
Salones	0,5 - 1,5 - 3
Oficinas	4 - 8
Centro de estudios	3 - 4 - 6
Sala trabajo grupal	7
Sala trabajo individual	7

Tabla 6. Horas de encendido de aires acondicionados en día habitual.

ÁREA	Horas/día
Salones	4
Oficina sótano	4
Sala de reuniones	2
Dirección de escuela	4
CCTV	4

7.1.2 Comportamiento carga diaria: La ilustración 2 modela el comportamiento obtenido de la potencia que se consume durante un día en el edificio de la E3T, como resultado de la suma de los consumos obtenidos por día en los tableros de distribución instalados en cada piso.

Ilustración 2. Comportamiento del consumo de carga en el edificio.



En la ilustración 2 se observa que el gasto energético ocurre durante los periodos de la mañana (6 [h] – 12 [h]) y de la tarde (14 [h] – 18 [h]), sin embargo el mayor gasto de energía se da entre las 14 y 18 horas debido a la cantidad de clases programadas; además se aprecia una disminución del consumo durante el mediodía, lo que concuerda con el horario en que los estudiantes y administrativos suelen almorzar. Cabe resaltar que este es un perfil estimado debido a que las mediciones se realizaron durante diferentes días y se tomaron como referencia los días en que se presentaba un mayor consumo.

7.1.3 Estimación perfil de carga anual: Con ayuda del perfil de carga diario elaborado anteriormente se halló el consumo energético anual al relacionar este con los horarios de ocupación de cada salón durante un periodo académico en el edificio de la E3T, dando como resultado un consumo de 65.35 [MWh/año]. Un ejemplo del cálculo realizado a cada una de las zonas delimitadas en el edificio y el procedimiento para obtener el valor de energía consumida anualmente se encuentra en el anexo B.

Para obtener los horarios de ocupación del edificio se realizó una solicitud dirigida al director de escuela en la que se evidenciara el periodo académico necesario, posteriormente se utilizó código binario para establecer un horario de ocupación que se pudiera relacionar con las cargas previamente establecidas. Dentro de los cálculos presentados en el anexo B se establece el horario de ocupación perteneciente a cada recinto del edificio durante el periodo académico 2014-1, sin embargo la variación en la cantidad de clases por semestre es mínima, por lo tanto el consumo energético anual estimado para dicho periodo académico es cercano al presentado durante otros periodos en el nuevo edificio de la E3T.

7.1.4 Red de generación actual: La generación actual en el edificio de la E3T está conformada por paneles fotovoltaicos conectados a la red empleando microinversores. Actualmente el sistema cuenta con 10 paneles de la marca Canadian referencia CS6P-255P conectados a 10 microinversores de la marca Enphase referencia M250-60-2LL-S22 y 3 módulos fotovoltaicos marca UP-M235M con 3 micro inversores de la marca ABB de 265W, lo que luego de la simulación pertinente por medio del software SAM arrojó una generación anual de 3.953 [MWh/año] y 878 [kWh/año] respectivamente, otorgando los parámetros guía para los análisis de este proyecto, los informes respectivos de cada simulación se encuentran en el CD adjunto.

7.2 DATOS METEOROLÓGICOS.

El análisis de las características climatológicas en la zona se hace a partir del archivo de datos obtenido de la estación meteorológica Vantage Pro-2 Davis³ durante el año 2014. Esta unidad se encuentra ubicada en la terraza del edificio E3T y consta de un grupo de sensores que entregan medida de presión, temperatura,

³ Davis Instrument. Disponible en: < <http://www.davisnet.com/weather/products/vantage-pro-professional-weather-stations.asp> >

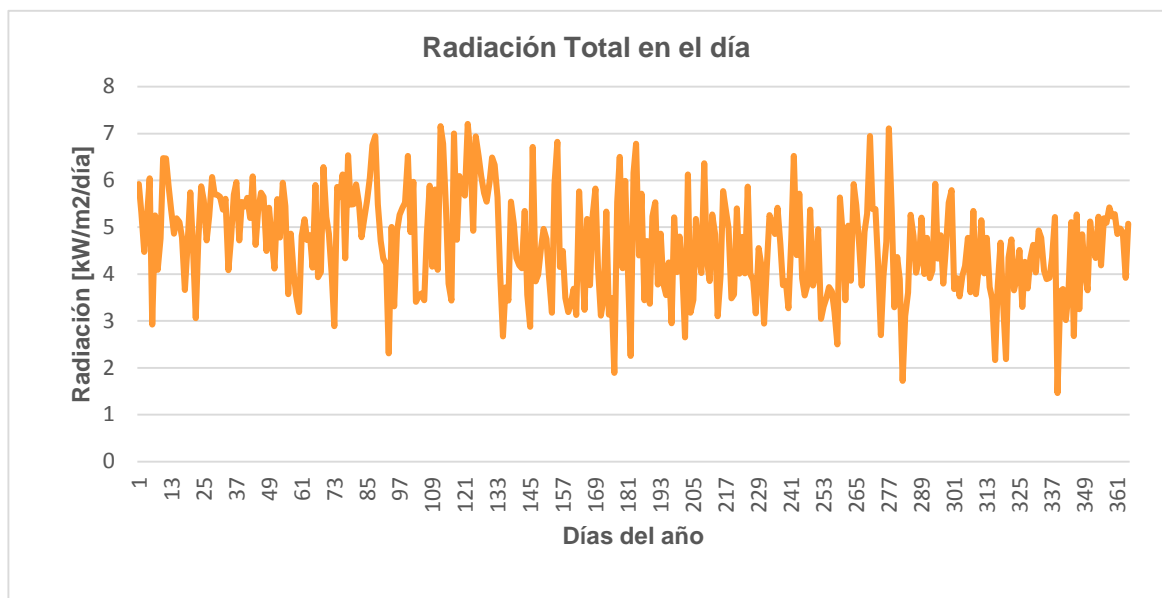
humedad, precipitación, radiación solar, radiación ultravioleta, velocidad y dirección del viento.

Debido a errores de comunicación entre el medidor y la base de datos, las muestras adquiridas no corresponden a un intervalo constante de tiempo, por lo tanto, fue necesario el uso del software MATLAB⁴ para realizar promedios de los datos tomados y así poder generar intervalos iguales.

Para concluir se analiza el potencial solar y de velocidad del viento del lugar ya que son parámetros vitales para el dimensionamiento de un sistema de generación.

7.2.1 Radiación solar en el edificio E3T: Para determinar el potencial energético solar del edificio, se analizaron los datos de radiación solar obtenidos de la estación meteorológica instalada en el edificio de la E3T.

Ilustración 3. Radiación solar global

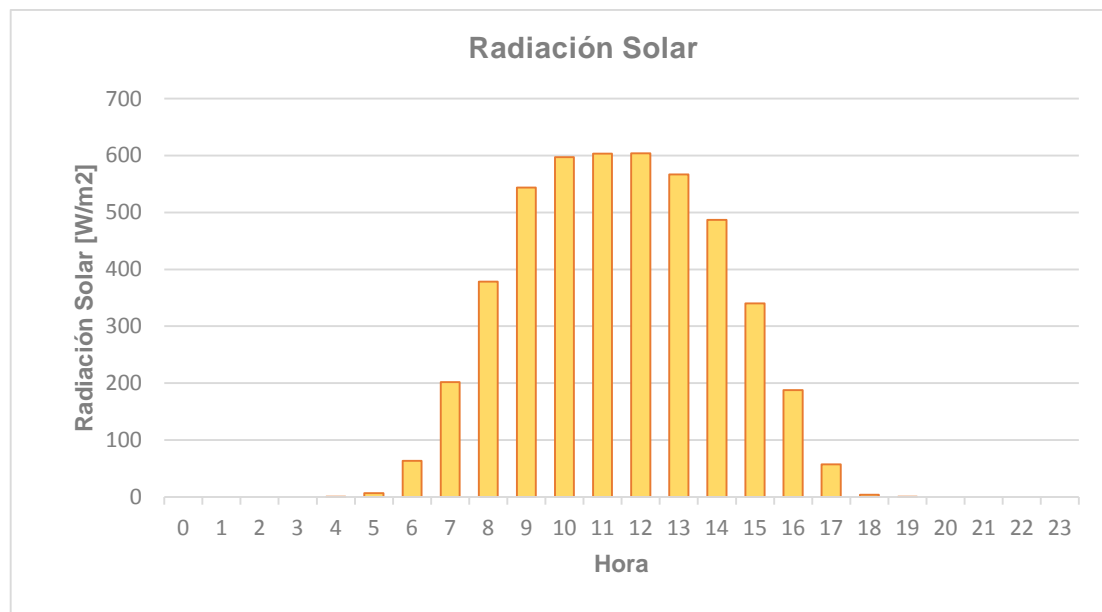


⁴ MATLAB® 1994-2014 The MathWorks, Inc. Disponible en: <<http://www.mathworks.com/products/matlab/>>

Al analizar los datos de radiación global para el año 2014, se observa que este valor se encuentra entre 3,0 y 7,0 [kWh/m²] en el día, además de un valor promedio anual de 4,64 [kWh/m²]. Si se comparan los valores obtenidos con los datos proporcionados por la UPME en el atlas de radiación solar es notorio que los valores se encuentran contenidos dentro de los valores promedios de radiación para la zona de Santander.

Para un mejor análisis de la radiación solar, los datos adquiridos del medidor meteorológico son colocados en un formato hora a hora y organizados mediante una tabla dinámica en Excel, en donde las columnas indican la radiación solar de cada hora del día y las filas el día en que se efectuó la medición, el comportamiento de la radiación solar en el sitio se muestra a continuación.

Ilustración 4. Radiación solar incidente sobre la terraza de la E3T.



La Ilustración 4 muestra la radiación solar promedio por hora en el año que llega a la terraza del edificio de la E3T. Se observa que las horas donde se presenta mayor

radiación solar durante el día son entre las 10 a.m. y la 1 p.m, el valor de radiación máximo es de alrededor de los 600 [W/m²].

7.2.1.1 Horas pico solares: Las horas pico solares se obtienen al dividir el valor de la insolación promedio diaria entre el valor de irradiancia en condiciones estándares. Como la radiación promedio diaria fue obtenida a través de datos registrados cada hora, entonces la insolación promedio diaria es igual a 4642.31 [Wh/m²], valor obtenido mediante la ecuación (1). El cálculo de las horas pico solares se detalla con la siguiente operación:

$$\text{HPS} = \frac{4642,31 \left[\frac{\text{Wh}}{\text{m}^2} \right]}{1000 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]} = 4,64 \text{ [h]}.$$

7.2.1.2 Días de sombra: Para calcular los días de sombra se analizaron los datos de irradiancia diaria. Como estos valores se obtuvieron mediante una serie de promedios fue necesario calcular la desviación típica de los datos para tener una mayor exactitud, con esto se determina el número de días soleados y de sombra.

El número de días de sombra se obtiene de la comparación de la irradiancia promedio diaria y la radiación diaria registrada por el equipo meteorológico. Si la radiación diaria es mayor que la irradiancia promedio se considera un día soleado, de lo contrario se toma como un día de sombra.

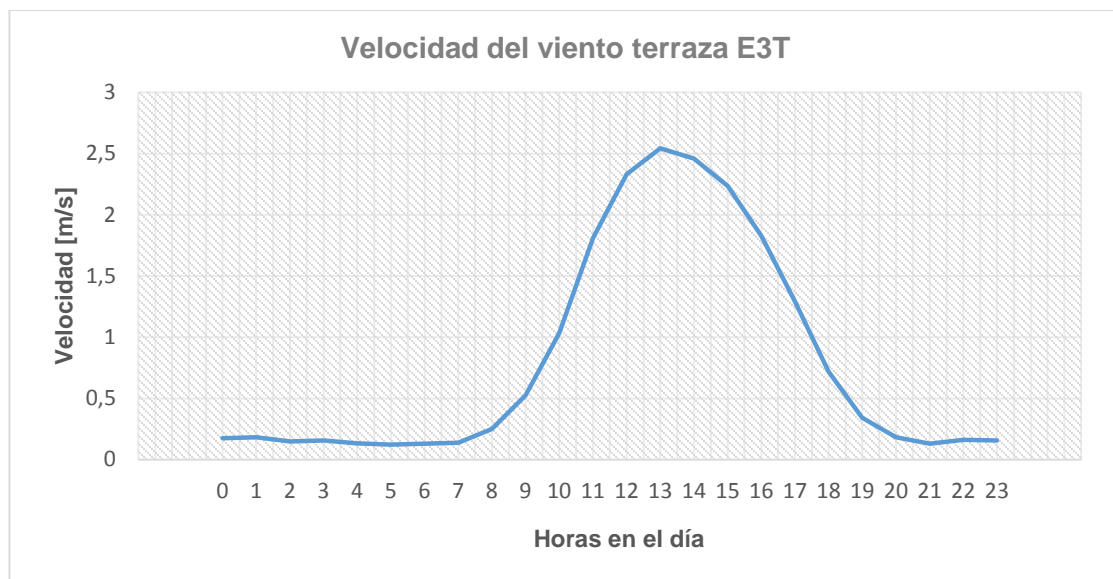
Para calcular la irradiancia promedio diaria se consideran los datos registrados para los 365 días desde las 6 am hasta las 6 pm (horas en las cuales existe radiación solar) y se calcula el promedio de la radiación presentada durante el día, para después calcular el valor medio de todos los promedios de cada día. El valor obtenido de irradiancia promedio es 385.97 [W/m²] (esta información se encuentra en un archivo en Excel llamado DATOS SOLAR.xlsx que se encuentra en el CD

adjunto).

Al comparar los datos se encontró que durante todo el año se presentan 61 días de sombra y 3 de ellos se presentan de forma sucesiva, lo que representa 6 días de autonomía, ya que por cada día de sombra serán dos de autonomía con los que deberá contar el sistema. Por tanto, si el arreglo contara con un sistema de almacenamiento de energía, el dimensionamiento de las baterías deberá realizarse para 6 días de autonomía.

7.2.2 Velocidad y dirección del viento en el edificio E3T: Al analizar los datos de dirección del viento para el año 2014, se encontró que la velocidad promedio del viento es de 2,2 [m/s]; entre las 11 a.m. y las 4 p.m. es donde mayor flujo de aire se produce y con una velocidad máxima promedio en el día de 2,54 [m/s] (esta información se encuentra en un archivo en Excel llamado DATOS VIENTO.xlsx que se encuentra en el CD adjunto); estos datos coinciden con los datos reportados por la UPME en el atlas de viento de Colombia, que menciona la velocidad media del viento multianual para esta zona corresponde a un valor entre 1.0 [m/s] y 2.5 [m/s] con una dirección predominante hacia al noreste [22].

Ilustración 5. Velocidad del viento en la terraza de la E3T.



7.3 ANALISIS DE LOS COMPONENTES DE LA RED HÍBRIDA.

Existen diversas marcas de paneles solares al igual que distintos materiales de celdas solares lo que origina variaciones en sus precios, la tabla 7 enseña algunas marcas de módulos fotovoltaicos con su referencia, potencia, dimensiones y eficiencia, esto con el fin de seleccionar un panel que se ajuste al requerimiento energético del proyecto que se analiza.

Tabla 7. Características paneles solares.

Marca	Modelo	Potencia [W]	Dimensiones	Eficiencia
Canadian Solar	CS6X-315P	315	76.93 x 38.7 x 1.57	16.42
Jinko Solar	JKM310P-72	310	77.01" x 39.05" x 1.57"	15.98
Jinko Solar	KM315P-72	315	77.01" x 39.05" x 1.57"	16.23
Jinko Solar	JKM320P-72	320	77.01" x 39.05" x 1.57"	16.49
Hanwha	BFR-G4.260	260	65.7" x 39.4"x 1.26"	15.60
Kyocera	KD315GX-LPB	325	65.43 x 51.97 x 1.8	-
Motech	IM72C3-305	310	77.4 x 39.1 x 1.97	15.9
REC	315PE72	315	77 x 39 x 1.75	16.1
Renogy	RNG 310P	310	76.9 x 39.0 x 2.0	16
Ulica Solar	UL-320P	320	76.9 x 39.05 x 1.8	16.52

Al observar la tabla 7 y compararla con la demanda energética diaria (184.25 [kWh/día]) se toma la decisión de tener en cuenta los paneles que ofrezcan mayor potencia y eficiencia, con el fin de lograr suplir la carga con la mínima inversión, dejando como elección el módulo de marca Ulica Solar de 320 [W] con eficiencia de 16.52%.

