

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

DESARROLLO DE PROYECTO PV USANDO EL SOFTWARE HOMER PRO

WILLIAM DE JESÚS HOLGUÍN BOTERO

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

ELKIN EDILBERTO HENAO BRAVO

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

18 – Febrero - 2019

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

Con el siguiente trabajo se quiere mostrar un modelamiento económico usando el HOMER PRO desarrollando un proyecto fotovoltaico, teniendo en cuenta diversos factores que intervienen en la producción de energía eléctrica no convencional.

A través de simulaciones interactivas con el HOMER PRO se pueden diseñar microrredes usando diferentes tecnologías de manera que con los recursos energéticos distribuidos se pueda atender la demanda de energía requerida de cualquier sector productivo, considerando criterios de eficiencia energética, económica y estabilidad.

Con dichos diseños se toman algunas consideraciones especiales que permiten acercarse de manera más concreta a qué tipo de microrred se deben usar para que permita un desempeño óptimo y eficiente de los recursos proporcionados por este tipo de energías no convencionales. El enfoque que se quiere con dichas simulaciones es determinar de manera directa que beneficios se tienen al trabajar con sistemas FV y que beneficios económicos representa desarrollar e instalar estos tipos de proyectos. Las simulaciones interactivas, la optimización y los análisis de sensibilidad permiten entender las interacciones dinámicas.

En el desarrollo se consideran dos tipos de instalaciones fotovoltaicas que tienen en cuenta la potencia requerida para suplir la iluminación del centro de distribución; una instalación se diseña con baterías para soportar la carga en la noche por 12 horas, lo que conlleva el uso aproximado de 256 baterías y el otro diseño se realizará para suplir la demanda en caso de falla de la iluminación por un máximo de 4 horas. Para la elección del sistema se tienen en cuenta la eficiencia del sistema y la inversión económica, es más viable desarrollar un proyecto fotovoltaico que no use tantas baterías ya que la inversión se incrementa considerablemente, además, de que es más factible que el sistema de baterías solo supla de manera momentánea la falta de energía eléctrica.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

Quiero agradecer con el corazón a mi familia que siempre estuvo apoyándome en toda mi formación profesional

Agradezco a mi esposa que siempre estuvo en los momentos difícil, dándome el aliento para luchar por mis sueños.

Agradezco a mis amigos y compañeros de universidad que si no fuera por el trabajo conjunto realizado durante estos años no lo hubiera logrado.

Agradezco al profesor Elkin Henao y al ITM por facilitarme los recursos necesarios para poder completar mí trabajo.

Agradezco al laboratorio de Electrónica, Telecomunicaciones e informática (ETI), por brindarme un espacio con el cual pude desarrollar el producto de laboratorio.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

FNCER fuentes no convencionales de energía renovable

FV fotovoltaica

ZNI zonas no interconectadas

IPSE Instituto para la Promoción de Soluciones Energéticas

UPME Unidad de Planeación Minero Energética

RETIE Reglamento Técnico de instalaciones eléctricas

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

Contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	6
2. MARCO TEÓRICO.....	10
3. METODOLOGÍA.....	15
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	38
REFERENCIAS	41

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda del consumo de energía, el excesivo desabastecimiento de los recursos naturales y la falta de combustibles fósiles ha contribuido a la exigencia del hombre para la búsqueda de sistemas energéticos que tengan un menor impacto en el medio ambiente. La apreciación entonces, desde la prospectiva energética para la intención directa de dar solución a las necesidades adyacentes a los consumos energéticos, es consecuente a introducir las llamadas “energías alternativas” donde su objetivo es mitigar las problemáticas existentes en su efecto – causa – raíz. Sin embargo, se direccionan a evaluar las condiciones más apropiadas para el desarrollo de un sistema enriquecido y eficiente que sea llamativo al aprovechamiento de energías y la retroactividad económica. Es aquí entonces, donde se presenta, la viabilidad del crecimiento tecnológico y alcance de la energía solar fotovoltaica que tiene como fundamento principal el aprovechamiento de forma racional y continua de la radiación emitida por el sol (fuente principal). Esta emisión comprende una gran cantidad de energía y es suficiente para suplir las necesidades de consumo energético. Así pues, su principio de funcionamiento se basa en que los rayos solares, al hacer contacto con celdas fotovoltaicas generan flujo de electrones (corriente eléctrica).

El mundo está teniendo una percepción diferente en el uso de fuentes energéticas renovables no convencionales, ya que se ha visto con buenos ojos los resultados positivos del uso de este tipo de recursos alternativos. Los proyectos de generación limpia tienen un menor impacto ambiental y pueden llegar a ser económicamente viables implementados adecuadamente, además de que permiten diversificar el mercado energético a nivel mundial.

La energía solar fotovoltaica (SFV) es una fuente de energía en constante mejoramiento, cada vez se desarrollan equipos más eficientes para un mejor aprovechamiento del recurso

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

solar. La masificación generada por países industrializados ha influido de manera directa a que los costos disminuyan de manera considerable, lo que permite que países en vía de desarrollo accedan a este tipo de tecnología.

Colombia es un país que tiene enormes ventajas en la generación de energía limpia, la matriz energética es liderada por la energía hidroeléctrica por 63.9% y el 31% proviene de los combustibles fósiles (UPME, 2015) , son fuentes económicamente viables pero sus impactos ambientales son considerablemente negativos, además de que no son inagotables, cabe resaltar que con algunos fenómenos naturales como “El niño” los recursos hídricos pueden disminuir considerablemente ocasionando escasez. Los sistemas con celdas solares pueden ser una solución pertinente en conjunto con otro tipo de tecnologías, estas pueden ser el camino al cambio energético que quiere tomar el país para aprovechar los recursos naturales de manera sostenible.

El gobierno ha estado en la obligación de dar soluciones factibles y pertinentes al uso masificado de los combustibles fósiles, así que trabaja conjuntamente con la industria para que estas soluciones puedan aportar de manera directa a la demanda energética que generan. La compañía Corona Colcerámica no le es ajeno este tema, que en la realidad lo afecta indirectamente. Dentro de su plan de eficiencia energética ha optado por desarrollar proyectos que impacten positivamente en los consumos de energía eléctrica, es por ello que el uso de fuentes energéticas renovables no convencionales ha tomado fuerza dentro de la compañía. Dentro de los modelos de factibilidad económica se está apuntando al uso de la energía solar con los que beneficios que conllevan usarla.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema fotovoltaico híbrido teniendo en cuenta datos de energía del centro de distribución en Corona Colcerámica usando el software HOMER PRO.

1.1.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Proponer una solución energética para el centro de distribución en Corona Colcerámica usando el software HOMER PRO.
- Desarrollar un análisis técnico-económico basado en la mejor solución obtenida.
- Diseñar los planos eléctricos requeridos para el funcionamiento del sistema.

1.2 ORGANIZACIÓN DEL INFORME

En la sección 2, se encuentra el marco teórico. El cual se enfoca en la historia de las energías renovables en Colombia y cuales han sido las aplicaciones que más han usado este tipo de tecnología, además se pueden encontrar los avances y desarrollos de la energía solar fotovoltaica.

En la sección 3, se desarrolla la metodología, en la cual se encuentra el paso a paso para elaborar un proyecto fotovoltaico con diferentes tecnologías, se integran diferentes factores para tener un resultado que sea favorable y realista, se muestra el paso a paso para la elección de cada uno de los elementos que intervienen.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En la sección 4 se resaltan los resultados obtenidos del proyecto, se mencionan los resultados y discusiones más relevantes al momento de usar el Homer Pro. Se encuentran los detalles de los análisis realizados y las soluciones más acordes para implementar este tipo de tecnologías.

En la sección 5 se encuentran las conclusiones y recomendaciones a las que se llega con el desarrollo del proyecto, se mencionan los aspectos más relevantes que intervinieron en todo su desarrollo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. MARCO TEÓRICO

La energía solar fotovoltaica es la energía procedente del sol que se convierte en energía eléctrica de forma directa, sin ninguna conversión intermedia. Se produce mediante generadores fotovoltaicos compuestos por módulos fotovoltaicos conectados entre sí que a su vez están compuestos por unidades básicas denominadas células solares fotovoltaicas. El conjunto de los módulos fotovoltaicos que componen un generador forma una superficie plana que tiene que ser expuesta a la luz del sol para producir energía eléctrica, en la Figura 1 se puede observar de manera detallada el funcionamiento de una celda fotovoltaica. La inclinación y la orientación adecuadas de dicha superficie son fundamentales para conseguir una conversión eficiente de energía solar en energía eléctrica. (Callejón & SantaMaría, 2010)

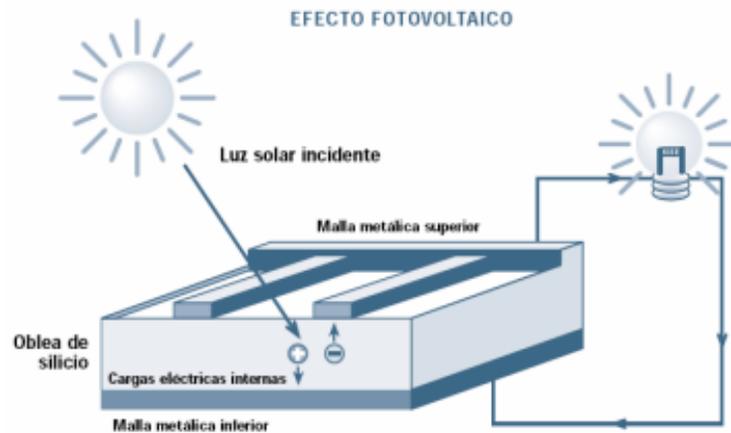


Figura 1 emisión solar de una placa de silicio (Callejón & SantaMaría, 2010)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Desde la creación de las primeras celdas solares, los desarrollos han sido prominentes y han avanzado a pasos agigantados cada vez haciéndolas más eficientes y disminuyendo los costos; desde sus inicios se han encontrado diferentes tecnologías de celdas solares, como lo son las monocristalinas, policristalinas y de capa de fina, principalmente. (Rodríguez García & Echániz Pou, 2009).