Para seleccionar el inversor se busca que este sea compatible con el panel seleccionado y que ofrezca la tensión de red que posee el edificio de la E3T (208V), adicional a esto se observa que el rango de tensión en DC sea lo suficientemente amplio para poder conectar más módulos, los inversores consultados se enlistan en la tabla 8. También se tuvieron en cuenta aquellos que brindaban más entradas MPPT, se ajustaban mejor al proceso de simulación y además reducían el número de inversores totales en cada configuración, por consiguiente se escoge el inversor ABB de 4.2 [kW] que satisface las características requeridas de selección.

Tabla 8. Características inversores DC/AC.

Marca	Modelo	P [KW]	Entradas MMPT	Vdc [V]	Vac [V]	V.MPPT [V]	Eficiencia %
FRONIUS	Symo 3.0-3-S	3	2	150 - 1000	220 - 400	200 – 800	97.2
Sunny Boy	1300TL	1,3	1	100 - 600	180 - 260	115 – 480	96
FRONIUS	IG Plus 25 V-1	2,6	-	230 - 600	180 - 270	230 – 500	95.7
Sunny Boy	2100TL	2,1	1	Máx 600	180 - 260	200 – 480	96
Sunny Boy	STP-5000TL	5	2	150 - 1000	160 - 280	245 – 800	98
Sunny Boy	STP-6000TL	6	2	150 - 1000	160 - 280	295 – 800	98
ABB	PVI-3.6-TL-OUTD	3,6	2	120 - 600	183 - 228	120 – 530	96
ABB	PVI-3.8-TL-OUTD	3,8	2	120 - 600	183 - 228	140 – 530	96
ABB	PVI-4.2-TL-OUTD	4,2	2	120 - 600	183 - 228	140 – 530	96
ABB	PVI-6TL-OUTD	6	2	120 - 600	183 - 228	120 – 580	96
ABB	PVI-5TL-OUTD	5	2	120 - 600	183 - 228	120 – 580	96
Sunny Boy	3000TL-US Grid Tie	3	2	125 - 600	183 – 229	125 – 500	97.6
Sunny Boy	4000TL-US Grid Tie	4	2	125 - 600	183 – 229	125 – 500	97.6
Aurora	PVI-3.6-OUTD	3,6	2	120 - 600	183 - 228	120 – 530	96

En la red híbrida contemplada se encuentran generadores diésel, sin embargo se escogió uno de poca potencia debido las emisiones de gases contaminantes que un generador produce durante su funcionamiento. Para tenerlo en cuenta dentro de

la simulación se buscó un generador de 25 kVA que se ajustara a las características de la red (208V y 60Hz). La referencia del generador diésel escogido es A25KBS de ARMSTRONG POWER SYSTEMS con 20 [kW], 60 [Hz] y gasto de combustible de 5.09 [L/hr].

Debido a que la velocidad promedio del viento no es una velocidad que justifique la inversión de aerogeneradores, se decide no tenerlos en cuenta dentro de las simulaciones.

Tabla 9. Características baterías.

Marca	Modelo	Ah	Precio COP
Fullriver	DC335-6	335	\$ 1.310.542,86
Concorde	PVX-2580L	258	\$ 2.067.289,98
Hawker	OPZV 490	540	\$ 7.461.216,14
U-Power	OPZV 630Ah	630	\$ 4.545.338,57
Rolls	S605	605	\$ 11.817.228,48
FULLRIVER	AGM 440	440	\$ 14.798.764,76
OutBack	1300RE	1148	\$ 43.805.197,15

Luego de las cotizaciones permitentes de los equipos de baterías y el contraste del mismo con el máximo de días de autonomía establecido en el capítulo 3 numeral 3.2.1.2 se consideró que el uso de baterías aumentaría el impacto de emisiones de gases que causan el efecto invernadero, lo que difiere de ideal del proyecto, adicional a esto se conoce que toda energía generada en exceso se aprovecha en cualquiera de los edificios del campus, por lo tanto, se decide omitir el uso de las mismas.

Finalmente se estimó que el horario de generación fotovoltaica es de 12 horas entre las 6 a.m. y las 6 p.m. donde el punto máximo de generación estaría entre las 10 a.m. y la 1p.m, por esta razón se escoge seleccionar un sistema interconectado para realizar la simulación, ya que en los horarios donde el arreglo fotovoltaico no supla la carga la red proveerá el suministro y en caso de generar excedentes de energía estos se entregaran a la misma red.

8. ETAPA III: RESULTADOS DE SIMULACIÓN

En esta etapa se describen los resultados de las simulaciones realizadas, de los cuales se obtuvo una configuración conectada a la red de paneles solares e inversores que cumple con la generación necesaria para suplir la demanda neta diaria de energía del edificio de la E3T.

8.1 SIMULACIÓN EN SOFTWARE PVsyst

La simulación por medio de la herramienta computacional PVsyst permitió obtener una configuración. La configuración escogida fue 144 módulos fotovoltaicos de referencia UL-320P de la empresa Ulica y los 9 inversores de la marca ABB referencia PVI-4.2-OUTD-US y se modelan junto a una recopilación de datos meteorológicos de la ciudad de Bucaramanga, obteniendo un estimado de generación anual y diaria de 66.57 [MWh] y 187.5 [kWh] respectivamente, el informe y las gráficas que evidencian el resultado de la simulación con PVsyst se adjunta en el anexo C.

Parte de la tarea del diseñador de la red es establecer el ángulo de incidencia de la radiación solar en miras de ubicar el modulo fotovoltaico donde la captación de rayos sea máxima, para la zona en la que se encuentra ubicado el campus de la Universidad Industrial de Santander se estableció una inclinación fija de 0° con una orientación dirigida al sur, es decir un acimut de 180 según el proyecto de grado elaborado por Cala y Rodríguez Sañudo [28].

8.2 SIMULACIÓN EN SOFTWARE SAM

El análisis hecho con el software SAM fue exclusivamente para el sistema fotovoltaico, esta herramienta computacional ofrece un amplio enfoque en el análisis de la tasa de retorno con respecto a los costos, los impuestos y beneficios

dependiendo del tipo de modelo financiero que seleccione el diseñador. El análisis financiero no será tenido en cuenta en la simulación con este software ya que no se encuentra dentro del alcance de este proyecto.

Es de resaltar que el software posee la posibilidad de simular con distintas tecnologías que aprovechan los recursos renovables y que en el caso de los modelos fotovoltaicos detallados, cuenta con una base de datos de módulos muy completa gracias a las constantes actualizaciones que brinda el desarrollador del programa, por lo tanto SAM es un software gratuito muy útil para aquellos que busquen un análisis financiero confiable de configuraciones híbridas.

La configuración escogida de 136 módulos fotovoltaicos de referencia UL-320P de la empresa Ulica y los 9 inversores de la marca ABB referencia PVI-4.2-OUTD-US-A se modelan junto a una recopilación de datos meteorológicos de la ciudad de Bucaramanga, obteniendo un estimado de generación anual y diaria de 66.43 [MWh] y 181.89 [kWh] respectivamente, el informe y las gráficas que evidencian el resultado de la simulación se adjuntan en el anexo D.

8.3 SIMULACIÓN EN SOFTWARE HOMER

HOMER es una herramienta que permite simular numerosas configuraciones de diseño bajo la fluctuación de los precios del mercado además de evaluar sistemas autónomos y conectados a la red. Para escoger la mejor configuración el software se basa en los costos, los requerimientos técnicos y las consideraciones ambientales.

La interfaz de HOMER es una herramienta amigable que cuenta con una guía rápida de inicio para los nuevos usuarios que contiene la descripción de cada una de las fórmulas utilizadas en la programación, sin embargo, en el proceso de ingreso de datos fue necesario utilizar las opciones de ayuda del programa.

Para modelar el sistema híbrido conectado a la red, se introdujeron los componentes asociados al diseño, tales como las características del arreglo fotovoltaico, generador Diésel y convertidores DC/AC; la disposición de los elementos se puede observar en el anexo E.

8.3.1 Parámetros de equipos: Los equipos utilizados en la simulación requieren de precios por unidad para lo cual se realizaron las cotizaciones pertinentes y de características técnicas que se obtuvieron de las hojas de datos proporcionadas por los fabricantes. A continuación, se describe el proceso para determinar los valores de entrada y su variación.

8.3.1.1 Paneles Solares: Para los paneles solares se determinó el costo del valor unitario y se adicionó el 20% por costos de instalación, cableado y otros, alcanzando así un valor de USD\$173,56 de adquisición por panel. Las posibilidades de operación para el arreglo fotovoltaico son operación o no operación, para la posibilidad de operación se establecieron potencias entre 43,52 [kWp] y 46,08 [kWp] y la vida útil de los paneles se estableció en 25 años según el catálogo del fabricante.

En las opciones de entradas avanzadas, para la reflectancia del suelo se tomó un valor del 20%, valor estándar de radiación solar que se refleja al incidir en la tierra, para el ángulo de inclinación del arreglo se estableció 10° grados y se consideró 180° (sur) como la dirección de orientación a la que deben estar dirigidos los paneles.

Para aproximar los cálculos del dimensionado a las condiciones reales de operación en la terraza del edificio, lugar donde se instalarán los paneles es indispensable considerar los efectos de temperatura sobre el valor de potencia que entregan los paneles. Los valores de entrada se especifican en la tabla 10:

Tabla 10. Características térmicas del panel

Coeficiente de temperatura de potencia	-0,403 %/°C
Temperatura nominal operativa de la celda	45 °C ± 2
Eficiencia bajo condiciones estándar de prueba	16,52%

8.3.1.2 Inversor de Potencia: Al precio unitario de cada inversor de potencia se adicionó el 20% por costos de instalación, cableado y otros y se estimó un valor final en USD\$ 1.728,48 por unidad, además se consideró un costo por remplazo del mismo valor. La potencia de cada inversor es de 4,2 [kW] y se consideraron dos posibles potencias de operación, 37,8 [kW] y 42 [kW] equivalentes a 9 y 10 inversores respectivamente. El inversor de potencia contempla una eficiencia del 96% y tiene una vida útil entre 10 y 15 años aproximadamente.

8.3.1.3 Generadores Diésel: El precio del generador elegido es de USD\$ 9.755 y se estableció un excedente por instalación y otros costos del 20% tomando un valor final de USD\$ 11.706,00, el costo de reemplazo se asumió igual al valor de adquisición inicial, además la potencia de operación a considerar para el generador se fijó próxima a la potencia pico de la curva de demanda máxima del edificio (25 [kW] – 20[kW]), también se consideró la posibilidad de no operación del generador al establecer una potencia de 0 [kW].

El generador tiene un consumo de combustible de 6,1 [Lts/h] cuando trabaja al 100% de su capacidad y se estableció la vida útil en 30.000 horas de operación.

8.3.1.4 Red Eléctrica: La universidad maneja diferentes proveedores y tarifas para la compra de energía, la tarifa actual aplicada corresponde a la de un usuario regulado debido a que la tarifa que se maneja en el mercado para este tipo de usuarios es menor que la que se maneja actualmente para los usuarios no regulados. Los precios utilizados se establecieron mediante un análisis de los costos

de energía durante los últimos años que incluyen la tarifa promedio representativa de compra, así como los valores máximos y mínimos a los que se ha comprado la energía.

Para las emisiones provenientes de la generación del sistema interconectado se tomó el factor de emisión calculado por la UPME para el año 2014-2015, el valor estimado para ese año fue de 0.388 [tCO₂/MWh] [29].

La tabla 11 resume los costos de adquisición (incluida la instalación), mantenimiento y vida útil de los equipos asociados al sistema híbrido de generación:

Tabla 11. Costo unitario de los equipos

Equipo	Costo de adquisición [USD]	Vida útil
Ningbo Ulica UL-320P	\$173,56	25 años
ABB - PVI-4.2-OUTD-US-A	\$1.440,40	15 años
Armstrong Power A25KB	\$11.706	30.000 horas

8.3.2 Recursos: El sistema cuenta con dos recursos principales de energía, el recurso solar y el combustible diésel, a continuación se expone el modelamiento de los recursos energéticos empleados en el sistema híbrido.

8.3.2.1 Combustible Diésel: El precio del Diésel se obtuvo del promedio del precio mensual del último año, obteniendo así 6 sensibilidades para el precio del combustible, también se tuvieron en cuenta posibles variaciones en el precio del dólar por lo tanto la tabulación de los costos del diésel se puede observar en la tabla 12.

8.3.2.2 Recurso solar: Para establecer el recurso solar en la zona fue necesario introducir un archivo en formato texto con 8760 valores, lo que significa que para cada hora de los 365 días del año se especifican los valores de radiación solar de la zona en [kW/m²].

8.3.3 Simulación: Una variable de entrada a la que se asignan varios valores recibe el nombre de variable de sensibilidad [30] y se puede definir e ingresar todas las variables de sensibilidad que se consideren necesarias. Para realizar la simulación se establecieron siete parámetros sensibles que son: la temperatura operativa de la célula, la temperatura promedio anual escalada, el precio del diésel por litro, el precio de compra de la energía, la tarifa de reventa de la energía, la tasa de descuento y la demanda promedio anual. La tabla 12 presenta los valores sensibles para los componentes del sistema híbrido.

Tabla 12. Variables sensibles ingresadas para la simulación en HOMER.

Precio de potencia [\$/kWh]	Tarifa de reventa [\$/kWh]	Tasa de descuento [%]	Temp. operativa [°C]	Precio Diésel [\$/L]	Demanda diaria anual escalada [kWh/d]	Temp. diaria anual escalada [°C]
0,11429	0,11429	8	45	0,66	179,3	23,58
0,16029	0,16029	6	43	0,64	184,25	18,8
0,09131	0,09131	2	47	0,67		31,5
		12		0,71		
		10		0,73		

Un caso de sensibilidad es una composición específica de valores de variables de sensibilidad [30], y debido a que en algunos casos se podría tener cierta

incertidumbre sobre el valor exacto de alguna variable al definir un rango de valores, se puede fijar la importancia de esa variable en el diseño al analizar el comportamiento en los resultados de la simulación, por ejemplo, si se introducen 3 valores para el precio del combustible (\$0.40/L, \$0.50/L y \$0.60/L) y otros 3 para la temperatura promedio (23 °C, 21°C, 25°C), HOMER realiza nueve casos de sensibilidad porque hay nueve combinaciones de valores diferentes y por cada caso de sensibilidad el programa realiza un proceso de optimización diferente.

El análisis de sensibilidad es una ventaja que posee HOMER frente a otros softwares que permiten el ingreso de un sólo valor por variable dentro de sus opciones y no conceden la posibilidad de examinar los efectos que pueden generar un rango de valores sobre la efectividad del diseño. El análisis de sensibilidad también es útil para identificar qué factores presentan un gran impacto en el funcionamiento del sistema y ayudan a definir las restricciones y condiciones de operación óptimas para cada configuración.

Finalmente, luego de realizar 72900 simulaciones en un tiempo de alrededor de 1 hora y 45 min se produjeron los resultados del análisis de sensibilidad y optimización, en la Ilustración 3 se muestra la lista de combinaciones de componentes factibles organizadas según el menor costo neto actual.

Ilustración 6. Resultados de la simulación HOMER.