Las celdas solares son sistemas de generación de energía limpia que favorecen en gran medida y de manera directa en la disminución de la huella de carbono. Estos sistemas consisten en favorecer la posibilidad de elaborar e instalar medios tecnológicos viables que suplan necesidades específicas. Sus desarrollos favorecen el continuo crecimiento de la industrialización y es consecuente de la disminución del constante consumismo de energía eléctrica, Aunque estas tecnologías se encuentran direccionadas para solucionar la problemática energética y ambiental, no son muy comunes en medios de generación de energía en países sub – desarrollados.

El crecimiento acelerado de la industria de las celdas solares a nivel mundial, ha abierto las puertas para que países que quieran acceder a este tipo de tecnología, no solamente porque tengan deficiencia en sus sistemas energéticos, sino, porque quieren cambiar sus modelos de aprovechamiento, se puedan realizar de manera más factible, fácil y con un costo menor.

La Energía Solar en Colombia

Nuestro país dio sus primeros pasos en la energía solar en la década de los 70 por la crisis energética que estaba atravesando en esos momentos, gracias a esto diferentes universidades centraron sus estudios en desarrollar proyectos con la energía solar térmica y fotovoltaica, en aplicaciones de calentamiento de agua principalmente. (Ladino, 2011)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En los años 80 se empezaron a implementar sistemas no convencionales de generación de energía, en áreas rurales en las que no se contaba con acceso a la red nacional o zonas no interconectadas (ZNI), en dichos espacios se desarrollaron proyectos a pequeña escala en el área de las telecomunicaciones; en los cuales se instalaron pequeños generadores para radioteléfonos. Gracias a las pruebas pilotos que dieron resultados, hubo una expansión significativa en el uso de Energía Solar Fotovoltaica. (Murcia, 2009)

Los años 80 tuvieron una expansión significativa en el mercado fotovoltaico, en otras palabras, fueron un boom para la época; Su implementación se vio paralizada de manera ineludible por los problemas de orden público que afectaban al país en esos momentos. Aun así, se siguieron adelantando estudios y evaluando proyectos en algunas instituciones del estado, lo que permitió hasta el 2010 tener instalada una capacidad de 9MWp según estimaciones de CORPOEMA e IPSE. Se contaban con aproximadamente 15.000 mil instalaciones de sistemas solares. (Romero, 2010).

En los últimos años gracias al apoyo del estado, con los programas de electrificación rural por medio del apoyo del Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas (FAZNI) e Instituto para la Promoción de Soluciones Energéticas (IPSE) se desarrollaron proyectos de electrificación rural como el que se observa en la Figura 2, en los que se adelantaron algunas soluciones más factibles, usando sistemas híbridos en donde se combinaban plantas Diésel y sistemas fotovoltaicos, en los cuales se veía reflejado la reducción de combustible el cual era aprovechado solo de respaldo. (Murcia, 2009)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 2 Sistema solar de 2.8 kWp (Murcia, 2009) integración de módulos fotovoltaicos para suministro de energía de 120VAC en Vichada

Las aplicaciones más usadas en nuestro país con el uso de fuentes energéticas no convencionales han sido principalmente para el área rural, pero en los últimos años se ha observado un aumento en el uso de estos sistemas en las grandes ciudades. Los principales usos han sido para el bombeo de agua, iluminación, refrigeración, en las destilaciones de agua de mar, en el secado de productos agrícolas, entre otros. (Murcia, 2009).

La incursión de grandes multinacionales extranjeras en nuestro país, ha aumentado la inversión en grandes proyectos de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCR), que han impactado de manera positiva a grandes comunidades. Cabe resaltar que la diversificación del mercado energético, ha permitido que se vuelvas más competitivo y esto beneficia tanto a personas naturales como a grandes industrias.

La economía energética de Colombia está basada en un 78% en el uso de combustibles fósiles, mientras que el 22% proviene de fuentes renovables (UPME & BID, 2015), como se puede observar según el gráfico de la Figura 3. Con el aumento de la población y teniendo en cuenta el impacto ambiental tan grande que generan los combustibles fósiles se ha optado por la implementación de proyectos de generación más limpia.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

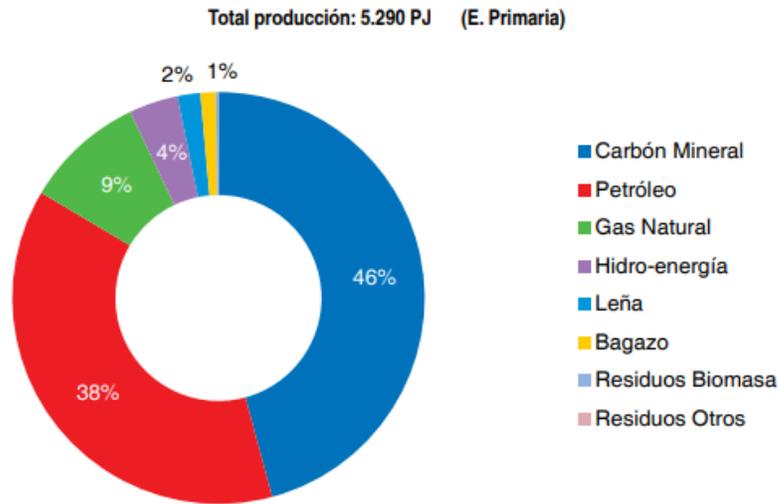


Figura 3 Explotación y producción nacional de recursos energéticos primarios en el año 2012.
(UPME & BID, 2015)

Para el caso de nuestro país en materia de desarrollo de FNCER, Colombia cuenta con una ubicación privilegiada, gracias a que se encuentra en la zona ecuatorial, siendo beneficiada de manera directa en la recepción de la radiación solar, se cuenta con un promedio de radiación en algunas zonas del país de 4,5 kWh/m² /d, el cual es un promedio muy alto comparado con el de otros países. Las regiones que mejor promedio de radiación solar son la Guajira, buena parte de costa atlántica, Arauca, Casanare, Vichada, Meta, entre otros que presentan una radiación por encima del promedio nacional y que puede llegar 6,0 kWh/m² /d. (UPME & BID, 2015)

Cabe resaltar que la industria colombiana ha percibido con buenos ojos el redireccionamiento del mercado de la energía eléctrica, ya que se puede diversificar la producción, no dependiendo del uso inadecuado de los recursos naturales y de los combustibles fósiles, sino también de fuentes inagotables que permiten un aprovechamiento más efectivo y con un menor impacto ambiental.

La regulación del mercado de la energía solar fotovoltaica, ha presentado avances importantes en el marco regulatorio, podemos resaltar que la creación de la Ley 1715 de

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2014 ha marcado un gran hito para su uso en nuestro país, ya que creo los alineamientos necesarios para ejecutar proyectos a pequeña y gran escala. Poco a poco se han hecho modificaciones por instituciones del gobierno como la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), que definen de una manera más efectiva los alcances de los proyectos y sus beneficios.(Ladino, 2011; Romero, 2010).

A nivel mundial el crecimiento se ha llevado de manera acelerada, ya que los países industrializados cambiaron sus modelos energéticos. China, India, EE. UU, Alemania. Vieron la posibilidad de volver versátiles los mercados e invirtieron en proyectos Energía Solar Fotovoltaica (EFV) a gran escala (granjas solares). El aumento en la capacidad instalada ha sido significativo y se espera que siga creciendo con el pasar de los años (Madrid, 2007).

3. METODOLOGÍA

El siguiente trabajo se realiza con la recopilación de algunos datos de la compañía Corona Colcerámica, para así desarrollar un paso a paso usando el software HOMER PRO. Con el fin de encontrar la viabilidad económica y el diseño más acorde para el desarrollo de un proyecto Fotovoltaico que pueda suplir el circuito de iluminación del área del centro de distribución de la compañía. Se trabaja con el software HOMER PRO en las instalaciones del Instituto Tecnológico Metropolitano, que es un Software diseñado para encontrar la opción más viable para implementar una microrred simple o híbrida usando diferentes fuentes de energía. En el caso de estudio se planteó una microrred fotovoltaica híbrida que tendrá respaldo de la red solo en emergencias y que se suplirá por medio de paneles solares y tendrá soporte con baterías.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para llevar a cabo el desarrollo del proyecto fue necesario identificar la factibilidad de algunos de los lugares para plantear el caso de estudio. Primordialmente, se deben tener en cuenta los espacios en los cuales se puedan instalar las placas. Otros factores que influyen es la infraestructura física en este caso el techo, es necesario saber si cuenta con la capacidad de soportar el peso. En la empresa los dos lugares en los cuales se podría desarrollar el estudio son el centro de distribución y el área de suministros como se puede observar en la Figura 4.



Figura 4 ubicación técnica centro de distribución y suministros

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Se tuvieron en cuenta los consumos de energía eléctrica del área requerida, en este caso el centro de distribución. Se busca de manera detallada cuales son los elementos que intervienen para la iluminación del lugar. Para este caso en particular, se encuentra que en el área se cuentan con tubos led con una potencia de 80W y que trabajan a un voltaje AC de 220V. En el lugar se cuentan con aproximadamente 100 lámparas tipo led. Los consumos eléctricos se pueden observar en la Tabla 1, en esta se muestran datos del año 2017 y son consumos totales. Para determinar las cargas establecidas se calcula de toda la iluminación requerida en el área y con respecto a eso se diseñó un sistema con la potencia a usar. La cantidad de energía necesitada para suplir esa demanda es de 8kWp/h, según lo mencionado anteriormente con la cantidad de lámparas a usar.

centro de distribución	
mes consumo	kWh/mes
ene-17	57.864
feb-17	53.290
mar-17	57.253
abr-17	57.000
may-17	56.770
jun-17	54.774
jul-17	54.455
ago-17	56.992
sep-17	54.419
oct-17	54.959
nov-17	54.842
dic-17	51.349

Tabla 1 consumos eléctricos del centro de distribución en el 2017.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El paso a seguir es determinar las horas de trabajo en las cuales la iluminación es requerida. Se tiene en cuenta que el centro de distribución cuenta con tejas traslucidas lo que disminuye el consumo en un 60% en horas diurnas. Es necesario especificar que en el área trabajan 24 horas y los 365 días del año. Los datos mencionados anteriormente son la base para el desarrollo de este trabajo.

El primer paso para iniciar con el diseño es establecer una localización, para así obtener algunos de los datos requeridos durante su desarrollo. En el caso de estudio la ubicación corresponde Girardota-Antioquia, la ubicación exacta de la compañía es 06° 22' 55.39" N 75° 26' 34.42" W. En la Figura 5-a y Figura 5-b se puede observar la selección de ubicación por el asistente de diseño y el lugar que se requiere por medio de coordenadas para la obtención de datos.

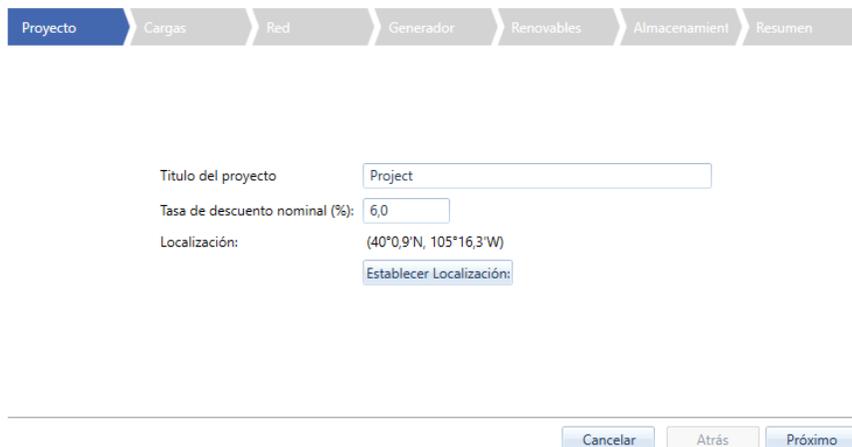


Figura 5-a. recuadro de selección de localización del lugar requerido, que se realiza por medio del asistente de diseño"

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

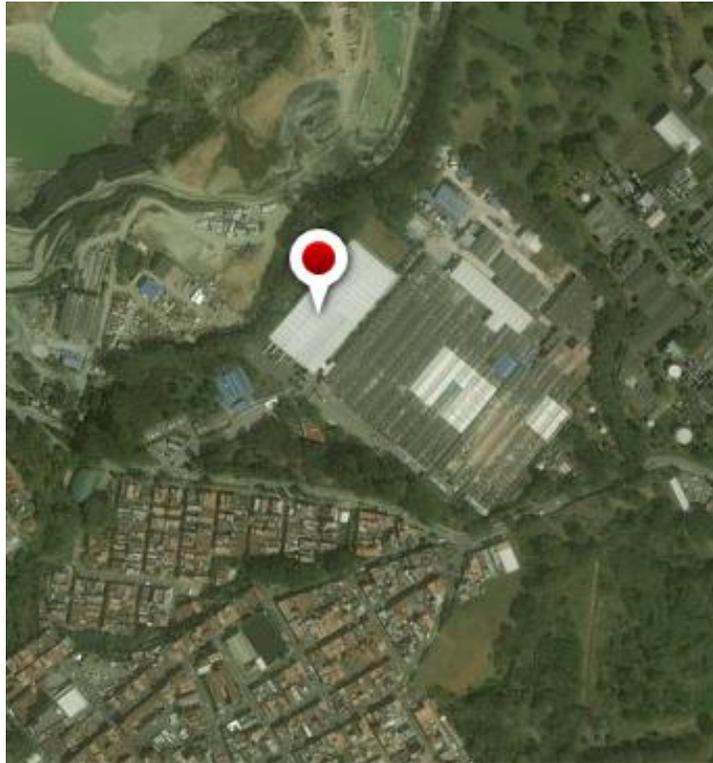


Figura 5-b ubicación Corona Colcerámica

Por medio del software se obtienen valores aproximados del Recurso Solar (RHG) en las localizaciones donde sea requerido. Los datos arrojados son promedios mensuales en las áreas requeridas. En la Figura 6 se observa en la parte superior la opción “Recursos”, allí se pueden encontrar diferentes opciones para descargar, en el caso de estudio se usará “Solar RHG”. En la Figura 7 se encuentran los datos promediados de la insidencia solar, los cuales son descargados de internet por el asistente de diseño.

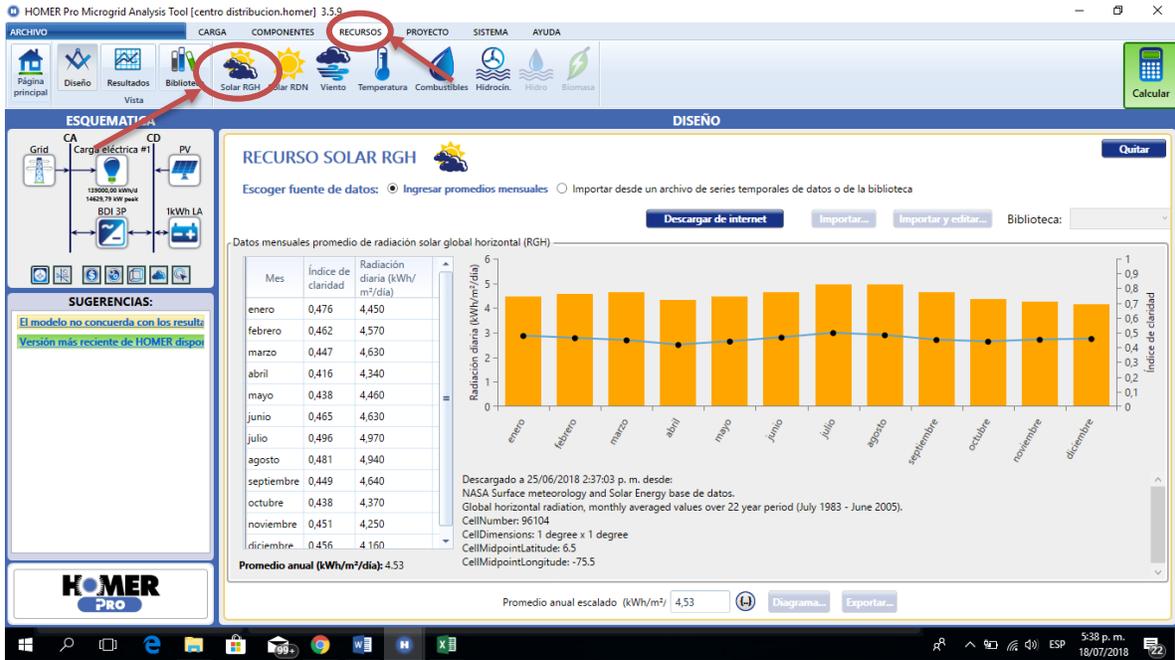


Figura 6 recuadro de selección del recurso a usar y promedio incidencia solar.

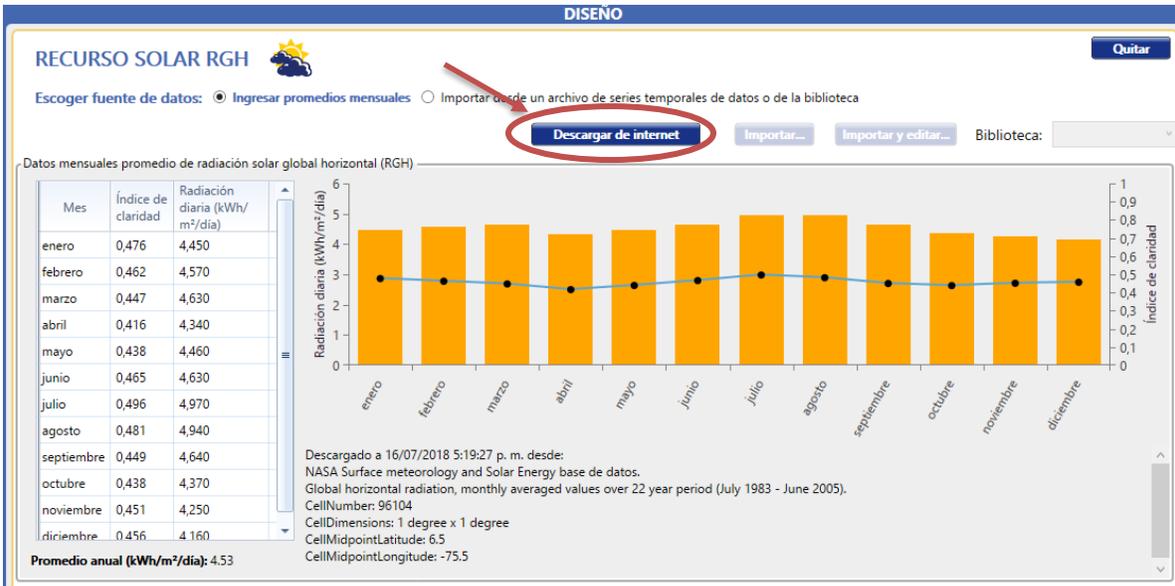


Figura 7 recuadro de selección del recurso a usar y promedio incidencia solar,

Para continuar con el diseño es necesario establecer la carga eléctrica requerida y siendo aun mas especificos, recopilar datos para designar las horas en las que el consumo es máximo o mínimo, para tener un cálculo más preciso de la microrred.

En la Figura 8 se muestran las elecciones permitidas en la opción “carga” y se indica en detalle los perfiles con los cuales se puede trabajar. En la Figura 9 se selecciona, para el caso de estudio, la carga eléctrica #1, allí se puede encontrar la opción “mostrar todos los meses” con los cuales se pueden incluir datos en referencia de 24 horas en los 12 meses del año. Se colocan de manera detallada los consumos seleccionados en la tabla que tiene incorporada, que es 8% de la carga total mencionada anteriormente en la Tabla 1. La carga máxima por hora es de 8 kW/h en la noche y en horario diurno es de 3.6 kW/h por la cantidad de lamparas usadas para iluminar el lugar.