Exportar...										Casos de optimización: haga doble click en la simulación para examinar detalles.				
Arquitectura							Costo				Sistema			
			Ulica320-2 (kW)	Gen25kW (kW)	Red (kW)	ABB2 (kW)	Despacho	CDE (\$)	CAN (\$)	Costo de operación (\$)	Inversión inicial (\$)	Frac. Ren. (%)		
			46,1		999.999	37,8	CC	0,0333 \$	49.370 \$	560,04 \$	40.548 \$	68		
			46,1		999.999	42,0	CC	0,0349 \$	51.822 \$	605,95 \$	42.277 \$	68		
			43,5		999.999	37,8	CC	0,0370 \$	53.073 \$	883,24 \$	39.160 \$	66		
			43,5		999.999	42,0	CC	0,0387 \$	55.549 \$	930,70 \$	40.888 \$	66		
			46,1	25,0	999.999	37,8	CC	0,0382 \$	56.714 \$	283,08 \$	52.254 \$	68		
			46,1	25,0	999.999	42,0	CC	0,0399 \$	59.165 \$	328,99 \$	53.983 \$	68		
			43,5	25,0	999.999	37,8	CC	0,0421 \$	60.416 \$	606,27 \$	50.866 \$	66		
			43,5	25,0	999.999	42,0	CC	0,0438 \$	62.892 \$	653,73 \$	52.594 \$	66		
					999.999		CC	0,0913 \$	94.122 \$	5.975 \$	0,00 \$	0,00020		
				25,0	999.999		CC	0,0984 \$	101.465 \$	5.698 \$	11.706 \$	0,00020		

Tomado de la simulación en HOMER Pro. Versión 3.5.3.

HOMER arrojó 10 configuraciones posibles de las que se pueden extraer las siguientes combinaciones:

- Arreglo paneles solares e inversores y conexión a la red interconectada.
- Arreglo paneles solares e inversores, generador diésel y conexión a la red interconectada.
- Red eléctrica interconectada.
- Red eléctrica interconectada y generador diésel.

Las configuraciones anteriores fueron calculadas para diferentes modos de operación (potencia generada y potencia consumida) y distintos costos de generación de la energía, con el fin de que el diseñador se encargue de escoger la opción que más se ajuste a los propósitos del proyecto (consumo de la carga, inversión inicial, reducción de emisiones contaminantes o costos de la energía).

9. ETAPA IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las simulaciones realizadas por medio de dos de los softwares escogidos (PVsyst y SAM) permitieron obtener las variables de sensibilidad que se ingresaron en el tercer software (HOMER) debido a que este no posee dentro de sus características la capacidad de dimensionar una configuración de generación energética según una carga escogida.

La lista de configuraciones factibles que se obtuvieron por medio de HOMER se analizarán en este capítulo, la ilustración 7 muestra las opciones que genera el software.

Ilustración 7. Configuraciones factibles de HOMER

Arquitectura							Costo				Sistema
Ulica320-2 (kW)	Gen25kW (kW)	Red (kW)	ABB2 (kW)	Despacho	CDE (\$)	CAN (\$)	Costo de operación (\$)	Inversión inicial (\$)	Frac. Ren. (%)		
46,1		999.999	37,8	CC	0,0333 \$	49.370 \$	560,04 \$	40.548 \$	68		
46,1		999.999	42,0	CC	0,0349 \$	51.822 \$	605,95 \$	42.277 \$	68		
43,5		999.999	37,8	CC	0,0370 \$	53.073 \$	883,24 \$	39.160 \$	66		
43,5		999.999	42,0	CC	0,0387 \$	55.549 \$	930,70 \$	40.888 \$	66		
46,1	25,0	999.999	37,8	CC	0,0382 \$	56.714 \$	283,08 \$	52.254 \$	68		
46,1	25,0	999.999	42,0	CC	0,0399 \$	59.165 \$	328,99 \$	53.983 \$	68		
43,5	25,0	999.999	37,8	CC	0,0421 \$	60.416 \$	606,27 \$	50.866 \$	66		
43,5	25,0	999.999	42,0	CC	0,0438 \$	62.892 \$	653,73 \$	52.594 \$	66		
		999.999		CC	0,0913 \$	94.122 \$	5.975 \$	0,00 \$	0,00020		
	25,0	999.999		CC	0,0984 \$	101.465 \$	5.698 \$	11.706 \$	0,00020		

Ilustración tomada de HOMER versión 3.5.3

Las 2 configuraciones principales que arroja el programa son la combinación de 144 paneles con 9 y 10 inversores con conexión a la red y las siguientes 2

configuraciones son las combinaciones de 136 paneles con 9 y 10 inversores con conexión a la red. De las anteriores configuraciones se puede concluir que el software considera que la generación de energía híbrida con generadores diésel, aunque factible no es económica, por lo tanto sólo se estudian las primeras 4 propuestas.

En la tabla 13 se muestran los valores referentes a las 4 primeras opciones generales por Homer y se estudia la relación entre la inversión inicial de cada configuración con respecto a la energía generada.

Tabla 13. Resultados de las 4 primeras configuraciones factibles según la simulación en HOMER.

Conf.	Ulic a (#)	Red (#)	ABB (#)	Costo energía (\$)	Inversión inicial (USD\$)	Rend. (%)	Produc ción energía (KWh)	Compra energía red (kWh)	Venta energía red (kWh)	Precio energía (USD\$/k Wh)
1	144	1	9	0,03328	40.548,39	67,97	66693,12	30159,35	28721,41	0.608
2	144	1	10	0,03493	42.276,87	67,98	66693,12	30159,35	28740,39	0.634
3	136	1	9	0,03697	39.159,94	66,35	62987,85	30671,13	25693,27	0.622
4	136	1	10	0,03869	40.888,42	66,35	62987,85	30671,13	25695,26	0.649

En la ecuación (2) se muestra como se obtuvo el valor del precio de la energía por kWh, este ejercicio se realizó para todas las configuraciones:

Ecuación (2):

$$\text{Configuración 1. } \frac{40548.39 \text{ } \$USD}{66693.12 \text{ kWh}} = 0.608 \left[\frac{\$USD}{kWh} \right]$$

Luego de obtener los valores de la relación entre la inversión inicial y la generación debida al arreglo fotovoltaico, se descartan las configuraciones 2 y 4 por presentar mayor costo por kilovatio hora, adicionalmente se observa en la tabla 13 que la

configuración 1 permite entregarle a la red 28721.41 [kWh] al año, en contraste con los 25693.27 [kWh] que se generan con la configuración 3, por lo tanto la combinación escogida para el edificio de la E3T está comprendido por 144 paneles solares de 320 [W] cada uno de la marca Ulica, 9 inversores de potencia de 4.2 [kW] de la marca ABB y el sistema con conexión a la red eléctrica interconectada nacional.

10. CONCLUSIONES

El análisis de radiación muestra que en la terraza del edificio de la E3T se cuenta con una irradiancia promedio de 4,64 [kWh/m²] durante el día y posee un comportamiento uniforme la mayoría del año. La velocidad promedio del viento en sitio es de 2,20 [m/s] y no es una velocidad apta para la generación de energía eléctrica a través del recurso eólico, por lo tanto la simulación de sistemas fotovoltaicos es primordial en el desarrollo del proyecto.

Se realizó un análisis comparativo sobre las características de los softwares encontrados, este análisis arrojó que los programas más apropiados para el modelamiento de este proyecto son HOMER, SAM y PVSyst pues cada uno cuenta con características esenciales para escoger una configuración final. PVSyst y SAM se emplearon para el modelado de configuraciones de sistemas híbridos y en HOMER se hace una revisión de costos.

Luego de las simulaciones realizadas se concluyó que la combinación de un software que dimensione configuraciones híbridas en conjunto con una herramienta de optimización era lo indicado, sin embargo, no se cuenta con un programa con tales características, lo que llevó a escoger a HOMER como la herramienta recomendable para el análisis final de opciones obtenidas por diferentes métodos debido a su completo estudio financiero y su proceso de optimización.

Las configuraciones óptimas generadas por el software HOMER se organizaron mediante la relación entre la inversión inicial y la energía generada y por la capacidad de inyección de energía a la red. La configuración recomendada producto de este proyecto es la combinación de 144 paneles solares de 320 [W] de la marca Ulica, 9 inversores de potencia de 4.2 [kW] de la marca ABB y el sistema con conexión a la red eléctrica interconectada nacional.

Este proyecto se desarrolló siguiendo los lineamientos trazados desde la misión y la visión del programa de ingeniería eléctrica y bajo dos de las líneas de investigación del grupo GISEL, Energías Renovables (ER) y Uso Racional de la Energía (URE), debido a que el enfoque principal fue la generación mediante el uso de energías alternativas buscando el aprovechamiento máximo de estas, creando al mismo tiempo interés en el desarrollo de futuros proyectos base de ingeniería enfocados en dichas líneas de investigación.

11.RECOMENDACIONES

El uso de paneles fotovoltaicos es la opción que brinda una mejor relación entre costo de inversión y capacidad de generación para el edificio de la E3T, sin embargo para proyectos futuros se debe tener en cuenta que ésta tecnología avanza hacia nuevos materiales que posibiliten una elaboración más económica con eficiencias más altas que permitan mayor aprovechamiento de la radiación solar captada, proporcionando opciones que mejoren aún más la relación con la que se basó la elección de la configuración óptima para este proyecto.

Para realizar proyectos de este tipo se debe utilizar información meteorológica actualizada debido al cambio que esta presenta con los años y así lograr una elección más acorde de equipos que aprovechan los recursos disponibles.

Para proyectos futuros se debe invertir en tecnología que permita la medición del consumo energético del área a analizar por serie de tiempo, con el fin de que los procesos de selección de componentes y optimización de configuraciones sean acordes a la carga.

Para establecer configuraciones híbridas que suplan un consumo energético con ayuda de softwares es importante utilizar las versiones actualizadas brindadas por los creadores, pues estas se encargan de modificar los programas según las nuevas tecnologías y mejorar el análisis de datos y generación de resultados por medio de diferentes algoritmos.

CITAS

[1] PAINULY, Jyoti P. Barriers to renewable energy penetration; a framework for analysis. Renewable energy, 2001, vol. 24, no 1, p. 73-89. Disponible en: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148100001865>>.

[Fecha de consulta: abril 5 de 2016].

[2] DUCOY, Francisco Javier. Implantación de energías renovables en una planta de producción de amoníaco. Escuela superior de ingeniero de Sevilla. Disponible en:

<<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5145/fichero/3.+%BFQu%E9+es+una+microrred.pdf>>

[3] Ricardo Estévez, ¿Sabes que es un producto sostenible? Disponible en: <<http://www.ecointeligencia.com/2014/06/definicion-producto-sostenible/>>

[4] Ricardo Estévez, Las 10 definiciones de eco inteligentes que debes conocer. Disponible en: <<http://www.ecointeligencia.com/2013/02/10-definiciones-sostenibilidad/>>.

[5] MUSELLI, MNGLA; NOTTON, G.; LOUCHE, A. Design of hybrid-photovoltaic power generator, with optimization of energy management. Solar energy, 1999, vol. 65, no 3, p. 143-157.

[6] SIDRACH DE CARDONA, M.; MORA LOPEZ, L. I. Optimizing of hybrid photovoltaic generator systems for installations of rural electrification. En Proceedings of the 11th European Photovoltaic Solar Energy Conference. 1992. p. 1287-1290.

[7] KAYE, J. Optimizing the value of photovoltaic energy in electricity supply systems with storage. En Proceedings of the 12th European Photovoltaic Solar Energy Conference. 1994. p. 431-434.

[8] ZUNIGA, Ivan Enrique; BOTINA, Yenny Fernanda. Technical economic study for the implementation of autonomous photovoltaic systems in the residential sector of Colombia. En Transmission and Distribution: Latin America Conference and Exposition (T&D-LA), 2012 Sixth IEEE/PES. IEEE, 2012. p. 1-5.

[9] TAGLE SALAZAR, Pablo; DUQUE RIVERA, Jorge. Diseño preliminar de un sistema híbrido de suministro de energía doméstica para una comunidad aislada en base al modelado en el software HOMER. 2011.

[10] BERNAL-AGUSTÍN, José L.; DUFO-LOPEZ, Rodolfo. Simulation and optimization of stand-alone hybrid renewable energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2009, vol. 13, no 8, p. 2111-2118.

[11] SINHA, Sunanda; CHANDEL, S. S. Review of software tools for hybrid renewable energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línea]. 2014, vol. 32, p. 192-205. [Fecha de consulta: febrero de 2016]. Disponible en: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211400046X>>

[12] COLOMBIA, CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 1715. (13, mayo, 2014). Por la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. Bogotá D.C., 2014.

[13] SÁNCHEZ, Miguel Ángel. Energía Solar Fotovoltaica. México, D.F. Editorial Limusa. 2012.

[14] CARRILLO MEDRANO, Luisa Marlen, et al. Generación de energía con un sistema híbrido renovable para abastecimiento básico en vereda sin energización de Yopal-Casanare. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá.

[15] Energía solar 365. ¿Cómo funcionan las baterías solares? Disponible en: <<http://www.energiasolar365.com/articulos/como-funcionan-las-baterias-solares>>. [Fecha de consulta: marzo 10 de 2016].

[16] FERNÁNDEZ, J. Compendio de Energía Solar: Fotovoltaica, Térmica y Termoeléctrica. Madrid. Ediciones Mundi-Prensa, Antonio Madrid Vicente, Ediciones. 2010.

[17] ITC. Energías renovables y eficiencia energética.2008. Disponible en: <renovae.org> Cap. 3 y 4.

[18] GONZÁLEZ, Carta, et al. Centrales de energías renovables: generación eléctrica con energías renovables. Universidad Nacional de Córdoba, 2009. Pág. 334-341; 47-48.

[19] REN21, 2015, Renewables 2015 Global Status Report. Paris, REN21 Secretariat. ISBN 978-3-9815934-6-4. Disponible en < http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/07/REN12-GSR2015_Onlinebook_low1.pdf>. p 70-73.

[20] MARRODÁN FERNÁNDEZ, Javier. Piranómetro fotovoltaico. 2012.

[21] METEOBLUE Weather. Viento. Disponible en: <<https://content.meteoblue.com/es/ayuda/parametros/viento>> [Fecha consulta: abril 5 de 2016].

[22] UPME, IDEAM. Atlas de Viento y de Energía Eólica de Colombia. 2006. Pág. 19-33, 72.

[23] BAHRAMARA, S., et al. Planning of a Grid-connected Smart Micro-power system. En Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT Asia), 2012 IEEE. IEEE, 2012. p. 1-5.

[24] OTERO QUECHO, Jorge y PEDROZO CELIS, Jeisson. Caracterización de instalaciones eléctricas y cargas del edificio de ingeniería eléctrica de la Universidad Industrial de Santander. Trabajo de grado. Bucaramanga, Santander. Universidad Industrial de Santander, facultad de físico mecánicas. 2015.

[25] NTC 2050. Norma Técnica Colombiana. Disponible en: <http://ingenieria.bligoo.com.co/media/users/19/962117/files/219177/NTC_2050.pdf> Pág. 62, 64, 65

[26] DEMIREL, Yaşar. Energy: production, conversion, storage, conservation, and coupling. Springer Science & Business Media, 2012. 365-366 p.

[27] DIRECCIÓN DE CONTRATACIÓN Y PROYECTOS DE INVERSIÓN. Suministro, montaje y puesta en funcionamiento del sistema de aire acondicionado para la modernización y ampliación de la planta física del edificio de ingeniería eléctrica, electrónica y telecomunicaciones [en línea]. Volumen II – Especificaciones técnicas convocatoria pública N° 016. Bucaramanga, Santander, Marzo 2012 [fecha de consulta: Diciembre 2015]. Disponible en: https://www.uis.edu.co/procesos_contratacion/contratacion/documentos/Convocatorias/Convocatorias2012/Convocatorias16/Definitivos/V2_TRD_CP016AA_2012.pdf Cap. 2. P. 17-27

[28] CALA GONZALEZ, Fabián y RODRIGUEZ SAÑUDO, Camilo. Diseño de un sistema de suministro de energía eléctrica con tecnología solar fotovoltaica. Trabajo de grado. Bucaramanga, Santander. Universidad Industrial de Santander, facultad de físico mecánicas. 2010.

[29] UPME 2015, FACTORES DE EMISION DEL S.I.N. SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL COLOMBIA 2014. Disponible en: <http://www.siame.gov.co/siame/documentos/2015/Documento_de_calculo_del_FE_del_SIN_2014.pdf>. [Fecha de consulta: abril 10 de 2016].

[30] HOMER Pro[®]. Versión 3.5.3. HOMER Energy, LLC. Disponible en: <<http://www.homerenergy.com/software.html>>

[31] CULLIGAN, Matthew y BOTKIN, Jonathan. Impact of tilt angle on system economics for area constrained rooftops [en línea]. SUNPOWER, 2007 [Fecha de consulta: abril 12 de 2016]. Disponible en: <<http://us.sunpower.com/sites/sunpower/files/media-library/white-papers/wp-impact-tilt-angle-system-economics-area-constrained-rooftops.pdf>>. Pág.7

BIBLIOGRAFÍA

BAHRAMARA, S., et al. Planning of a Grid-connected Smart Micro-power system. En Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT Asia), 2012 IEEE. IEEE, 2012. p. 1-5.

CARRILLO MEDRANO, Luisa Marlen, et al. Generación de energía con un sistema híbrido renovable para abastecimiento básico en vereda sin energización de Yopal-Casanare. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá.

DEMIREL, Yaşar. Energy: production, conversion, storage, conservation, and coupling. Springer Science & Business Media, 2012. 365-366 p.

FERNÁNDEZ, J. Compendio de Energía Solar: Fotovoltaica, Térmica y Termoeléctrica. Madrid. Ediciones Mundi-Prensa, Antonio Madrid Vicente, Ediciones. 2010.

HOMER Pro®. Versión 3.5.3. HOMER Energy, LLC. Disponible en: <<http://www.homerenergy.com/software.html>>

NTC 2050. Norma Técnica Colombiana. Disponible en: <http://ingenieria.bligoo.com.co/media/users/19/962117/files/219177/NTC_2050.pdf> Pág. 62, 64, 65.

OTERO QUECHO, Jorge y PEDROZO CELIS, Jeisson. Caracterización de instalaciones eléctricas y cargas del edificio de ingeniería eléctrica de la Universidad Industrial de Santander. Trabajo de grado. Bucaramanga, Santander. Universidad Industrial de Santander, facultad de físico mecánicas. 2015.

REN21, 2015, Renewables 2015 Global Status Report. Paris, REN21 Secretariat. ISBN 978-3-9815934-6-4. Disponible en < http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/07/REN12-GSR2015_Onlinebook_low1.pdf>

SÁNCHEZ, Miguel Ángel. Energía Solar Fotovoltaica. México, D.F. Editorial Limusa. 2012.

SINHA, Sunanda; CHANDEL, S. S. Review of software tools for hybrid renewable energy systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews [en línea]. 2014, vol. 32, p. 192-205. [Fecha de consulta: febrero de 2016]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211400046X>

UPME, IDEAM. Atlas de Radiación solar de Colombia. Santafé de Bogotá DC: Unidad de Planeación Minero Energética, Ministerio de Minas y Energía, 2005.

UPME, IDEAM. Atlas de Viento y de Energía Eólica de Colombia. Santafé de Bogotá DC: Unidad de Planeación Minero Energética, Ministerio de Minas y Energía, 2006. Pág. 19-33, 72.

ZUNIGA, Ivan Enrique; BOTINA, Yenny Fernanda. Technical economic study for the implementation of autonomous photovoltaic systems in the residential sector of Colombia. En Transmission and Distribution: Latin America Conference and Exposition (T&D-LA), 2012 Sixth IEEE/PES. IEEE, 2012. p. 1-5.

ANEXOS

Anexo A. Estimación perfil de carga diario.

Como parte de la estimación de un perfil que modele el consumo energético diario en el edificio de la E3T se elaboró la tabla A1 que contiene las cantidades y potencias de los equipos instalados por piso en cada área:

Tabla A1. Caracterización de equipos conectados.

			Cant.	Potencia [W]	Potencia total
SOTANO	Puesto de trabajo	Luminaria fluorescente 4x14W, 120V, doble balasto	18	56	1008
		Computadores portátiles	5	55	275
		Aires acondicionados	2	2769	5538
	Baño mujeres	Bala fluorescente compacta 1x26W, 120V	1	26	26
	Baño hombres	Bala fluorescente compacta 1x26W, 120V	1	26	26
	Cafetería y servicios	Luminaria fluorescente 2x28W, 120V	1	56	56
	Áreas comunes	Luminaria fluorescente 2x28W, 120V	6	56	336
	Generador a GN	Luminaria fluorescente 2x28W, 120V	6	56	336
1 PISO	Centro de estudios	Luminaria fluorescente 4x14W, 120V, doble balasto	6	56	336
		Bala fluorescente compacta 1x26W, 120V	1	26	26
		Computador portátil	15	55	825
		Computador de escritorio	1	300	300
		Impresora multifuncional	1	400	400

		Televisor	1	200	200
		Nevera tipo industrial	1	700	700
		Computador de escritorio estudiantes	1	300	300
		Ventilador	1	75	75
	Sala de trabajo grupal	Luminaria fluorescente 4x14W, 120V, doble balasto	15	56	840
		Computador portátil	20	55	1100
	Sala de trabajo individual	Luminaria fluorescente 4x14W, 120V, doble balasto	20	56	1120
		Computador portátil	20	55	1100
	Aula 103	Luminaria fluorescente 4x14W, 120V, doble balasto	9	56	504
		Luminaria fluorescente 1x28W, 120V, bañadora de pared	2	28	56
		Video Beam EPSON	1	275	275
	Pasillos	Luminaria fluorescente 2x28W, 120V	13	56	728
	Baño mujeres	Luminaria fluorescente 2x28W, 120V	2	56	112
Baño hombres	Luminaria fluorescente 2x28W, 120V	2	56	112	
Cuarto técnico	Luminaria fluorescente 2x28W, 120V	1	56	56	

2 PISO	Aula 201	Luminaria fluorescente 4x14W, 120V, doble balasto	10	56	560
		Luminaria fluorescente 1x28W, 120V, bañadora de pared	2	28	56
		Computadores portátiles	3	55	165
		Video Beam EPSON	1	275	275
	Aula 202	Luminaria fluorescente 4x14W, 120V, doble balasto	10	56	560
		Luminaria fluorescente 1x28W, 120V, bañadora de pared	2	28	56
		Video Beam EPSON	1	275	275
		Computadores portátiles	3	55	165
	Aula 204	Luminaria fluorescente 4x14W, 120V, doble balasto	9	56	504
		Luminaria fluorescente 1x28W, 120V, bañadora de pared	2	28	56
		Computadores portátiles	3	55	165
		Video Beam EPSON	1	275	275

	Aula 205	Luminaria fluorescente 4x14W, 120V, doble balasto	6	56	336
		Luminaria fluorescente 1x28W, 120V, bañadora de pared	2	28	56
		Computadores portátiles	3	55	165
		Video Beam EPSON	1	275	275
	Aula 206	Luminaria fluorescente 4x14W, 120V, doble balasto	6	56	336
		Luminaria fluorescente 1x28W, 120V, bañadora de pared	2	28	56
		Computadores portátiles	3	55	165
		Video Beam EPSON	1	275	275
	Aula 207	Luminaria fluorescente 4x14W, 120V, doble balasto	12	56	672
		Luminaria fluorescente 1x28W, 120V, bañadora de pared	2	28	56
		Computadores portátiles	3	55	165
		Video Beam EPSON	1	275	275
	Pasillos	Luminaria fluorescente 2x28W, 120V	12	56	672
Baño hombres	Luminaria fluorescente 2x28W, 120V	2	56	112	
Baño mujeres	Luminaria fluorescente 2x28W, 120V	2	56	112	
Cuarto de aseo	Bala fluorescente compacta 1x26, 120V	1	26	26	
Cuarto técnico	Luminaria fluorescente 2x28W, 120V	1	56	56	

3 PISO	Aula 301	Luminaria fluorescente 4x14W,120V, doble balasto	10	56	560
		Luminaria fluorescente 1x28W, 120V, bañadora pared	2	28	56
		Computador portátil	3	55	165
		Video Beam EPSON	1	275	275
	Aula 302	Luminaria fluorescente 4x14W,120V, doble balasto	10	56	560
		Luminaria fluorescente 1x28W, 120V, bañadora pared	2	28	56
		Computador portátil	3	55	165
		Video Beam EPSON	1	275	275
	Aula 304	Luminaria fluorescente 4x14W,120V, doble balasto	15	56	840
		Luminaria fluorescente 1x28W, 120V, bañadora pared	2	28	56

		Computador portátil	3	55	165
		Video Beam EPSON	1	275	275
	Aula 305	Luminaria fluorescente 4x14W,120V, doble balasto	12	56	672
		Luminaria fluorescente 1x28W, 120V, bañadora pared	2	28	56
		Computador portátil	3	55	165
		Video Beam EPSON	1	275	275
	Aula 306 - IEEE	Luminaria fluorescente 4x14W,120V, doble balasto	6	56	336
		Luminaria fluorescente 1x28W, 120V, bañadora pared	2	28	56
		Computador portátil	3	55	165
	Pasillos	Luminaria fluorescente 2x28W, 120V	12	56	672
	Baño hombres	Luminaria fluorescente 2x28W, 120V	2	56	112
	Baño mujeres	Luminaria fluorescente 2x28W, 120V	2	56	112
	Cuarto de aseo	Bala fluorescente compacta 1X26, 120V	1	26	26
Cuarto técnico	Luminaria fluorescente 2x28W, 120V	1	56	56	

4 PISO	Aula Multipropósito	Luminaria fluorescente 4x17W,120V, doble balasto	6	68	408
	Aula 401	Luminaria fluorescente 4x17W,120V, doble balasto	12	68	816
		Luminaria fluorescente 1x28W, 120V, bañadora pared	2	28	56
		Smart board Panasonic	1	160	160
		Video beam EPSON	1	275	275
		Computador portátil	2	55	110
		Extractor silent 300	5	29	145
		Persiana automatizada	2	135	270
		Aire acondicionado	2	2769	5538
	Aula 404	Luminaria fluorescente 4x17W,120V, doble balasto	10	68	680
		Luminaria fluorescente 1x28W, 120V, bañadora pared	2	28	56
		Smart board Panasonic	1	160	160
		Video beam EPSON	1	275	275

		Computador portátil	2	55	110
		Extractor silent 300	3	29	87
		Persiana automatizada	2	135	270
		Aire acondicionado	2	2769	5538
	Aula 405	Luminaria fluorescente 4x17W,120V, doble balasto	12	68	816
		Luminaria fluorescente 1x28W, 120V, bañadora pared	2	28	56
		Smart board Panasonic	1	160	160
		Video beam EPSON	1	275	275
		Computador portátil	2	55	110
		Extractor silent 300	5	29	145
		Persiana automatizada	2	135	270
		Aire acondicionado	2	2769	5538
	Aula 406	Luminaria fluorescente 4x17W,120V, doble balasto	12	68	816
		Luminaria fluorescente 1x28W, 120V, bañadora pared	2	28	56
		Smart board Panasonic	1	160	160
		Video beam EPSON	1	275	275
		Computador portátil	2	55	110
		Extractor silent 300	5	29	145
		Persiana automatizada	2	135	270
		Aire acondicionado	2	2769	5538
	Pasillo de acceso aulas y escalera	Luminaria fluorescente 2x28W, 120V	12	56	672
	Baño hombres	Luminaria fluorescente 2x28W, 120V	2	56	112
	Baño mujeres	Luminaria fluorescente 2x28W, 120V	2	56	112
	Cuarto de aseo	Bala fluorescente compacta 1X26, 120V	1	26	26
	Cuarto técnico	Luminaria fluorescente 2x28W, 120V	1	56	56

5 PISO	Oficinas modulares	Luminaria fluorescente 4x17W,120V, doble balasto	21	68	1428
		Computador	8	300	2400
	Sala de reuniones	Luminaria fluorescente 4x17W,120V, doble balasto	4	68	272
		Aire acondicionado tipo Split	1	1846	1846
	Cafetería	Bala fluorescente compacta 1X26, 120V	1	26	26
	Pasillo interno	Luminaria fluorescente 2x28W, 120V	8	56	448
		Bala fluorescente compacta 1X26, 120V	1	26	26
	Coordinación de pregrado	Luminaria fluorescente 4x17W,120V, doble balasto	4	68	272
		Computador	1	300	300
	Pasillo externo	Luminaria fluorescente 4x17W,120V, doble balasto	4	68	272
		Luminaria fluorescente 2x28W, 120V	6	56	336
	Dirección de escuela	Luminaria fluorescente 4x17W,120V, doble balasto	4	68	272
		Computador	1	300	300
		Aire acondicionado tipo Split	1	923	923
	Baño oficina de dirección de escuela	Bala fluorescente compacta 1X26, 120V	1	26	26
	Baño hombres	Bala fluorescente compacta 1X26, 120V	1	26	26
	Baño mujeres	Bala fluorescente compacta 1X26, 120V	1	26	26
	Cuarto aseo	Bala fluorescente compacta 1X26, 120V	1	26	26
	cuarto técnico	Luminaria fluorescente 2x28W, 120V	1	56	56
	CCTV	Luminaria fluorescente 2x32W,120V, balasto dimerizable	1	64	64
Computador		1	300	300	
Aire acondicionado tipo Split		1	692	692	

Luego de obtener la potencia de cada equipo instalado se usaron las horas de consumo por tipo de carga establecidas en el capítulo 3 sección 3.1.3 para ser combinados y al final sumadas, logrando un valor aproximado del consumo de energía en el edificio de la escuela de ingeniería eléctrica de 184,25 [kWh/día] para un día habitual.

Anexo B. Estimación consumo energético anual.

Se muestra a continuación en la tabla B1 un ejemplo del horario de ocupación en el área de oficinas destinadas a los profesores cátedra:

Tabla B 1. Horario de ocupación oficina profesores cátedra.

Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes		Sábado		Domingo	
hora		hora		hora		hora		hora		hora		hora	
1 a 2	0	1 a 2	0	1 a 2	0	1 a 2	0	1 a 2	0	1 a 2	0	1 a 2	0
2 a 3	0	2 a 3	0	2 a 3	0	2 a 3	0	2 a 3	0	2 a 3	0	2 a 3	0
3 a 4	0	3 a 4	0	3 a 4	0	3 a 4	0	3 a 4	0	3 a 4	0	3 a 4	0
4 a 5	0	4 a 5	0	4 a 5	0	4 a 5	0	4 a 5	0	4 a 5	0	4 a 5	0
5 a 6	0	5 a 6	0	5 a 6	0	5 a 6	0	5 a 6	0	5 a 6	0	5 a 6	0
6 a 7	0	6 a 7	0	6 a 7	0	6 a 7	0	6 a 7	0	6 a 7	0	6 a 7	0
7 a 8	1	7 a 8	1	7 a 8	1	7 a 8	1	7 a 8	1	7 a 8	0	7 a 8	0
8 a 9	1	8 a 9	1	8 a 9	1	8 a 9	1	8 a 9	1	8 a 9	0	8 a 9	0
9 a 10	1	9 a 10	1	9 a 10	1	9 a 10	1	9 a 10	1	9 a 10	0	9 a 10	0
10 a 11	1	10 a 11	1	10 a 11	1	10 a 11	1	10 a 11	1	10 a 11	1	10 a 11	0
11 a 12	1	11 a 12	1	11 a 12	1	11 a 12	1	11 a 12	1	11 a 12	1	11 a 12	0
12 a 13	0	12 a 13	0	12 a 13	0	12 a 13	0	12 a 13	0	12 a 13	0	12 a 13	0
13 a 14	0	13 a 14	0	13 a 14	0	13 a 14	0	13 a 14	0	13 a 14	0	13 a 14	0
14 a 15	1	14 a 15	1	14 a 15	1	14 a 15	1	14 a 15	1	14 a 15	0	14 a 15	0
15 a 16	1	15 a 16	1	15 a 16	1	15 a 16	1	15 a 16	1	15 a 16	0	15 a 16	0
16 a 17	1	16 a 17	1	16 a 17	1	16 a 17	1	16 a 17	1	16 a 17	0	16 a 17	0
17 a 18	1	17 a 18	1	17 a 18	1	17 a 18	1	17 a 18	1	17 a 18	0	17 a 18	0
18 a 19	0	18 a 19	0	18 a 19	0	18 a 19	0	18 a 19	0	18 a 19	0	18 a 19	0
19 a 20	0	19 a 20	0	19 a 20	0	19 a 20	0	19 a 20	0	19 a 20	0	19 a 20	0
20 a 21	0	20 a 21	0	20 a 21	0	20 a 21	0	20 a 21	0	20 a 21	0	20 a 21	0
21 a 22	0	21 a 22	0	21 a 22	0	21 a 22	0	21 a 22	0	21 a 22	0	21 a 22	0
22 a 23	0	22 a 23	0	22 a 23	0	22 a 23	0	22 a 23	0	22 a 23	0	22 a 23	0
23 a 24	0	23 a 24	0	23 a 24	0	23 a 24	0	23 a 24	0	23 a 24	0	23 a 24	0
24 a 1	0	24 a 1	0	24 a 1	0	24 a 1	0	24 a 1	0	24 a 1	0	24 a 1	0

Después de obtener el horario que muestra la ocupación en cada zona se combinó con la potencia caracterizada de la tabla A1 según correspondiera el tipo de carga, obteniendo el consumo de energía cada hora durante una semana, los resultados se muestran en las tablas B2, B3 y B4.