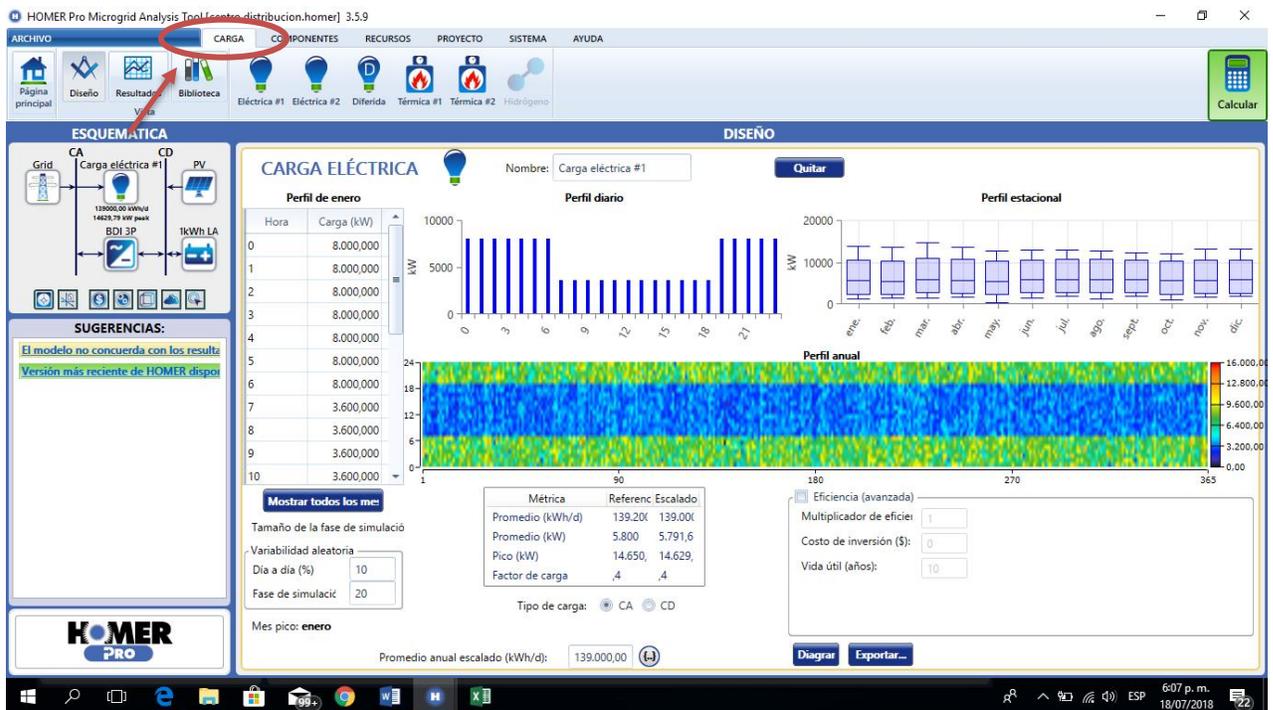


Figura 8 recuadro de selección de carga

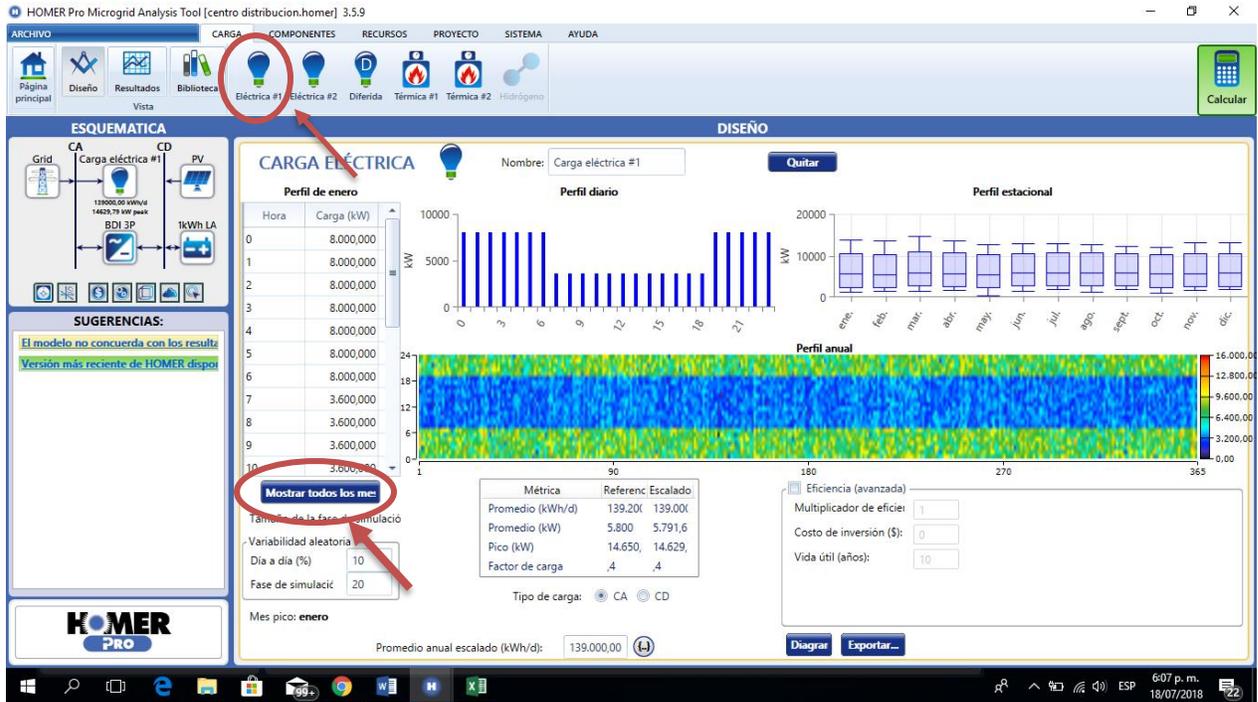


Figura 9 carga eléctrica #1

Después de tener la carga establecida, se elige el componente con el cual se quiere suplir la demanda eléctrica mencionada anteriormente, en el caso de estudio se usará el fotovoltaico. Para la elección del recurso es necesario seleccionar la opción componentes como se muestra en la Figura 10, y se elige PV como lo muestra en la Figura 11.



Figura 10. selección del componente

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 11 recuadro selección panel.

Se tienen paneles previamente incorporados por el software. Pero en algunas de las elecciones no se cuentan con datos de los fabricantes lo que hace un poco más complicado el proceso de diseño. Cabe resaltar que se cuentan con dos opciones genéricas como lo detalla la Figura 12, estas opciones pueden ser modificadas para sustituir los datos para la elección de los paneles.

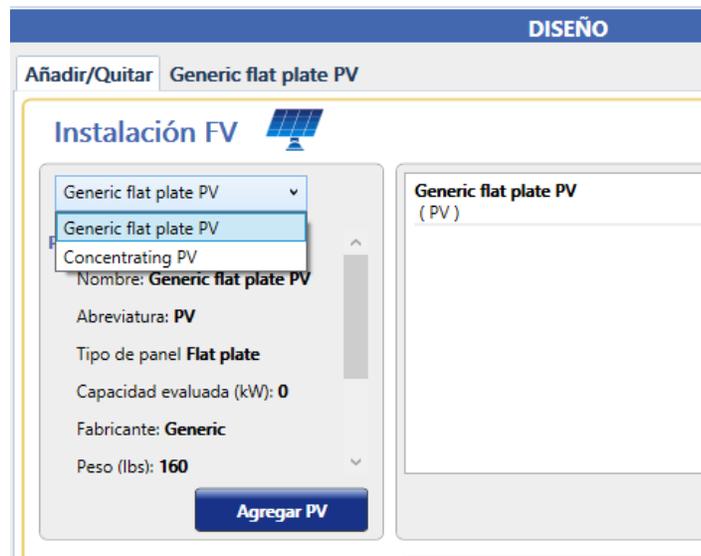


Figura 12 selección del Panel Solar con las opciones genéricas

Al elegir cualquiera de las dos opciones, se pueden incorporar los valores deseados para suplir la demanda requerida como se ve en la Figura 13. Se ingresan datos de costo, capacidad en kW, precio por kW, costo de reemplazo de los equipos y el costo de operación y mantenimiento. Para el caso, se insertaron los costos que se observan en la Tabla 2.

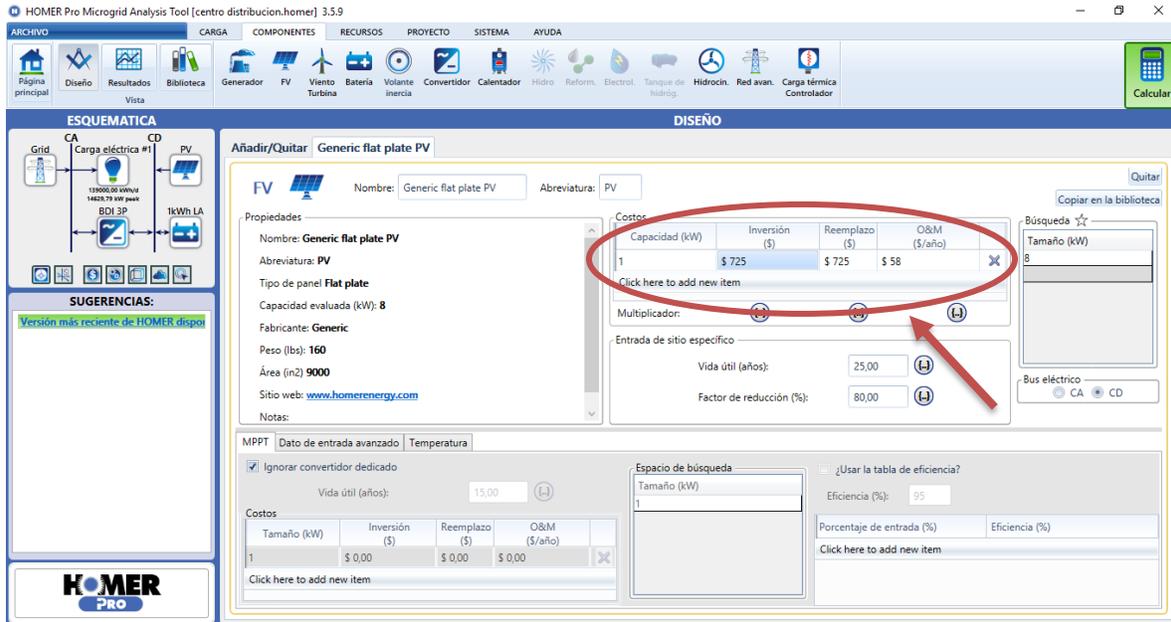


Figura 13. Recuadro valores requeridos para el cálculo del panel

Capacidad en kW	1
Inversión por kW	
\$	\$ 1.800.000
Reemplazo de equipos	
\$	\$ 1.800.000
Operación y Mantenimiento	
\$	\$ 120.000