Tabla B 2. Estimación del consumo energético por hora debido a iluminación en oficina profesores cátedra.

Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes		Sábado		Domingo	
hora	Wh	hora	Wh	hora	Wh	hora	Wh	hora	Wh	hora	Wh	hora	Wh
1 a 2	0	1 a 2	0	1 a 2	0	1 a 2	0	1 a 2	0	1 a 2	0	1 a 2	0
2 a 3	0	2 a 3	0	2 a 3	0	2 a 3	0	2 a 3	0	2 a 3	0	2 a 3	0
3 a 4	0	3 a 4	0	3 a 4	0	3 a 4	0	3 a 4	0	3 a 4	0	3 a 4	0
4 a 5	0	4 a 5	0	4 a 5	0	4 a 5	0	4 a 5	0	4 a 5	0	4 a 5	0
5 a 6	0	5 a 6	0	5 a 6	0	5 a 6	0	5 a 6	0	5 a 6	0	5 a 6	0
6 a 7	0	6 a 7	0	6 a 7	0	6 a 7	0	6 a 7	0	6 a 7	0	6 a 7	0
7 a 8	1008	7 a 8	1008	7 a 8	1008	7 a 8	1008	7 a 8	1008	7 a 8	0	7 a 8	0
8 a 9	1008	8 a 9	1008	8 a 9	1008	8 a 9	1008	8 a 9	1008	8 a 9	0	8 a 9	0
9 a 10	1008	9 a 10	1008	9 a 10	1008	9 a 10	1008	9 a 10	1008	9 a 10	0	9 a 10	0
10 a 11	1008	10 a 11	1008	10 a 11	1008	10 a 11	1008	10 a 11	1008	10 a 11	1008	10 a 11	0
11 a 12	1008	11 a 12	1008	11 a 12	1008	11 a 12	1008	11 a 12	1008	11 a 12	1008	11 a 12	0
12 a 13	0	12 a 13	0	12 a 13	0	12 a 13	0	12 a 13	0	12 a 13	0	12 a 13	0
13 a 14	0	13 a 14	0	13 a 14	0	13 a 14	0	13 a 14	0	13 a 14	0	13 a 14	0
14 a 15	1008	14 a 15	1008	14 a 15	1008	14 a 15	1008	14 a 15	1008	14 a 15	0	14 a 15	0
15 a 16	1008	15 a 16	1008	15 a 16	1008	15 a 16	1008	15 a 16	1008	15 a 16	0	15 a 16	0
16 a 17	1008	16 a 17	1008	16 a 17	1008	16 a 17	1008	16 a 17	1008	16 a 17	0	16 a 17	0
17 a 18	1008	17 a 18	1008	17 a 18	1008	17 a 18	1008	17 a 18	1008	17 a 18	0	17 a 18	0
18 a 19	0	18 a 19	0	18 a 19	0	18 a 19	0	18 a 19	0	18 a 19	0	18 a 19	0
19 a 20	0	19 a 20	0	19 a 20	0	19 a 20	0	19 a 20	0	19 a 20	0	19 a 20	0
20 a 21	0	20 a 21	0	20 a 21	0	20 a 21	0	20 a 21	0	20 a 21	0	20 a 21	0
21 a 22	0	21 a 22	0	21 a 22	0	21 a 22	0	21 a 22	0	21 a 22	0	21 a 22	0
22 a 23	0	22 a 23	0	22 a 23	0	22 a 23	0	22 a 23	0	22 a 23	0	22 a 23	0
23 a 24	0	23 a 24	0	23 a 24	0	23 a 24	0	23 a 24	0	23 a 24	0	23 a 24	0
24 a 1	0	24 a 1	0	24 a 1	0	24 a 1	0	24 a 1	0	24 a 1	0	24 a 1	0

Tabla B 3. Estimación del consumo energético por hora debido a cargas en oficina profesores cátedra.

Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes		Sábado		Domingo	
hora	Wh	Hora	Wh	hora	Wh	hora	Wh	hora	Wh	hora	Wh	hora	Wh
1 a 2	0	1 a 2	0	1 a 2	0	1 a 2	0	1 a 2	0	1 a 2	0	1 a 2	0
2 a 3	0	2 a 3	0	2 a 3	0	2 a 3	0	2 a 3	0	2 a 3	0	2 a 3	0
3 a 4	0	3 a 4	0	3 a 4	0	3 a 4	0	3 a 4	0	3 a 4	0	3 a 4	0
4 a 5	0	4 a 5	0	4 a 5	0	4 a 5	0	4 a 5	0	4 a 5	0	4 a 5	0
5 a 6	0	5 a 6	0	5 a 6	0	5 a 6	0	5 a 6	0	5 a 6	0	5 a 6	0
6 a 7	0	6 a 7	0	6 a 7	0	6 a 7	0	6 a 7	0	6 a 7	0	6 a 7	0
7 a 8	275	7 a 8	275	7 a 8	275	7 a 8	275	7 a 8	275	7 a 8	0	7 a 8	0
8 a 9	275	8 a 9	275	8 a 9	275	8 a 9	275	8 a 9	275	8 a 9	0	8 a 9	0
9 a 10	275	9 a 10	275	9 a 10	275	9 a 10	275	9 a 10	275	9 a 10	0	9 a 10	0
10 a 11	275	10 a 11	275	10 a 11	275	10 a 11	275	10 a 11	275	10 a 11	275	10 a 11	0
11 a 12	275	11 a 12	275	11 a 12	275	11 a 12	275	11 a 12	275	11 a 12	275	11 a 12	0
12 a 13	0	12 a 13	0	12 a 13	0	12 a 13	0	12 a 13	0	12 a 13	0	12 a 13	0
13 a 14	0	13 a 14	0	13 a 14	0	13 a 14	0	13 a 14	0	13 a 14	0	13 a 14	0
14 a 15	275	14 a 15	275	14 a 15	275	14 a 15	275	14 a 15	275	14 a 15	0	14 a 15	0
15 a 16	275	15 a 16	275	15 a 16	275	15 a 16	275	15 a 16	275	15 a 16	0	15 a 16	0
16 a 17	275	16 a 17	275	16 a 17	275	16 a 17	275	16 a 17	275	16 a 17	0	16 a 17	0
17 a 18	275	17 a 18	275	17 a 18	275	17 a 18	275	17 a 18	275	17 a 18	0	17 a 18	0
18 a 19	0	18 a 19	0	18 a 19	0	18 a 19	0	18 a 19	0	18 a 19	0	18 a 19	0
19 a 20	0	19 a 20	0	19 a 20	0	19 a 20	0	19 a 20	0	19 a 20	0	19 a 20	0
20 a 21	0	20 a 21	0	20 a 21	0	20 a 21	0	20 a 21	0	20 a 21	0	20 a 21	0
21 a 22	0	21 a 22	0	21 a 22	0	21 a 22	0	21 a 22	0	21 a 22	0	21 a 22	0
22 a 23	0	22 a 23	0	22 a 23	0	22 a 23	0	22 a 23	0	22 a 23	0	22 a 23	0
23 a 24	0	23 a 24	0	23 a 24	0	23 a 24	0	23 a 24	0	23 a 24	0	23 a 24	0
24 a 1	0	24 a 1	0	24 a 1	0	24 a 1	0	24 a 1	0	24 a 1	0	24 a 1	0

Tabla B 4. Estimación del consumo energético por hora debido a aires acondicionados en oficina profesores cátedra.

Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes		Sábado		Domingo	
hora	Wh	hora	Wh	hora	Wh	hora	Wh	hora	Wh	hora	Wh	hora	Wh
1 a 2	0	1 a 2	0	1 a 2	0	1 a 2	0	1 a 2	0	1 a 2	0	1 a 2	0
2 a 3	0	2 a 3	0	2 a 3	0	2 a 3	0	2 a 3	0	2 a 3	0	2 a 3	0
3 a 4	0	3 a 4	0	3 a 4	0	3 a 4	0	3 a 4	0	3 a 4	0	3 a 4	0
4 a 5	0	4 a 5	0	4 a 5	0	4 a 5	0	4 a 5	0	4 a 5	0	4 a 5	0
5 a 6	0	5 a 6	0	5 a 6	0	5 a 6	0	5 a 6	0	5 a 6	0	5 a 6	0
6 a 7	0	6 a 7	0	6 a 7	0	6 a 7	0	6 a 7	0	6 a 7	0	6 a 7	0
7 a 8	5538	7 a 8	5538	7 a 8	5538	7 a 8	5538	7 a 8	5538	7 a 8	0	7 a 8	0
8 a 9	5538	8 a 9	5538	8 a 9	5538	8 a 9	5538	8 a 9	5538	8 a 9	0	8 a 9	0
9 a 10	5538	9 a 10	5538	9 a 10	5538	9 a 10	5538	9 a 10	5538	9 a 10	0	9 a 10	0
10 a 11	5538	10 a 11	5538	10 a 11	5538	10 a 11	5538	10 a 11	5538	10 a 11	5538	10 a 11	0
11 a 12	5538	11 a 12	5538	11 a 12	5538	11 a 12	5538	11 a 12	5538	11 a 12	5538	11 a 12	0
12 a 13	0	12 a 13	0	12 a 13	0	12 a 13	0	12 a 13	0	12 a 13	0	12 a 13	0
13 a 14	0	13 a 14	0	13 a 14	0	13 a 14	0	13 a 14	0	13 a 14	0	13 a 14	0
14 a 15	5538	14 a 15	5538	14 a 15	5538	14 a 15	5538	14 a 15	5538	14 a 15	0	14 a 15	0
15 a 16	5538	15 a 16	5538	15 a 16	5538	15 a 16	5538	15 a 16	5538	15 a 16	0	15 a 16	0
16 a 17	5538	16 a 17	5538	16 a 17	5538	16 a 17	5538	16 a 17	5538	16 a 17	0	16 a 17	0
17 a 18	5538	17 a 18	5538	17 a 18	5538	17 a 18	5538	17 a 18	5538	17 a 18	0	17 a 18	0
18 a 19	0	18 a 19	0	18 a 19	0	18 a 19	0	18 a 19	0	18 a 19	0	18 a 19	0
19 a 20	0	19 a 20	0	19 a 20	0	19 a 20	0	19 a 20	0	19 a 20	0	19 a 20	0
20 a 21	0	20 a 21	0	20 a 21	0	20 a 21	0	20 a 21	0	20 a 21	0	20 a 21	0
21 a 22	0	21 a 22	0	21 a 22	0	21 a 22	0	21 a 22	0	21 a 22	0	21 a 22	0
22 a 23	0	22 a 23	0	22 a 23	0	22 a 23	0	22 a 23	0	22 a 23	0	22 a 23	0
23 a 24	0	23 a 24	0	23 a 24	0	23 a 24	0	23 a 24	0	23 a 24	0	23 a 24	0
24 a 1	0	24 a 1	0	24 a 1	0	24 a 1	0	24 a 1	0	24 a 1	0	24 a 1	0

Al igual que el ejemplo anterior se realizó el mismo procedimiento para cada área del edificio, la única diferencia está en el análisis que se tuvo en cuenta para calcular una semana académica y una semana vacacional. El consumo energético durante una semana académica se muestra en la tabla B5, donde se evidencia el uso completo de cada piso en el edificio de la E3T.

Tabla B 5. Estimación del consumo energético por semana en cada piso - semana académica.

	ILUMINACION	CARGAS	EXTRACTOR	AIRE		kWh/Semana
SOTANO	62944	4523,75	0	260286	327753,75	327,75
PISO 1	40192,4	58441,25	0	0	98633,65	98,63
PISO 2	27491,6	39212,25	0	0	66703,85	66,70
PISO 3	29680,7	35766,5	0	0	65447,2	65,45
PISO 4	12047	34800,5	5420,1	675636	727903,6	727,90
PISO 5	56503,3	59430	0	170741	286674,3	286,67

Para estimar el consumo durante una semana vacacional se tiene en cuenta el uso completo del área administrativa en el quinto piso además del encendido de luminarias en los pisos restantes; la tabla B6 enseña los datos.

Tabla B 6. Estimación del consumo energético por semana en cada piso - semana vacacional.

	ILUMINACION	CARGAS	EXTRACTOR	AIRE		kWh/Vacaciones
SOTANO	8400	0	0	0	8400	8,40
PISO 1	1528,8	0	0	0	1528,8	1,53
PISO 2	4233,6	0	0	0	4233,6	4,23
PISO 3	1764	0	0	0	1764	1,76
PISO 4	1176	0	0	0	1176	1,18
PISO 5	56503,3	59430	0	170741	286674,3	286,67

Finalmente se modelan los valores obtenidos por piso de acuerdo con el número de semanas académicas y vacacionales. Para el cálculo se tuvo en cuenta que el calendario académico contiene aproximadamente 40 semanas de clases regulares y 8 semanas donde se encuentran las vacaciones de estudiantes y semanas finales cuando las clases ya han acabado. Las restantes 4 semanas corresponden a las vacaciones donde coinciden el personal docente, administrativo y estudiantes. Las

tablas B7 y B8 enseñan los cálculos de las dos clases de semana y al final se evidencia en la tabla B9 el valor estimado del consumo energético anual del edificio de la E3T.

Tabla B 7. Estimación del consumo energético anual del edificio E3T - semanas académicas.

	CONSUMO SEMANAL [Wh]	CONSUMO SEMANAL [kWh]	# SEMANAS ACADÉMICAS	CONSUMO SEMANAS ACADÉMICAS [kWh]
SOTANO	327753,75	327,75	40	13110,15
PISO 1	98633,65	98,63	40	3945,35
PISO 2	66703,85	66,70	40	2668,15
PISO 3	65447,2	65,45	40	2617,89
PISO 4	727903,6	727,90	40	29116,14
PISO 5	286674,3	286,67	40	11466,97
CONSUMO TOTAL EDIFICIO SEMANAS ACADÉMICAS [MWh]				62,92

Tabla B 8. Estimación del consumo energético anual del edificio E3T - semanas vacacionales.

	CONSUMO SEMANAL [Wh]	CONSUMO SEMANAL [kWh]	# SEMANAS ACADÉMICAS	CONSUMO SEMANAS ACADÉMICAS [kWh]
SOTANO	8400	8,40	8	67,20
PISO 1	1528,8	1,53	8	12,23
PISO 2	4233,6	4,23	8	33,86
PISO 3	1764	1,76	8	14,11
PISO 4	1176	1,18	8	9,40
PISO 5	286674,3	286,67	8	2293,39
CONSUMO TOTAL EDIFICIO SEMANAS VACACIONALES [MWh]				2,43

ENERGÍA ANUAL [MWh]	65,35
----------------------------	--------------

Anexo C. Resultados de la simulación en PVsyst

La configuración fotovoltaica para simular en PVsyst se eligió al comprobar que los valores de energía diaria y anual fueran cercanos a los valores estimados, dado que la energía anual que proporciona la simulación con el sistema es 66.57 [MWh/año] y la energía diaria tiene un promedio de 187.5 [kWh/día], así que se escogió la combinación de 144 paneles y 9 inversores.

Estos valores se obtienen luego de ingresar al software la configuración del sistema y los parámetros de sombra que se ejercen a los módulos producto de objetos cercanos al sitio de instalación, las ilustraciones C1 y C2 muestran una vista 3D del sitio de instalación de la red fotovoltaica y los factores de sombra calculados con respecto a la anterior, respectivamente.