Tabla 2. Valores usados para referencia de panel

El siguiente paso es elegir la batería, en la misma ventana de componentes como se observa en la Figura 10, se selecciona batería como se muestra en la Figura 14, además, al incluirla se cuenta con una lista desplegable, en la que se pueden elegir entre varias opciones la batería que se requiera o se adecue más al diseño. Como se ve en la Figura 15, para efectos del estudio, se eligió una batería de plomo ácido de capacidad 250Ah. Al haber realizado la selección es necesario incluirle algunos datos que son requeridos en el diseño los cuales se muestra en la Figura 16.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 14 recuadro selección de componente

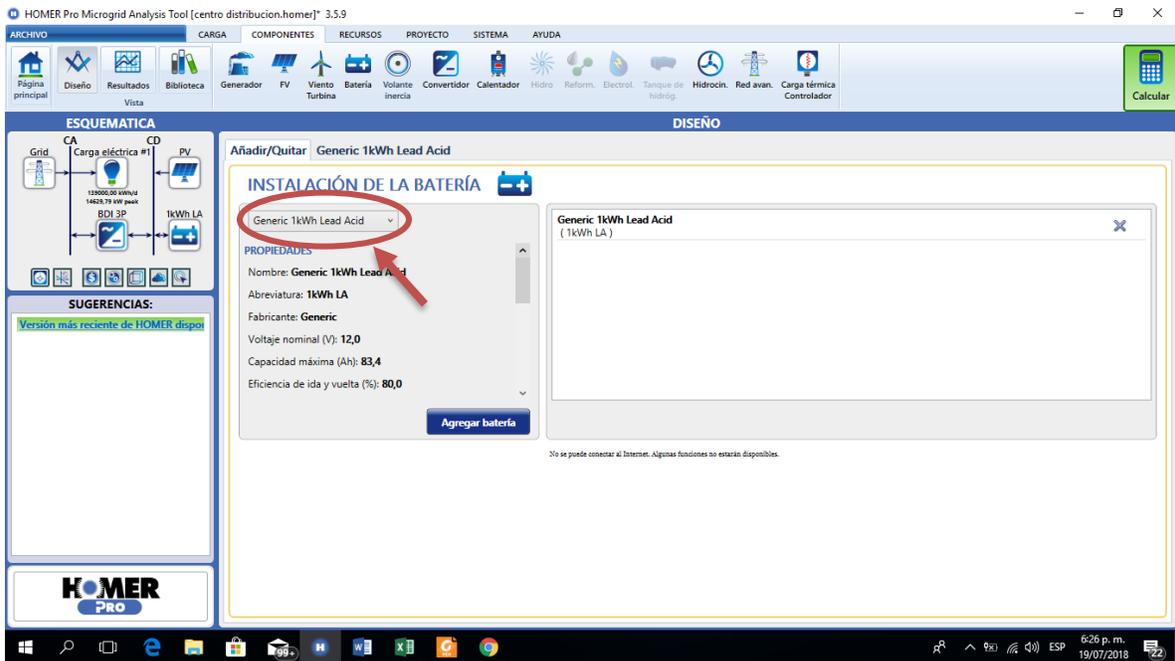


Figura 15. lista desplegable, selección de batería

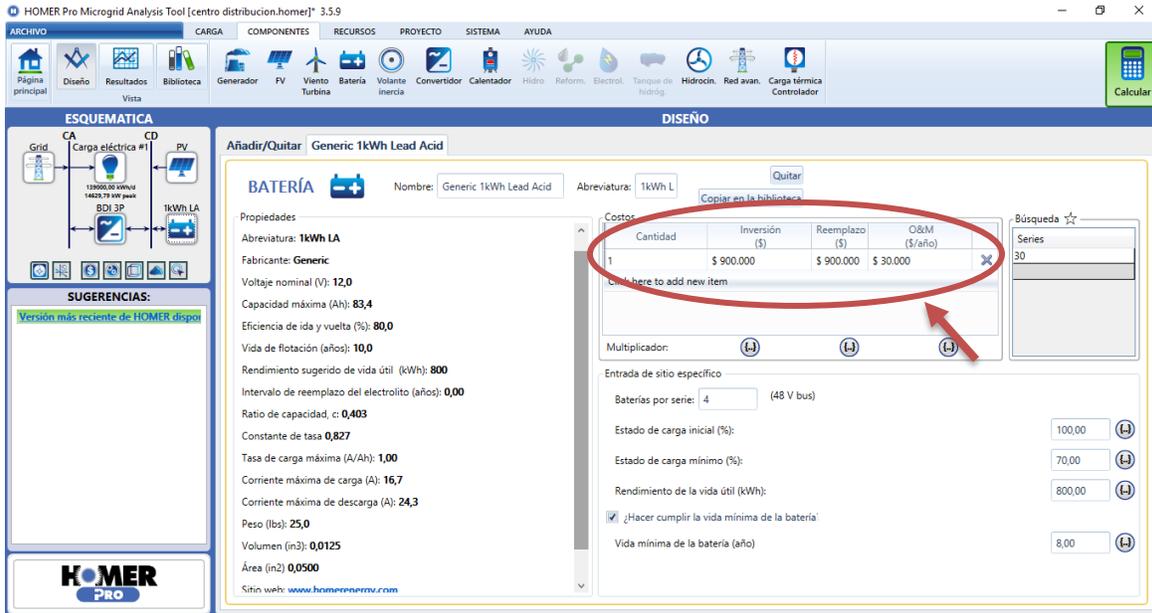


Figura 16 incorporación de datos

Algunos campos demandados en los recuadros de los componentes son necesarios para completar de manera explícita el diseño, como se puede observar en la Tabla 3 e incluyen valores de cantidad, inversión, reemplazo y operación y mantenimiento.

Costos por Cantidad (UND)	1
Inversión por batería \$	\$ 900.000
Reemplazo de equipos \$	\$ 900.000
Operación y Mantenimiento \$	\$ 89.600

Tabla 3. Inserción de datos

Otras especificaciones que son necesarias para ingresar en la elección de la batería y que se deben incluir son los estados de carga y descarga, y la salida de voltaje para el controlador de carga, Ya que este está diseñado para tener múltiples funciones entre ellas la carga de la batería. En la Figura 17 se puede referenciar los valores mencionados.

Entrada de sitio específico

Baterías por serie: (48 V bus)

Estado de carga inicial (%):

Estado de carga mínimo (%):

Rendimiento de la vida útil (kWh):

¿Hacer cumplir la vida mínima de la batería?

Vida mínima de la batería (año)

Figura 17 recuadros especificaciones de batería

Se continúa con la elección del convertidor de carga o inversor, para escogerlo se debe tener en cuenta la potencia total del sistema. Se selecciona la ventana componentes como se muestra en la Figura 10 y se escoge convertidor como se observa en la Figura 18, además, se puede encontrar una lista desplegable con convertidores de diferentes potencias. En este caso se eligió el Leonicos STP219CPH 10KW 48Vdc, es el inversor que más se acerca a las necesidades del sistema. En el recuadro también se pueden encontrar casillas para completar datos requeridos en la Figura 19.

HOMER Pro Microgrid Analysis Tool [centro.distribucion.homer] 3.5.9

ARCHIVO CARGA COMPONENTES RECURSOS PROYECTO SISTEMA AYUDA

ESQUEMATICA

Grid CA Carga eléctrica #1 CD PV

12000.00 kWh/14428.79 kWh peak

BDI 3P 1kW LA

SUGERENCIAS:

Version más reciente de HOMER dispo

CONVERTIDOR

Nombre: Leonicos STP219CPH 15KW Abreviatura: BDI 3P

Leonicos STP219CPH 15KW 48Vdc

Nombre: **Leonicos STP219CPH 15KW 48Vdc**

Abreviatura: BDI 3P

Fabricante: Leonicos

Peso (lbs): 404

Área (m2): 7150

Sitio web: www.leonicos.com

Notas: 15kW 48Vdc, Can Parallel Output up to 8 Units, Multi-Master Bidirectional inverter

Costos

Capacidad (kW)	Inversión (\$)	Reemplazo (\$)	O&M (\$/año)
15	\$ 18.000.000	\$ 18.000.000	\$ 1.000.000

Click here to add new item

Multiplicador:

Entrada del inversor

Vida útil (años):

Eficiencia (%):

¿Paralelo con el generador de CA?

Entrada del rectificador

Capacidad relativa (%):

Eficiencia (%):

Figura 18 selección de convertidor

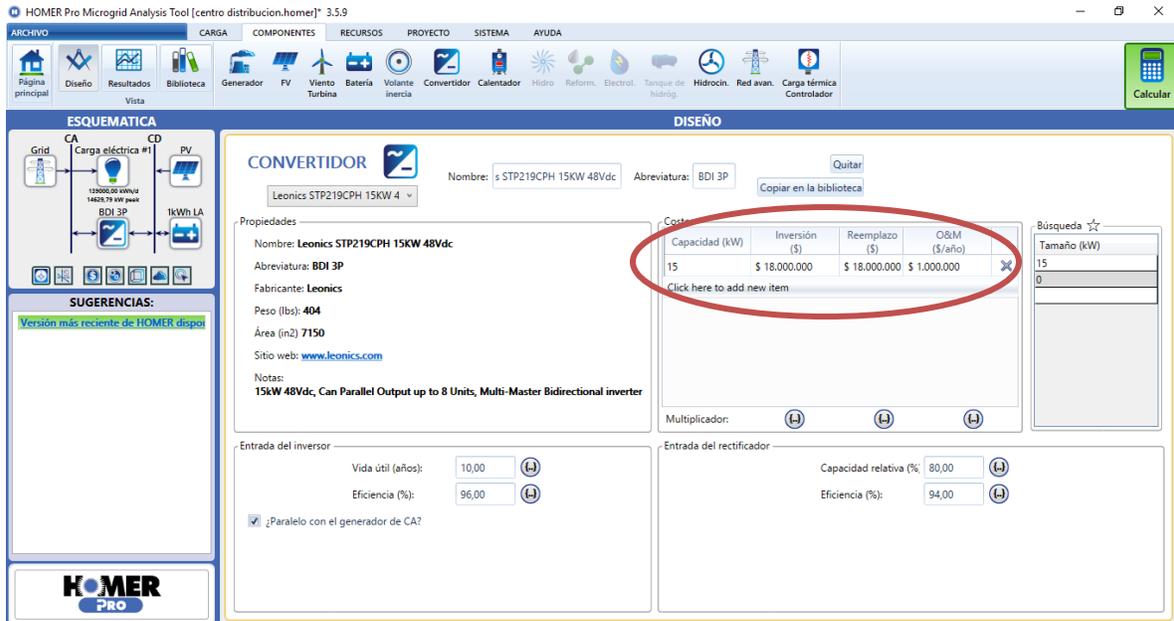


Figura 19 datos requeridos para el diseño

Así se termina la elección de cada uno de los componentes que son requeridos para el diseño de un sistema híbrido con el software. Se puede observar que existe la posibilidad de ingresar diferentes datos para así tener una solución más acertada.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El proyecto se llevó a cabo con el fin de desarrollar un paso a paso usando el software HOMER, con el cual se analizaron dos posibles escenarios para suplir la demanda eléctrica de la iluminación en la locación definida anteriormente como ejemplo. En las simulaciones se recrearon diferentes factores para observar cual configuración puede ser la más viable. Los resultados obtenidos por las simulaciones según las especificaciones dadas, muestra un panorama claro sobre los costos que conllevaría implementar un sistema híbrido, usando como principal recurso paneles solares y baterías, pero siempre teniendo en cuenta que el sistema cuenta con respaldo de la red solo para emergencias.

El proyecto se diseñó con baterías con el fin de sostener el consumo eléctrico en las horas de la noche, para que así no sea necesario usar la red eléctrica. Los dos escenarios que se recrearon tienen diferencias en el diseño, ya que una se diseñará con el fin de suplir energía por 12 horas y el otro diseño se realizará para suplir la demanda en caso de falla de la iluminación por 4 horas máximo, lo que arroja datos diferentes para así tener la opción más viable. La primera parte de la discusión se basa en un sistema que suplirá por 12 horas en consumo eléctrico. En la Figura 20 y Figura 21, se pueden observar los resultados obtenidos, con los valores que fueron ingresados anteriormente. Allí se pueden encontrar los costos que genera cada componente usado en su totalidad, como lo son los paneles, baterías y convertidor.

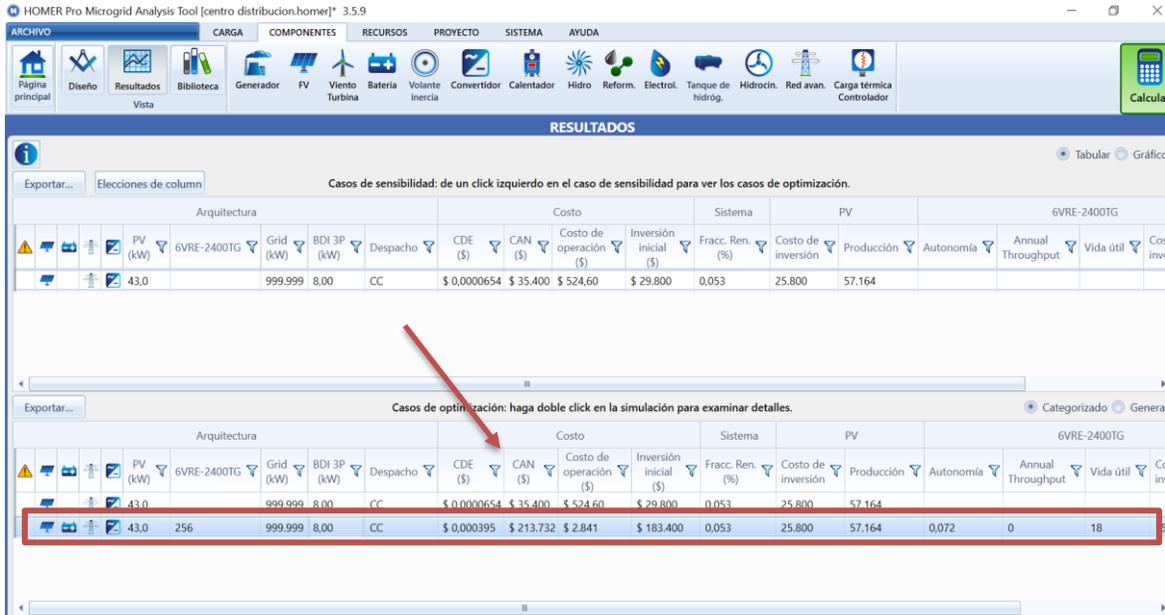


Figura 20 resultados arrojados por las simulaciones

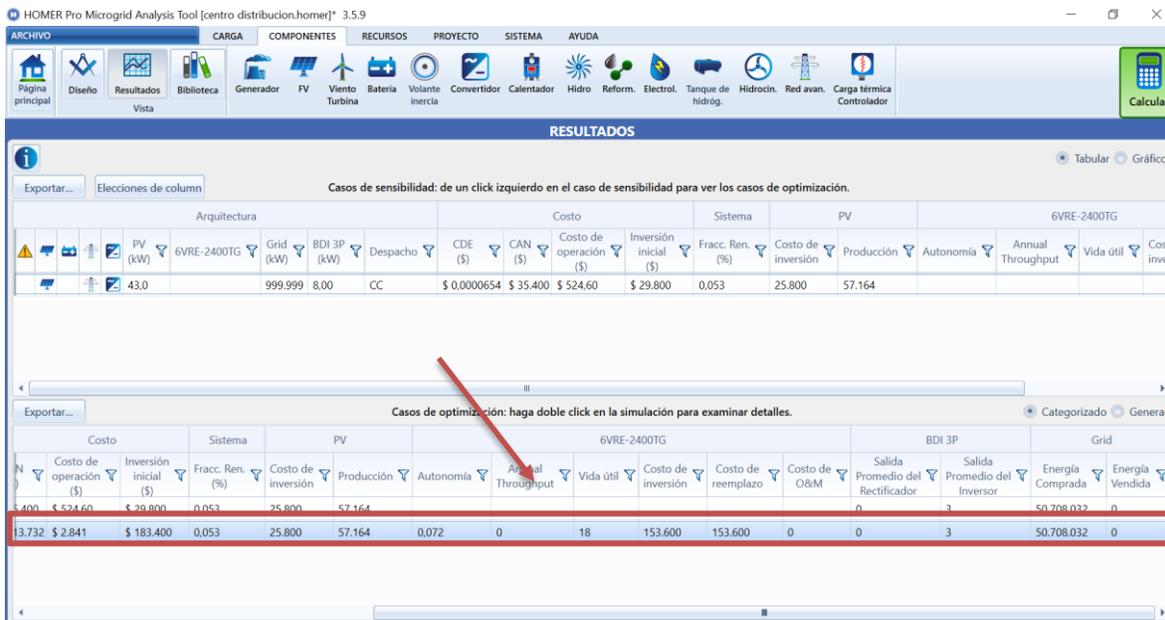


Figura 21 parte b resultados arrojados por las simulaciones

Las simulaciones con baterías incorporadas, se diseñaron para una autonomía de 12 horas. Es necesario tener presente que su uso será a descarga profunda, esto quiere decir que se

usará gran capacidad de la carga de las baterías, se tiene en cuenta que hay un sobredimensionamiento para que no use el 100% de la carga. Los paneles darán una potencia necesaria para cargar las baterías y suplir la demanda total para la iluminación en el día.

La solución más adecuada para el caso estudio, se basó principalmente en encontrar un diseño que tuviera la capacidad de suplir por 12 horas el consumo eléctrico del sistema de iluminación. Para este tipo de diseños, es necesario tener presente que los costos generados por las baterías incrementan de manera significativa la inversión de un sistema fotovoltaico híbrido. En la Figura 22 se presentan los costos calculados de cada componente y del diseño en su totalidad.

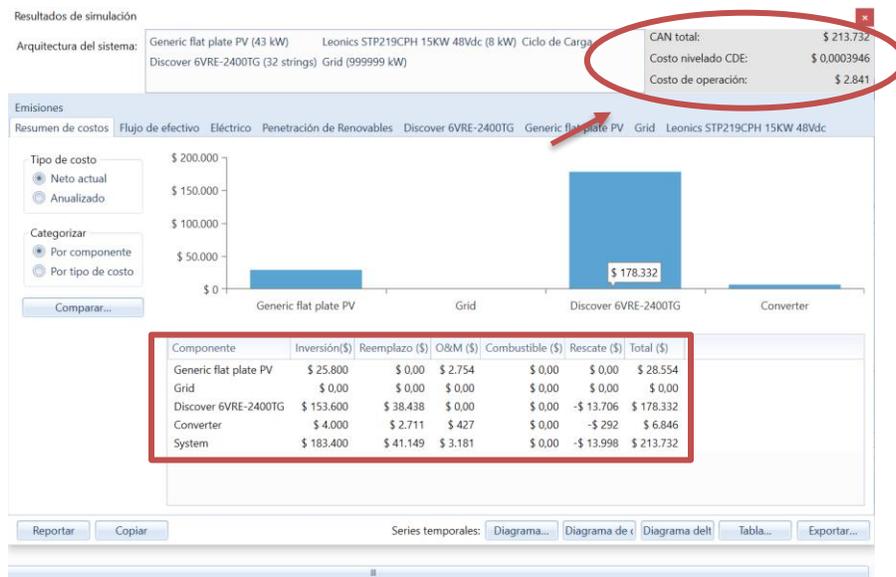


Figura 22. costos por elementos en Dólares (USD)

El costo total de los equipos usados es de aproximadamente de COP \$550.200.000, en los cuales se tiene en cuenta los paneles de 320W requeridos para producir los 44kW, el convertidor y las 256 baterías de plomo ácido como se puede referenciar en la Figura 15.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El ahorro anual en costos causados por la generación de energía de los paneles está dado por la siguiente ecuación:

$$\text{Ahorro anual} = \text{valor kWh} \times \text{horas almacenamiento} \times (P_{\text{instalada}}) \times \text{días} \quad (1)$$

$$\text{Ahorro anual} = \$500 \times 12h \times 8kWp \times 365 \quad (2)$$

$$\text{Ahorro anual} = \$17.520.000 \quad (3)$$

Los datos arrojados por la ecuación (1) – (3) se toman como referencia al peor de los casos, ya que hay variabilidad de las horas pico sol, precio de la energía, entre otros, de esta manera se hace una estimación más real del trabajo del sistema fotovoltaico teniendo en cuenta que se toma el peor de los escenarios. Es necesario tener en cuenta que las baterías tienen una vida útil de 3 a 5 años en condiciones ideales y con los cuidados requeridos para su uso. El retorno a la inversión se daría a los 30 años, las baterías son sistemas que encarecen la solución por su vida útil, pues al cumplirla deberán ser reemplazadas lo que generarían nuevos costos en la inversión a largo plazo, lo que muestra que este sistema no es el más adecuado para implementar en la empresa. En tiempos actuales el desarrollo de baterías es mayor, se han desarrollado baterías con vida útil mucho mayor, pero estas son aún más costosas, lo que no hacen rentable usarlas comúnmente

Los espacios ocupados en los cuales se trabaja el diseño, que en este caso es el techo del centro de distribución como lo muestra la Figura 4, se pueden observar en la Figura 23 la ubicación espacial de los paneles y las posibles áreas requeridas para su posible instalación. Cabe resaltar que para la ubicación de las baterías es necesario contar con un cuarto donde se puedan instalar para una mejor protección.