Ilustración C 1. Modelo 3D de la E3T.

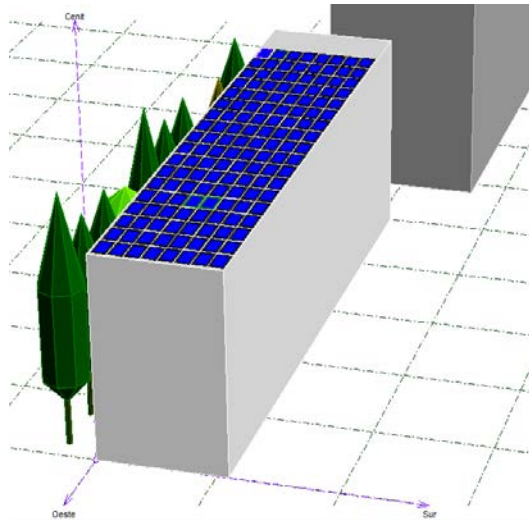


Ilustración tomada del modelo 3D ingresado en el software PVsyst.

Ilustración C 2. Factores de sombreado según modelo 3D.

Acimut	-180°	-160°	-140°	-120°	-100°	-80°	-60°	-40°	-20°	0°	20°	40°	60°	80°	100°	120°	140°	160°	180°	
Altura																				
90°	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
80°	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
70°	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
60°	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
50°	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
40°	0.998	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999	0.998
30°	0.993	0.997	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.998	0.995	0.993
20°	0.980	0.994	0.997	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.996	0.989	0.984	0.980	0.980
10°	0.950	0.983	0.986	0.992	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.998	0.968	0.957	0.957	0.950	0.950
2°	0.929	0.969	0.966	0.958	0.804	0.117	0.840	0.998	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.911	0.882	0.916	0.930	0.929	0.929

Ilustración tomada de los factores de sombra generados por el software PVsyst.

Ilustración C 3. Gráfica comparativa de generación.

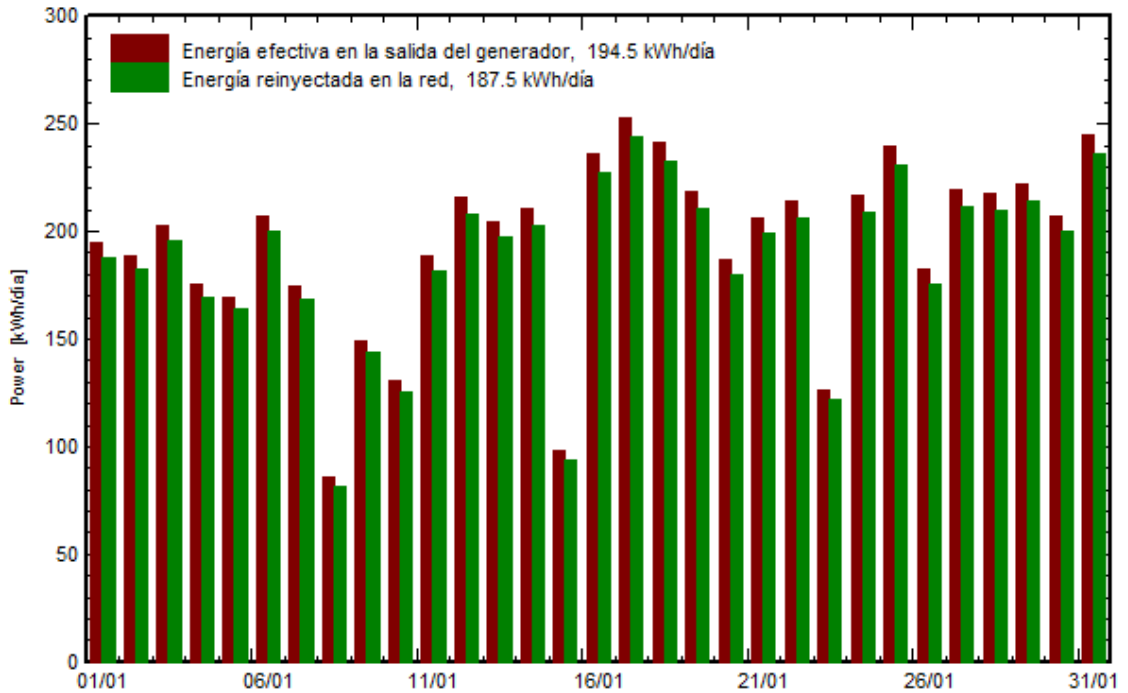


Ilustración tomada de la simulación realizada en software PVsyst.

En la ilustración C3 se comparan la energía efectiva obtenida a la salida del generador con la energía reinyectada en la red durante cada día, dando como valores promedio 194.5 [kWh/día] y 187.5 [kWh/día] respectivamente, por medio de

la gráfica anterior se calcula un error de generación diaria del 1.76% con respecto a la medida estimada de 184.25 [kWh/día], además se corrobora que la eficiencia promedio del inversor se acerca a la proporcionada por el fabricante, dando como resultado una pérdida del 3.6%, que coincide con una eficiencia del 96%.

Al final la configuración obtenida se usa como variable de sensibilidad dentro de la simulación posterior que se ejecuta con ayuda del software HOMER, pues debido a las características de esta herramienta computacional (PVsyst), no es posible modelar el comportamiento del generador previamente escogido, ni darle las características pertinentes a la red interconectada. A continuación se adjunta el informe generado con PVsyst donde se destacan los factores que se tuvieron en cuenta y los resultados obtenidos.

Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación

Proyecto :	DIMENSIONAMIENTO E3T		
Lugar geográfico	Bucaramanga	País	Colombia
Ubicación	Latitud 7.1°N	Longitud	73.1°W
Hora definido como	Hora Legal Huso hor. UT-5	Altitud	999 m
Datos climatológicos :	Bucaramanga, Synthetic Hourly data		

Variante de simulación : CONFIGURACION ULICA-ABB
 Fecha de simulación 11/04/16 08h50

Datos de ubicación

Parámetros de la simulación

Orientación Plano Receptor	Inclinación 0°	Acimut 180°
Perfil obstáculos	Sin perfil de obstáculos	
Sombras cercanas	Sombreado lineal	

Datos de la configuración

Características generador FV

Módulo FV	Si-poly	Modelo UL_320P_72		
		Fabricante Ningbo Ulica Solar		
Número de módulos FV	En serie	8 módulos	En paralelo	18 cadenas
N° total de módulos FV	N° módulos 144		Pnom unitaria	320 Wp
Potencia global generador	Nominal (STC)	46.1 kWp	En cond. funciona.	41.8 kWp (50°C)
Caract. funcionamiento del generador (50°C)	V mpp	275 V	I mpp	152 A
Superficie total	Superficie módulos	279 m²	Superficie célula	252 m²
Inversor		Modelo PVI-4.2-OUTD-S-US (208V)		
		Fabricante ABB		
Características	Tensión Funciona.	140 530 V	Pnom unitaria	4.20 kW AC
Banco de inversores	N° de inversores 9 unidades		Potencia total	37.80 kW AC

Factores de pérdida Generador FV

Factor de pérdidas térmicas	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (viento)	0.0 W/m²K / m/s
=> Temp. Opera. Nom. Cél. (G=800 W/m², Tamb=20° C, Viento=1m/s)			TONC	56 °C
Pérdida Óhmica en el Cableado	Res. global generador	30 mOhm	Fracción de Pérdidas	1.5 % en STC
Pérdida Calidad Módulo			Fracción de Pérdidas	1.5 %
Pérdidas Mismatch Módulos			Fracción de Pérdidas	2.0 % en MPP
Efecto de incidencia, parametrización ASHRAE	IAM = 1 - bo (1/cos i - 1)		Parámetro bo	0.05

Necesidades de los usuarios : Carga ilimitada (red)

Sistema Conectado a la Red: Definición del sombreado cercano

Proyecto : DIMENSIONAMIENTO E3T
Variante de simulación : CONFIGURACION ULICA-ABB

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Conectado a la red	
Sombras cercanas	Sombreado lineal		
Orientación Campos FV	inclinación	0°	acimut 180°
Módulos FV	Modelo	UL_320P_72	Pnom 320 Wp
Generador FV	N° de módulos	144	Pnom total 46.1 kWp
Inversor	Modelo	PVI-4.2-OUTD-S-US (208V)	Pnom 4200 W ac
Banco de inversores	N° de unidades	9.0	Pnom total 37.8 kW ac
Necesidades de los usuarios	Carga ilimitada (red)		

Perspectiva del campo FV y situación del sombreado cercano

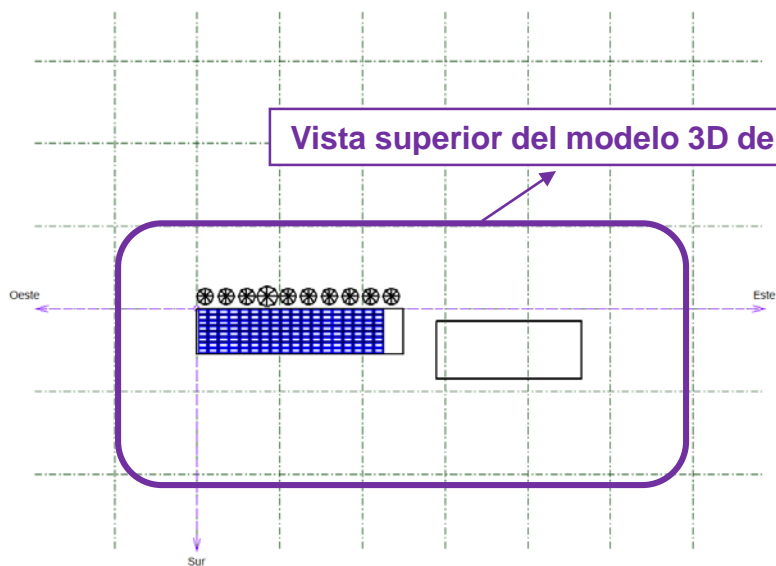
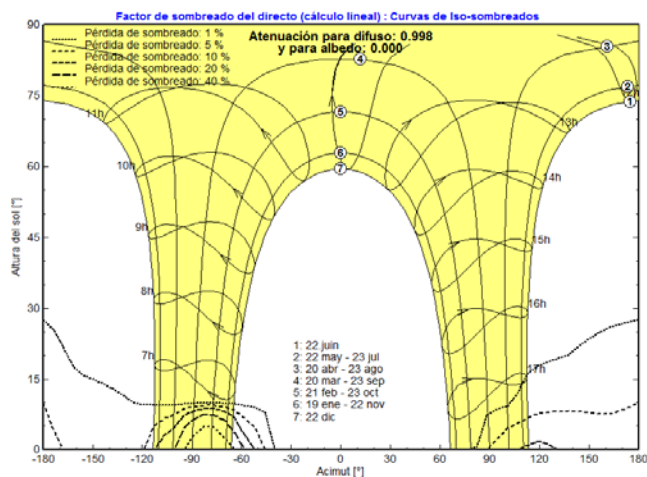


Diagrama de Iso-sombrados

DIMENSIONAMIENTO E3T: EDIFICIO E3T acimut 180



Sistema Conectado a la Red: Resultados principales

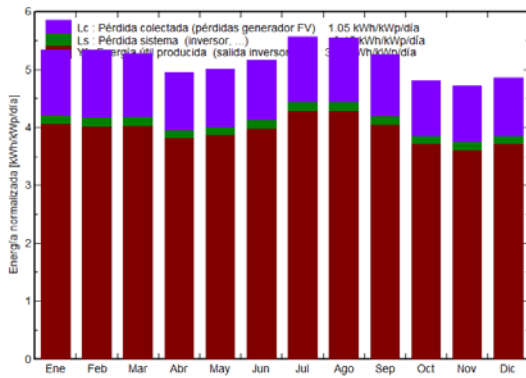
Proyecto : DIMENSIONAMIENTO E3T
Variante de simulación : CONFIGURACION ULICA-ABB

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Conectado a la red
Sombras cercanas	Sombreado lineal	
Orientación Campos FV	inclinación	0° acimut 180°
Módulos FV	Modelo	UL_320P_72 Pnom 320 Wp
Generador FV	N° de módulos	144 Pnom total 46.1 kWp
Inversor	Modelo	PV
Banco de inversores	N° de unidades	9.0
Necesidades de los usuarios	Carga ilimitada (red)	

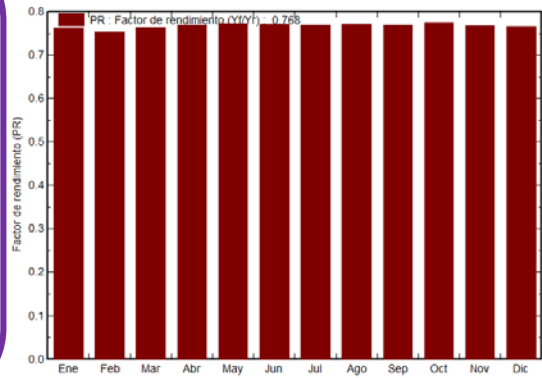
Resultados de la simulación

Resultados principales de la simulación			
Producción del Sistema	Energía producida	66571 kWh/año	Produc. específico 1445 kWh/kWp/año
	Factor de rendimiento (PR)	76.8 %	
Inversión	Total incl. impuestos	40549 US\$	Específico 0.88 US\$/Wp
Costo anual	Anualidades (Préstamo 0.0%, 0 años)	40549 US\$/a	Costo de explotación 0 US\$/a.
Costo de energía		0.61 US\$/kWh	

Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 46.1 kWp



Factor de rendimiento (PR)



Gráfica de generación y pérdidas

	GlobHor kWh/m²	T Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_Grid kWh	EffArrR %	EffSysR %
Enero	165.5	23.30	165.5	159.5	6030	5812	13.06	12.59
Febrero	149.5	24.70	149.5	144.1	5385	5191	12.91	12.44
Marzo	163.7	24.50	163.7	158.0	5984	5768	13.10	12.63
Abril	148.8	23.70	148.8	143.7	5482	5280	13.20	12.72
Mayo	155.3	23.20	155.3	150.0	5743	5534	13.26	12.77
Junio	154.8	23.10	154.8	149.5	5710	5502	13.22	12.74
Julio	172.7	23.40	172.7	167.2	6351	6120	13.18	12.70
Agosto	172.1	23.60	172.1	166.6	6348	6120	13.22	12.75
Septiembre	158.1	23.00	158.1	153.0	5817	5604	13.19	12.71
Octubre	148.8	22.40	148.8	143.5	5518	5320	13.29	12.82
Noviembre	141.6	22.30	141.6	136.4	5192	5005	13.14	12.67
Diciembre	150.7	22.40	150.7	144.8	5514	5315	13.12	12.65
Año	1881.5	23.29	1881.5	1816.2	69073	66571	13.16	12.68