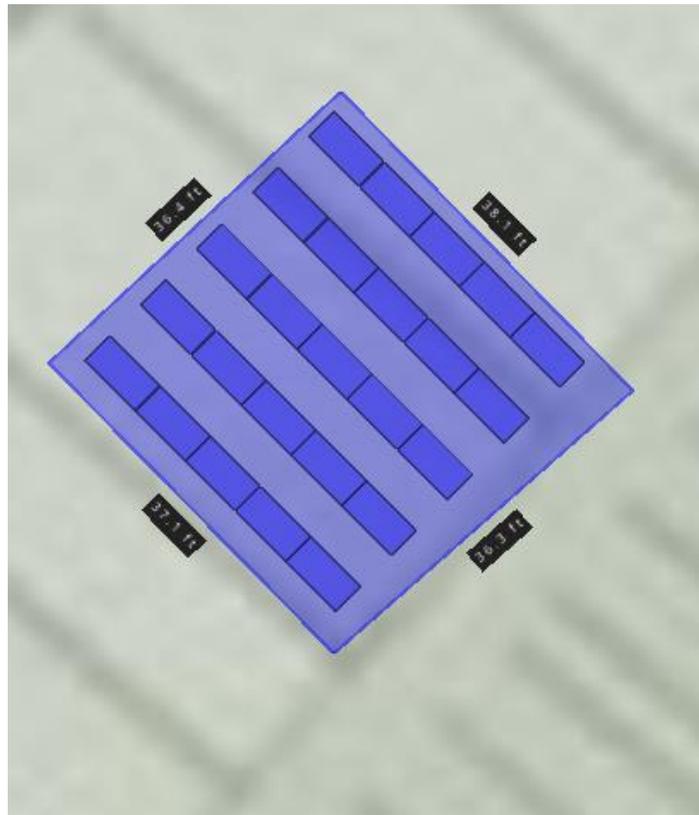


Figura 23 ubicación espacial de paneles con el área requerida para la instalación (software Helioscope)

La segunda parte de la discusión gira entorno a suplir la demanda de la iluminación con el uso de baterías con una autonomía de 4 horas, principalmente por el daño o falta del fluido eléctrico por parte de la red convencional. Se aprovechará de manera directa la energía generada por los paneles para suplir el consumo de las lámparas en el día y para cargar las baterías. En la Figura 24, se pueden observar algunos de los datos arrojados por las simulaciones con los datos suministrados.

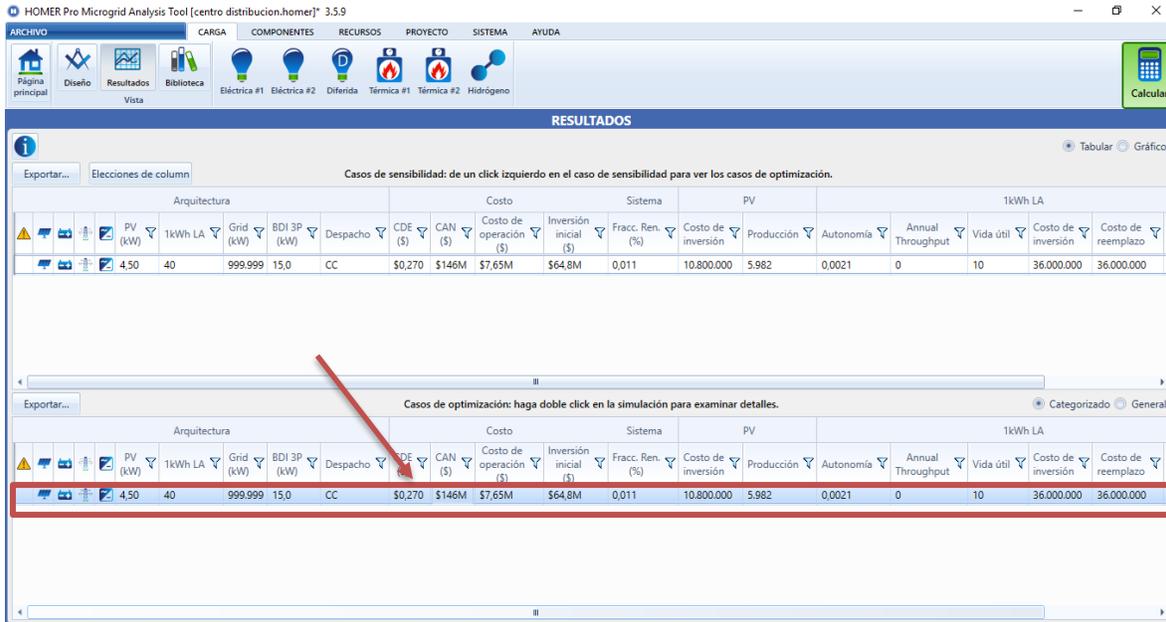


Figura 24. Recuadro de resultados arrojados por software

El diseño se basó en suplir con paneles la potencia de 4.6kWh requeridos en las horas de día y en tener una autonomía en la noche de 4 horas.

$$\text{capacidad 1} = \text{energía necesaria} \times \text{días de autonomía} \quad (4)$$

$$\text{capacidad} = 4600 \left(\frac{W}{\text{día}} \right) \times 2 \text{ días}$$

$$\text{capacidad} = 9200 \text{wh} \cdot \text{día}$$

$$\text{capacidad 2} = \frac{\text{capacidad 1}}{\text{voltaje del sistema}} \quad (5)$$

$$\text{capacidad 2} = \frac{9200 \text{wh}}{48 \text{v}} = 191,66 \text{Ah}$$

$$\text{capacidad 3} = \frac{\text{Capacidad 2}}{\text{profundidad de descarga}} \quad (6)$$

$$\text{capacidad 3} = \frac{191,66 \text{Ah}}{0,5\%} = 383,33 \text{Ah}$$

lo que conllevaría el uso de 4 baterías de 100A. Cuando se tienen en cuenta las baterías en el sistema es bueno sobredimensionar, se recomienda sistemas residenciales una descarga de no más del 70% y para sistemas industriales del 50% (Callejón & SantaMaría, 2010). Ya que el proyecto es industrial se puede elegir una profundidad de descarga del 50. Para esto se calcula su carga en Amperios-hora [Ah] y se dimensiona un 50% más. En la Figura 25 se observa de manera más específica los costos en gráfica de los elementos requeridos para el diseño mencionado.

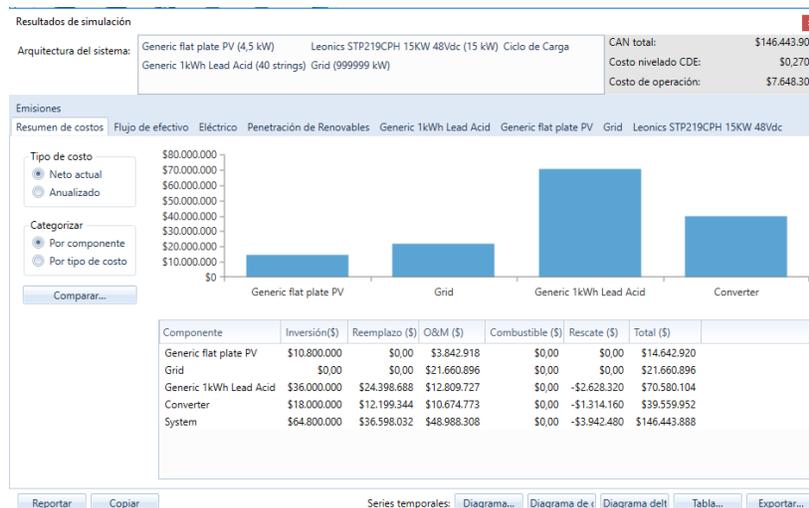


Figura 25. Tabla comparativa de costos por elemento

El costo total de los equipos usados es de aproximadamente COP \$130.026.728, en los cuales se tienen en cuenta paneles de 320W requeridos para producir los 4.48kW, el convertidor de 5kW y las 4 baterías de plomo acido. Como se puede referenciar en la Figura 25.

El ahorro anual en costos generados por la generación de energía de los paneles está dado por la siguiente ecuación:

$$\text{Ahorro anual} = \text{valor kWh} \times \text{horas pico sol} \times (P_{\text{instalada}}) \times \text{días} \quad (5)$$

$$\text{Ahorro anual} = \$500 \times 4,69\text{hps} \times 4,5\text{kWp} \times 365$$

$$\text{Ahorro anual} = \$3.851.662$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Es necesario tener en cuenta que las baterías tienen una vida útil de 3 a 5 años en condiciones ideales y con los cuidados requeridos para su uso, pero cabe resaltar de que las baterías solo se usaran en algunos casos, podrían aumentar su vida útil lo que disminuiría algunos de los gastos por reemplazo. El retorno en la inversión es lento con este tipo de sistemas ya que conlleva otros gastos, como por ejemplo el cambio de las baterías. El retorno de la inversión se estaría dando 34 años de haber iniciado. Es necesario tener en cuenta que cada año la inflación aumenta, lo que genera cambios en el incremento de la energía y por ende mayores ahorros. En la Figura 26 se puede observar la ubicación de los paneles en el techo del centro de distribución.

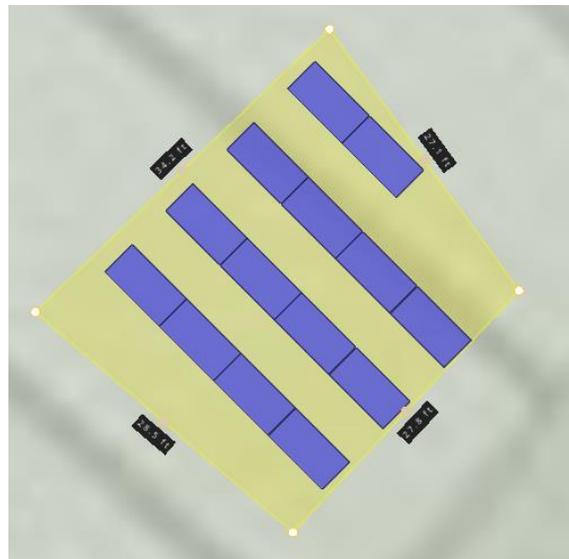


Figura 26. ubicación espacial de paneles con el área requerida para la instalación (software Helioscope)

Uno de los gastos representativos de cualquier diseño fotovoltaico y que siempre se deberá tener en cuenta es el de operación y mantenimiento del sistema, cabe resaltar que las simulaciones por el software lo tienen en cuenta y es de aproximadamente el 5% de la inversión total anual.

Según estudio presentado por la Comisión y Regulación de Energía y Gas “CREG” se requiere del 5% de la inversión total, para llevar a cabo diferentes tareas como limpieza de paneles,

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ajuste de terminales, recarga de agua para las baterías, entre otros. (Corpoema & Creg, 2012)

A continuación, se muestran los planos eléctricos requeridos en el diseño de un sistema FV, es un diagrama unifilar que resume de manera clara los elementos que integran una instalación fotovoltaica. El sistema cuenta con paneles solares, un controlador de carga, cuatro baterías, un inversor de corriente, sistemas de protección como fusibles, breakers, entre otros. Cada elemento juega un papel importante para el correcto funcionamiento del sistema. Es necesario especificar que tipo de conductor es el que se está usando y el número de fases que lleva el diseño. en la Figura 27 se pueden referenciar algunos de ellos.

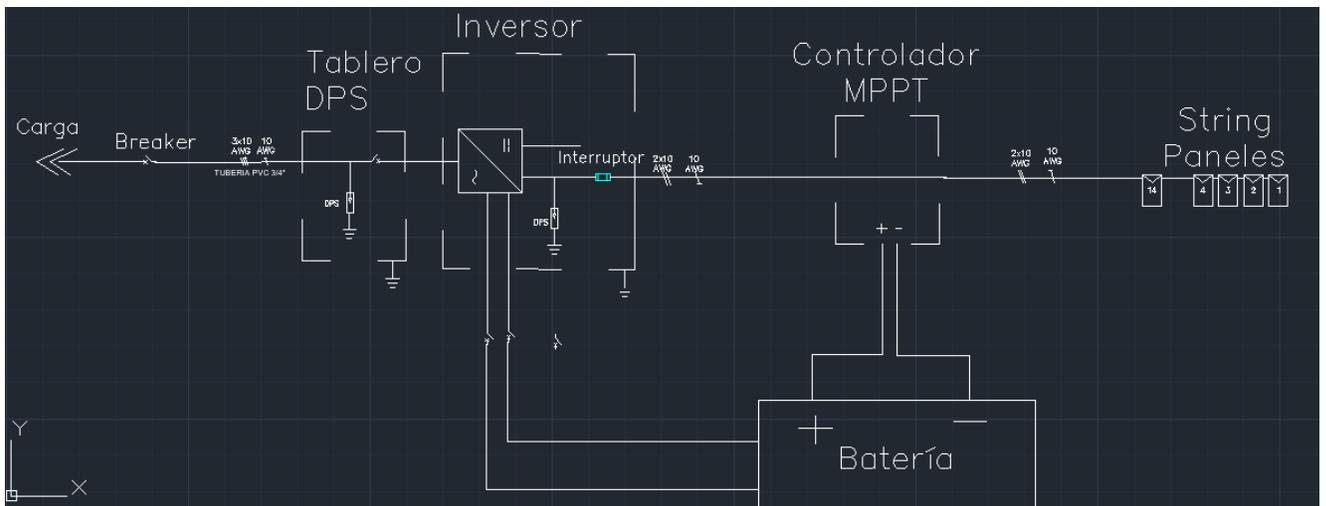


Figura 27 Planos eléctricos usando el Helioscope y Autocad

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

De acuerdo al desarrollo del proyecto, se analizaron dos casos particularmente para la integración de FNCER a la industria. Al usar la Energía Solar Fotovoltaica es más rentable implementarlo con inyección inmediata a la red, ya que reduce los costos considerablemente al compararlo con el almacenamiento en baterías, ya que estas aumentan hasta en un 50% la inversión inicial del proyecto y no tienen una rentabilidad tan factible ya que la vida útil de estas se reduce por el ciclaje al que están sometidas. La implementación de dichas tecnologías aporta al cambio de la matriz energética y aportan de manera significativa al uso racional de la energía. El gobierno apoya de manera directa a las nuevas tecnologías de generación de energía no convencionales y han creado leyes y regulaciones que permiten optar por algunos beneficios para hacer más rentable el uso de estas tecnologías. El software da una idea generalizada de los elementos que intervienen en una microrred para así tener unos costos generalizados del desarrollo del proyecto.

Al proponer este tipo de soluciones energéticas es necesario contar con datos exactos sobre consumos y niveles de tensión, además de tener claro cuáles son las áreas en las que se podría implementar el proyecto. Se debe contar con un plano completo ya que en caso de no tenerlo se puede tener algunas complicaciones por las consideraciones de diseño. Cabe resaltar que este tipo de FNCER pueden dar soluciones inmediatas y a largo plazo para la compañía, ya que el crecimiento de las mismas permite una valoración mayor al usarlas.

Los análisis económicos arrojados por el software dan un panorama claro de todos los costos específicos que son necesarios para implementar el proyecto; al realizar la propuesta

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

se deben tener claro cuáles son los retornos de la inversión ya que es primordial para tener un flujo de caja correcto para controlar cada una de las variables contempladas en el desarrollo y puesta en marcha. Los retornos de inversión de los sistemas fotovoltaicos son a largo plazo debido a la alta inversión inicial de los proyectos. Los retornos de inversión con sistemas de baterías como respaldo no son los más óptimos para implementar, pero permiten un respaldo adecuado para algunas soluciones como lo es la iluminación de los espacios mencionados en el desarrollo del trabajo. La opción más adecuada, es el número dos, ya que es mejor usar pocas baterías y dejar el sistema solo como respaldo. Con este tipo de instalación favorece la producción principalmente de los paneles ya que aportan directamente a el consumo del centro de distribución lo que puede aumentar considerablemente la vida útil de las baterías. El retorno de inversión de sistemas solares, cada vez se hace más rentable gracias a las normatividades que ha reglamentado el gobierno, facilitando el fácil acceso a este tipo de tecnologías.

Los diagramas unifilares arrojados por el software dan un primer acercamiento a los elementos que deben ser tenidos en cuenta al implementar el proyecto y da la posibilidad de agregar diferentes tipos de protecciones. Estos pueden ser modificados por medio de otros programas, lo que facilita su correcto diseño. Estos diagramas unifilares dan claridad de los elementos necesarios a usar en las instalaciones fotovoltaicas, por él reglamento RETIE y así tener como respaldo protecciones requeridas en su instalación.

Los diagramas unifilares deben estar correctamente actualizados y en norma para poder ser certificada la instalación fotovoltaica.

RECOMENDACIONES

Para usar este tipo de software es necesario tener conocimientos avanzados en el diseño de sistemas fotovoltaicos o de microrredes, ya que en caso de no tenerlos puede ser un poco más complejo tener las interacciones adecuadas con el programa.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para mejorar el desarrollo de este tipo de aplicaciones sería bueno contar con un buen material de apoyo ya que facilitarían su buena ejecución, el Homer Pro no cuenta con una buena base de datos para dar soluciones específicas al momento de tener algún problema.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

• REFERENCIAS

- Ladino, R. E. (2011). La energía solar fotovoltaica como factor de desarrollo en zonas rurales de Colombia. Caso: vereda Carupana, municipio de Tauramena, departamento de Casanare. *Pontificia Universidad Javeriana. Bogota, D.C., Marzo 2011*, 1–136. Retrieved from <http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/1085/1/LadinoPeraltaRafaelEduardo2010.pdf>
- Murcia, H. R. (2009). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas Development of Solar Energy in Colombia and its Prospects. *Revista de Ingeniería, 28*, 83–89. <https://doi.org/ISSN.0121-4993>
- Rodríguez García, L., & Echániz Pou, L. (2009). Estudio de viabilidad : Implantación de una empresa de instalación de placas fotovoltaicas.
- Romero, L. C. (2010). PARA LAS FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍA EN COLOMBIA (PDFNCE) COLOMBIA Presentado a : UPME Por : CONSORCIO ENERGÉTICO CORPOEMA, 1–98.
- UPME. (2015). Plan Energetico Nacional Colombia: Ideario Energético 2050. *Unidad de Planeación Minero Energética, Republica de Colombia*, 184. Retrieved from http://www.upme.gov.co/Docs/PEN/PEN_IdearioEnergetico2050.pdf
- UPME, & BID. (2015). *Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia. Ministerio de Minas y Energía*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ladino, R. E. (2011). La energía solar fotovoltaica como factor de desarrollo en zonas rurales de Colombia. Caso: vereda Carupana, municipio de Tauramena, departamento de Casanare. *Pontificia Universidad Javeriana. Bogota, D.C., Marzo 2011*, 1–136. Retrieved from <http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/1085/1/LadinoPeraltaRafaelEduardo2010.pdf>
- Murcia, H. R. (2009). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas Development of Solar Energy in Colombia and its Prospects. *Revista de Ingeniería, 28*, 83–89. <https://doi.org/ISSN.0121-4993>
- Rodríguez García, L., & Echániz Pou, L. (2009). Estudio de viabilidad : Implantación de una empresa de instalación de placas fotovoltaicas.
- Romero, L. C. (2010). PARA LAS FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍA EN COLOMBIA (

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

PDFNCE) COLOMBIA Presentado a : UPME Por : CONSORCIO ENERGÉTICO CORPOEMA, 1–98.
 UPME. (2015). Plan Energetico Nacional Colombia: Ideario Energético 2050. *Unidad de Planeación Minero Energética, Republica de Colombia*, 184. Retrieved from
http://www.upme.gov.co/Docs/PEN/PEN_IdearioEnergetico2050.pdf
 UPME, & BID. (2015). *Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia*.
Ministerio de Minas y Energía. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