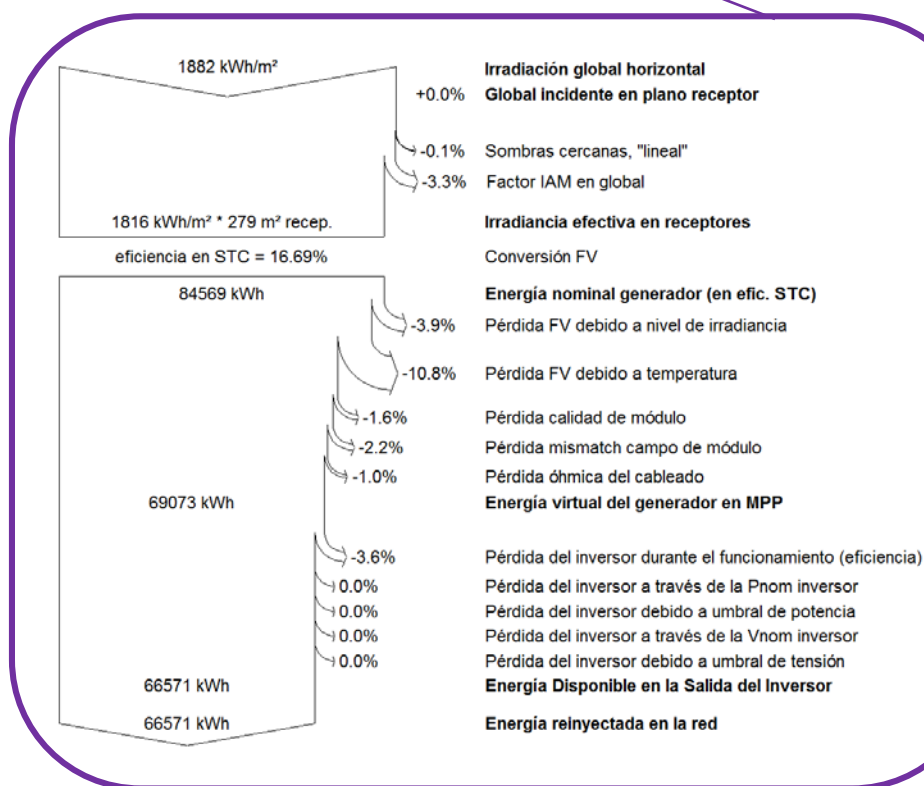
Leyendas: GlobHor Irradiación global horizontal EArray Energía efectiva en la salida del generador
 T Amb Temperatura Ambiente E_Grid Energía reinyectada en la red
 GlobInc Global incidente en plano receptor EffArrR Eficiencia Esal campo/superficie bruta
 GlobEff Global efectivo, corr para IAM y sombreados EffSysR Eficiencia Esal sistema/superficie bruta

Sistema Conectado a la Red: Diagrama de pérdidas

Proyecto : DIMENSIONAMIENTO E3T
Variante de simulación : CONFIGURACION ULICA-ABB

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Conectado a la red	
Sombras cercanas	Sombreado lineal		
Orientación Campos FV	inclinación	0°	acimut 180°
Módulos FV	Modelo	UL_320P_72	Pnom 320 Wp
Generador FV	N° de módulos	144	Pnom total 46.1 kWp
Inversor	Modelo	PVI-4.2-OUTD-S-US (208V)	Pnom 4200 W ac
Banco de inversores	N° de unidades	9.0	Pnom total 37.8 kW ac
Necesidades de los usuarios	Carga ilimitada (red)		

Diagrama de pérdidas anuales



Sistema Conectado a la Red: Evaluación económica

Proyecto : DIMENSIONAMIENTO E3T
Variante de simulación : CONFIGURACION ULICA-ABB

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Conectado a la red	
Sombras cercanas	Sombreado lineal		
Orientación Campos FV	inclinación	0°	acimut 180°
Módulos FV	Modelo	UL_320P_72	Pnom 320 Wp
Generador FV	N° de módulos	144	Pnom total 46.1 kWp
Inversor	Modelo	PVI-4.2-OUTD-S-US (208V)	Pnom 4200 W ac
Banco de inversores	N° de unidades	9.0	Pnom total 37.8 kW ac
Necesidades de los usuarios	Carga ilimitada (red)		

Inversión

Módulos FV (Pnom = 320 Wp)	144 unidades	145 US\$ / unidad	20827 US\$
Soportes/Integración		29 US\$ / módulo	4166 US\$
Inversores (Pnom = 4.2 kW ac)	9 unidades	1728 US\$ / unidad	15556 US\$
Ajustes, cableado, ...			0 US\$
Sustitución subestimada			-0 US\$
Inversión bruta (sin impuestos)			40549 US\$

Financiamiento

Inversión bruta (sin impuestos)		40549 US\$
Impuestos sobre la inversión (IVA)	Tasa 0.0 %	0 US\$
Inversión bruta (con IVA)		40549 US\$
Subsidios		-0 US\$
Inversión neta (todos impuestos incluidos)		40549 US\$
Anualidades	(Préstamo 0.0 % sobre 0 años)	40549 US\$/año
Costos de explotación anuales: mantenimiento, seguros ...		0 US\$/año
Costo total anual		40549 US\$/año

Inversión inicial y costo de la energía

Costo de energía

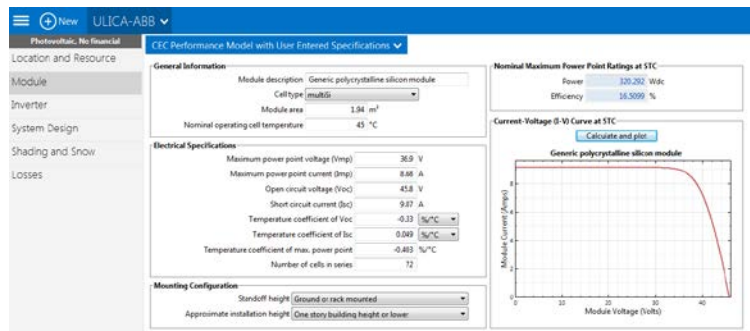
Energía producida	66.6 MWh / año
Costo de la energía producida	0.61 US\$ / kWh

Anexo D. Resultados de la simulación en SAM.

El proyecto ejecutado en el software SAM es un modelo fotovoltaico al que no se le realizó un análisis financiero puesto que se necesitan las características exactas de la deuda para ejecutarlo, sin embargo se aprovechó la programación de este software para conseguir una configuración confiable que estuviera cerca o cumpliera por completo con los requisitos de generación energética diaria y anual del edificio de la E3T.

En este proyecto se ingresan las especificaciones del módulo debido a que el panel UL-320P de la marca ULICA no se encuentra en la base de datos del software. Los datos del módulo se adquieren de la hoja de datos proporcionada por el fabricante y se ingresan por medio de la opción de edición que ofrece SAM, a continuación se muestra la interfaz del programa que permite la acción ya descrita.

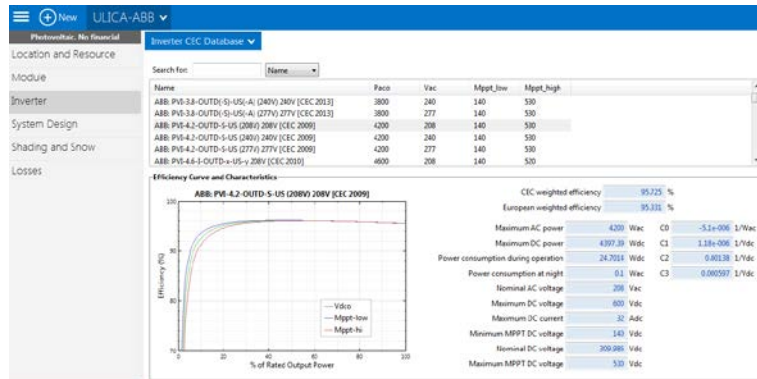
Ilustración D 1. Especificaciones técnicas del módulo UL-320P.



Interfaz gráfica tomada de software SAM 2015.6.30

Las características propias del inversor PVI-4.2-OUTD-US de ABB se encuentran en la base de datos del software, por lo tanto este se escoge luego de filtrar la búsqueda ya sea por potencia o marca, tal como se muestra en la ilustración D2.

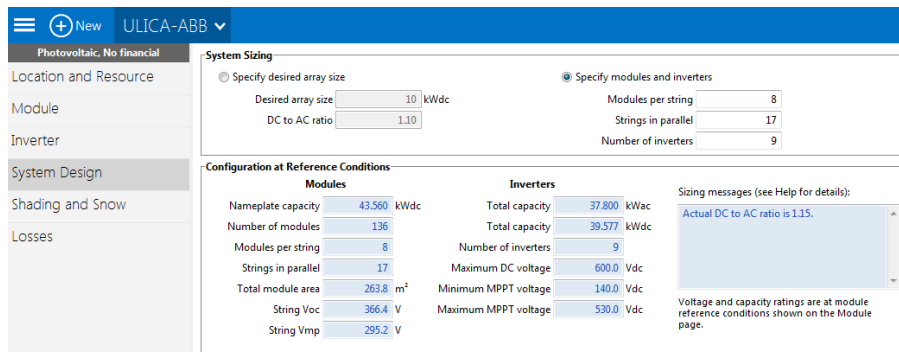
Ilustración D 2. Selección de inversor PVI-4.2-OUTD-S-US de ABB.



Interfaz gráfica tomada de software SAM 2015.6.30

El siguiente paso consistió en especificar la configuración de módulos por cadena y número de inversores, arrojando la combinación de 17 cadenas donde cada una posee 8 paneles, para un total de 136 generadores fotovoltaicos y 9 inversores. La ilustración D3 permite ver los datos que se ingresan en el programa.

Ilustración D 3. Configuración energética.

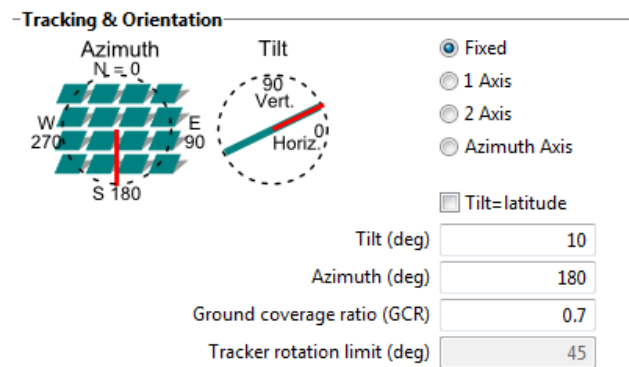


Interfaz gráfica tomada de software SAM 2015.6.30

Después de la configuración del sistema se seleccionó la opción para paneles fijos donde se indica el ángulo de inclinación y el acimut en miras de una mayor captación de radiación, que en este caso se eligió como 10° y 180° respectivamente (ilustración D4). Las magnitudes se seleccionaron con ayuda de la explicación que Cala Gonzalez y Rodriguez Sañudo hacen en [28], pues Bucaramanga posee

ángulos de incidencia cercanos a los 90° que permiten escoger un valor entre 0° y 10° para inclinación del módulo captador, adicional a esto se selecciona un valor constante de 0.7 GCR pues este depende del ángulo de inclinación escogido por el diseñador, tal como se explica en [31].

Ilustración D 4. Orientación de los módulos solares.



Interfaz gráfica tomada de software SAM 2015.6.30

Dentro de las características del software, SAM ofrece la posibilidad de graficar el lugar donde se pretenden instalar los paneles solares y los objetos cercanos que permitan un cálculo aproximado de los factores de sombra a los que estarán sometidos los módulos durante cada hora; la ilustración D5, D6 y D7 enseñan el lugar geográfico en el que se encuentra ubicado el lugar del proyecto, la vista en tercera dimensión de los módulos, edificios y árboles y los factores de sombra generados a partir de la gráfica ingresada, respectivamente.

Ilustración D 5. Vista espacial del edificio E3T.

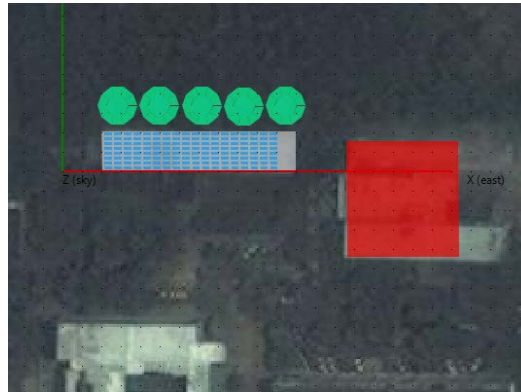


Ilustración vista espacial tomada de SAM 2015.6.30

Ilustración D 6. Vista 3D de módulos y objetos cercanos.

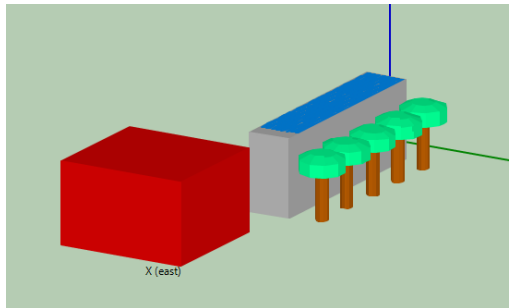


Ilustración modelo 3D tomado de software SAM 2015.6.30

Ilustración D 7. Factores de sombra por hora.

Beam Shading Loss 0% = No Shading, 100% = Fully Shaded 0 Apply to selected cells

	12am	1am	2am	3am	4am	5am	6am	7am	8am	9am	10am	11am	12pm	1pm	2pm	3pm	4pm	5pm	6pm	7pm	8pm	9pm	10pm
Jan	100	100	100	100	100	100	19.7851	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16.4594	100	100	100	100	100
Feb	100	100	100	100	100	100	10.0671	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.03256	100	100	100	100	100
Mar	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100
Apr	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100
May	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100
Jun	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100
Jul	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100
Aug	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100
Sep	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100
Oct	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22.5272	100	100	100	100	100
Nov	100	100	100	100	100	100	2.76407	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100

Ilustración tabla de factores de sombra tomada de software SAM 2015.6.30

Finalmente, el software SAM arroja la generación anual esperada del sistema según los datos meteorológicos ingresados, dando como resultado una generación de 66.428 [MWh/año], sin embargo para el análisis de la generación diaria es necesario observar los datos de energía mes a mes que permita el cálculo promedio de la energía por día, dando como resultado 182.12 [kWh/día] (Tabla D1).

Tabla D 1. Cálculo energía diaria al año.

Energía reinyectada mensual [kWh]	Días del mes	Promedio de energía diaria al mes [kWh]
6335,93	31	204,384839
5822,98	28	207,963571
6406,09	31	206,648065
5633,63	30	187,787667
5385,75	31	173,733871
4701,56	30	156,718667
4902,83	31	158,155806
5221,74	31	168,443226
5133,82	30	171,127333
5282,16	31	170,392258
5478,54	30	182,618
6122,48	31	197,499355
PROMEDIO ENERGÍA DIARIA AL AÑO [kWh]		182,122721

Anexo E. Resultados de la simulación en HOMER.

Para efectuar la simulación en HOMER se requiere de datos de entrada que describan las especificaciones técnicas, costos de componentes y disponibilidad de recursos meteorológicos, los pasos a seguir se detallan a continuación.

Selección de la Carga

Cada diseño de sistema debe incluir al menos una carga primaria, al seleccionar la opción de carga se deben especificar los datos del perfil de carga hora a hora del día, el consumo total en [kWh/día] y el tipo de carga (continua o alterna). Para esta simulación se ingresaron dos datos de consumo 184,25 [kWh/día] y 179,3 [kWh/día]. También es posible ingresar el mes pico de la carga, para efectos de simulación se estableció enero como el mes pico, la ilustración E1 enseña cada dato requerido.

Ilustración E 1. Ventana de entrada de parámetros de la Carga



Imagen tomada del software HOMER Pro. Versión 3.5.3

Selección de Componentes

Se deben agregar los datos de las especificaciones de los componentes que se consideraron en el diseño del sistema híbrido, para esto se requiere de la elección de cada una de las opciones disponibles en la pestaña componentes, las opciones que se escogieron fueron paneles FV, convertidores AC/DC, generadores diésel y conexión a red.

- **Panel Fotovoltaico**

En esta opción se especifican las características del panel fotovoltaico tomadas de la hoja de datos proporcionada por el fabricante, así como el precio de adquisición y el costo de remplazo del panel.

Ilustración E 2 Ventana de entrada para especificación de los paneles

Capacidad (kW)	Inversión (\$)	Reemplazo (\$)	O&M (\$/año)
0.320	173,56 \$	173,56 \$	0,0 \$

Imagen tomada del software HOMER Pro. Versión 3.5.3

En la pestaña de entradas avanzadas se introducen los valores del ángulo de inclinación del panel y la dirección de orientación, para este proyecto se tomaron valores del 20% para la reflectancia del suelo, 10° para el ángulo de inclinación de los paneles Y 180° para el ángulo de acimut.

Ilustración E 3. Entradas de datos paneles para los

MPPT Dato de entrada avanzado Temperatura

Reflectancia del suelo (%): 20,00 (-)

Sistema de rastreo: No Tracking

Usar la pendiente predeterm Pendiente del panel (grados): 10,00 (-)

Usar el azimut predeterm Azimut del panel (grados oeste del sur): 180,00 (-)

Imagen tomada del software HOMER Pro. Versión 3.5.3

Si se desea tener en cuenta el efecto de la temperatura sobre el funcionamiento del panel se debe marcar la casilla correspondiente e ingresar el coeficiente de temperatura a máxima potencia, la temperatura nominal de la célula que normalmente es un valor de 45°C y la eficiencia bajo condiciones estándar de prueba.

Ilustración E 4. Entrada datos efectos de temperatura sobre el panel

MPPT Dato de entrada avanzado Temperatura

¿Considerar efectos de la temperatura?

Usar la temperatura ambiente definida en el recurso de temperatura.

Efectos de la temperatura en la potencia (%/°C): -0,403 (-)

Temperatura nominal de la celda (°C): 45,00 (3)

Eficiencia bajo condiciones estándar de prueba: 16,52 (-)

Imagen tomada del software HOMER Pro. Versión 3.5.3

- **Convertidor de Potencia**

En la pestaña de datos del inversor se ingresó el valor de potencia del convertidor elegido, también se ingresa el precio del inversor y el valor de remplazo del mismo, la vida útil del inversor se consideró en 15 años y la eficiencia de trabajo del equipo es del 96% tomada del datasheet del equipo, además se introducen en el espacio de búsqueda los tamaños de potencia con los que desea simular el sistema para

este caso se simuló para un total de 9 y 10 inversores.

Ilustración E 5. Entrada parámetros del convertidor

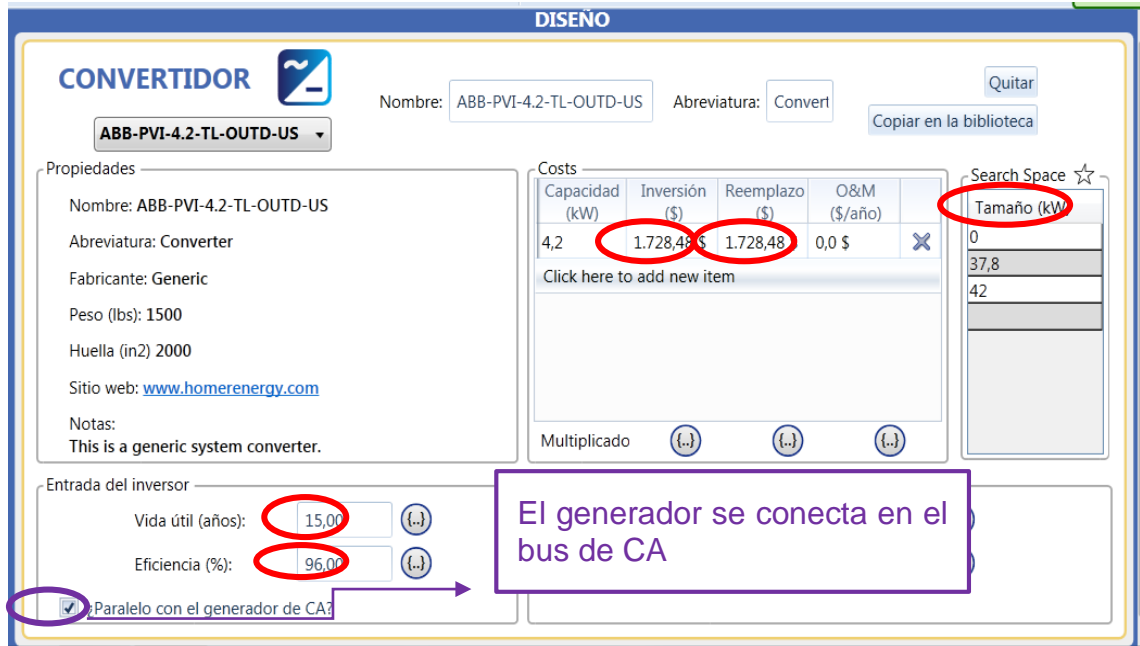


Imagen tomada del software HOMER Pro. Versión 3.5.3

- **Generador Diésel**

Los parámetros de entrada para el generador incluyen la capacidad de potencia del generador, el generador seleccionado para este proyecto es de 25 [kW], se ingresan los costos de adquisición inicial y los costos de operación y mantenimiento en horas al año del generador seleccionado. La vida útil del generador se determinó en 30.000 horas y se determinó que el generador funcionaría para alimentar cargas en alterna por lo que el bus de conexión es el de CA.

Ilustración E 6. Ventana entrada de los parámetros del Generador

The screenshot shows the 'GENERADOR' configuration window in HOMER Pro. The 'Costs' table is as follows:

Capacidad (kW)	Inversión (\$)	Reemplazo (\$)	O&M (\$/hr)
25	11.706,00 \$	11.706,00 \$	0,00 \$

The 'Entrada de sitio específico' section includes the following values:

- Proporción de carga mínima: 30,00
- Proporción de recuperación: 0,00
- Vida útil (Horas): 30.000,00
- Tiempo de operación mínimo: 0,00

Imagen tomada del software HOMER Pro. Versión 3.5.3

Uno de las motivaciones de este proyecto es el impacto ambiental por lo que se decide tener en cuenta el impacto de las emisiones producidas, estas emisiones dependen del tipo y clase de generador como también del tipo de combustible. Para esta simulación se estableció un precio por litro de combustible en USD\$ 0,06. Para generar la curva de combustible se toman los datos dados por el fabricante, los cuales son: para un funcionamiento al 100% se tiene un consumo de 6,1 lts/h y para un funcionamiento al 25% se tiene un consumo de lts/h.

Ilustración E 7. Ventana entradas avanzadas para el generador

The screenshot shows the advanced input window for the generator. The 'Emisiones' tab is active. The fuel type is 'Diesel' and the price is 0,66 \$/L. The properties are:

- Poder calorífico inferior (MJ/kg): 43,2
- Densidad (kg/m3): 820
- Contenido de carbono (%): 88
- Contenido de azufre (%): 0,33

Imagen tomada del software HOMER Pro. Versión 3.5.3

- **Red Eléctrica**

Las características de la red introducidas en el software fueron las tarifas de compra y reventa de energía, en este caso la tarifa de reventa se asumió en el mismo valor de la tarifa de compra, ya que la energía sobrante no será vendida a la red como tal si no que será utilizada para suplir la demanda de energía de otros edificios en el campus central de la UIS. También se tuvo en cuenta el valor de las emisiones producto de la generación por medio de fuentes convencionales que abastecen el suministro de la red eléctrica, el factor de emisión calculado para el año 2014 fue de 388 [g/kWh] [29].

Ilustración E 8. Ventana de entrada de los parámetros de la red

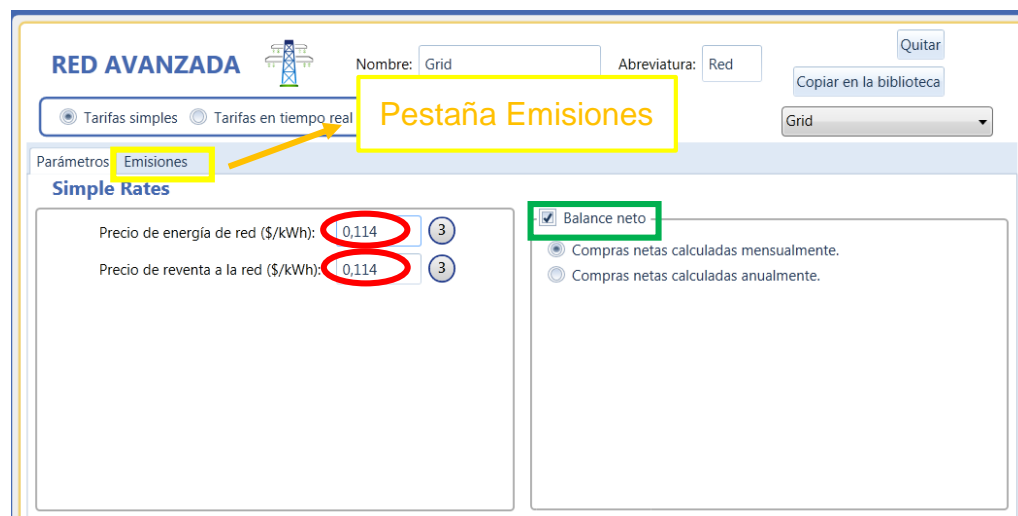


Imagen tomada del software HOMER Pro. Versión 3.5.3

- **Selección de Recursos**

En esta pestaña se encuentran las opciones de recursos con los que HOMER permite realizar las simulaciones (Solar, eólico, temperatura, hidrocínético, hidroeléctrico y biomasa).

Para ingresar los datos de los recursos con los que se realizó la simulación se

importó un archivo de texto que contiene la radiación del lugar en [kW/m²] en pasos de una hora, es decir 8760 líneas con la información de la radiación solar de todo el año. HOMER permite varias opciones para introducir los datos de los recursos, una muy útil es descargar los datos de radiación históricos de la NASA, esto se hace ingresando las coordenadas del lugar donde se realiza el proyecto.

Ilustración E 9. Entrada de los datos de recursos disponibles



Imagen tomada del software HOMER Pro. Versión 3.5.3

Los datos de temperatura se ingresaron de la misma forma como se ingresaron los datos de radiación solar.

Ilustración E 10. Datos de entrada de Temperatura

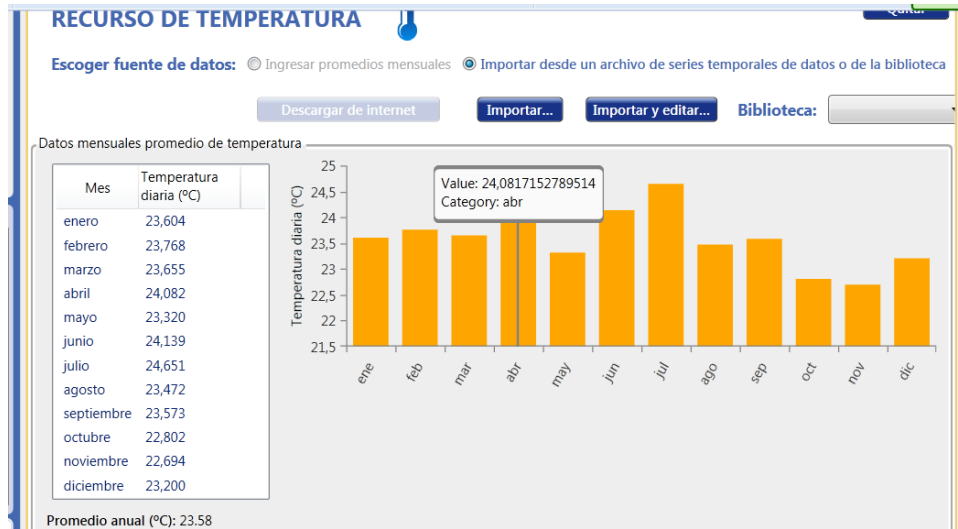


Imagen tomada del software HOMER Pro. Versión 3.5.3

Resultados

Al finalizar la simulación Homer presenta los resultados en diferentes tablas y gráficas que ayudan a comparar las configuraciones y a evaluarlas de acuerdo a sus ventajas técnicas y económicas. Se puede elegir entre si se desean ver los resultados de forma general o en una tabla categorizada de acuerdo a los casos de sensibilidad del proyecto.

Ilustración E 11. Ventana de resultados de la simulación.

Arquitectura							Costo				Sistema	
			Ulica320-2 (kW)	Gen25kW (kW)	Red (kW)	ABB2 (kW)	Despacho	CDE (\$)	CAN (\$)	Costo de operación (\$)	Inversión inicial (\$)	Fracc. Ren. (%)
			46,1		999.999	37,8	CC	0,0333 \$	49.370 \$	560,04 \$	40.548 \$	68
			46,1		999.999	42,0	CC	0,0349 \$	51.822 \$	605,95 \$	42.277 \$	68
			43,5		999.999	37,8	CC	0,0370 \$	53.073 \$	883,24 \$	39.160 \$	66
			43,5		999.999	42,0	CC	0,0387 \$	55.549 \$	930,70 \$	40.888 \$	66
			46,1	25,0	999.999	37,8	CC	0,0382 \$	56.714 \$	283,08 \$	52.254 \$	68
			46,1	25,0	999.999	42,0	CC	0,0399 \$	59.165 \$	328,99 \$	53.983 \$	68
			43,5	25,0	999.999	37,8	CC	0,0421 \$	60.416 \$	606,27 \$	50.866 \$	66
			43,5	25,0	999.999	42,0	CC	0,0438 \$	62.892 \$	653,73 \$	52.594 \$	66
					999.999		CC	0,0913 \$	94.122 \$	5.975 \$	0,00 \$	0,00020
				25,0	999.999		CC	0,0984 \$	101.465 \$	5.698 \$	11.706 \$	0,00020

Imagen tomada del software HOMER Pro. Versión 3.5.3

En la ilustración anterior se describen las configuraciones optimas arrojadas por Homer, en la pestaña arquitectura se muestra cada uno de los componentes que integran las configuraciones, también se enlistan los costos de energía y los costos netos anuales y el valor de la inversión inicial. La configuración elegida que se ajusta a los requerimientos establecidos para este proyecto es la combinación de 144 paneles solares de 320 [W] cada uno de la marca Ulica, 9 inversores de potencia de 4.2 [kW] de la marca ABB y el sistema con conexión a la red eléctrica.

También se pueden analizar con detalle la producción de energía por componentes de la configuración seleccionada. A continuación, se muestra la producción de energía del conjunto de paneles solares Ulica 320P.

Ilustración E 12. Producción anual de los paneles Ulica 320P.

Cantidad	Valor	Unidades
Capacidad evaluada	46,08	kW
Salida media	7,61	kW
Salida media	182,72	kWh/d
Factor de capacidad	16,52	%
Producción total	66.693,00	kWh/yr

Imagen tomada del software Homer Pro. Versión 3.5.3

Para finalizar se analiza la gráfica mostrada en la Ilustración E 13, donde se observa la producción de energía mensual de los paneles fotovoltaicos a partir del recurso solar disponible en la terraza del edificio en conjunto con el consumo de energía necesario de la red eléctrica. La red sólo es utilizada para suplir la demanda en las horas de la noche donde no hay generación solar. Alcanzando satisfactoriamente así con uno de los objetivos principales de este proyecto.

Ilustración E 13. Promedio mensual de producción eléctrica.

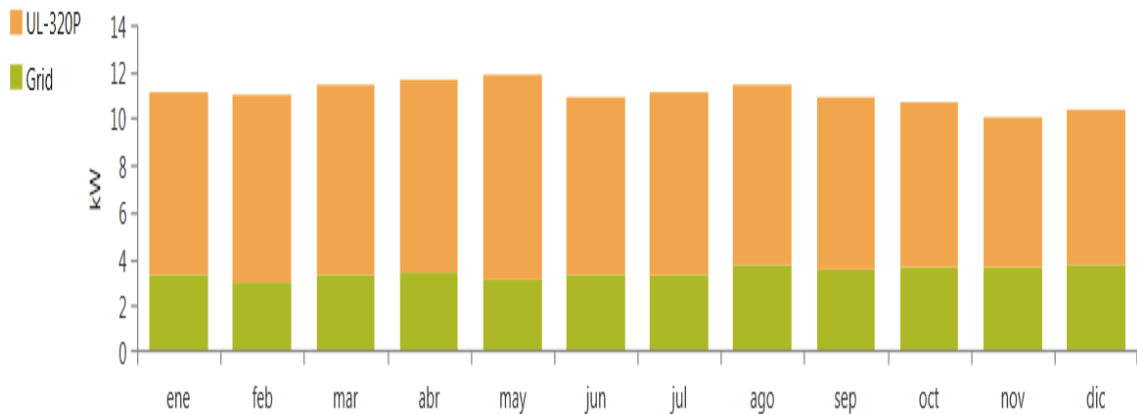


Imagen tomada del software Homer Pro. Versión 3.5.3

NOTA: Los siguientes archivos se encuentran en la carpeta Anexos adjunta en el CD:

- CONSUMO POR ÁREAS
- PERFIL DE CARGA DIARIO
- DATOS SOLAR
- DATOS VIENTO
- RED ACTUAL FV CANADIAN-ENPHASE
- RED ACTUAL FV UPSOLAR-ABB