



USAENE LLC
Colombia
VCONCIER-CO-D3.11/117
Bogotá D.C. 08/08/2017

APROXIMACIÓN AL CONCEPTO DE NETZERO Y SU EJECUCIÓN EN PROYECTOS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA Y/O COMERCIAL

Autor/es: SANTIAGO ENRIQUE CARRILLO RINCÓN, INGENIERO MECÁNICO
Empresa o entidad: USAENE LLC
Cargo: Ingeniero de proyectos

PALABRAS-CLAVE: Energía solar, sistemas de conversión de energía solar, consumo de energía, Eficiencia energética, Disminución de consumo de energía

Código de subtema: D3.11.

Resumen—NetZero es una filosofía de diseño en la cual los conceptos de eficiencia energética, desarrollo sostenible y energías renovables se combinan para ofrecerles a los usuarios una alternativa de generación que se ajuste a sus necesidades energéticas. Mediante la aplicación de esta filosofía se busca que sistemas como la red eléctrica y las fuentes renovables trabajen en armonía para satisfacer un consumo de energía caracterizado por la utilización de tecnologías eficientes que aseguren el confort a los usuarios. Como ejemplo se tiene el proyecto piloto desarrollado por USAENE LLC en una vivienda localizada en un sistema eléctrico local en el que se cuenta con total regulación del tratamiento de excedentes de energía y medición bidireccional. El objetivo principal es reducir el consumo de energía del cliente hasta el valor mínimo posible mediante la inversión en medidas de eficiencia y posteriormente la utilización de sistemas de conversión de energía solar. En primera instancia se realizó un estudio de caracterización del sitio y la demanda energética del cliente. Esto con el fin de entender como los equipos utilizados y la variación del clima afectan el consumo de energía.

A continuación, se diseñan las medidas de eficiencia que se deberán implementar para disminuir el consumo de energía y se realiza un análisis técnico económico para determinar una

Dirección: Calle 82 N° 19A - 14
Código Postal: 110221
Teléfono: +57 1 621 0211
E-Mail: scarrillo@usaene.com

combinación de soluciones que se ajuste al presupuesto del cliente. Posteriormente al contar con la autorización del cliente se lleva a cabo la implementación de las medidas de eficiencia y se procede al diseño de los sistemas de energía solar. Se realiza el dimensionamiento de estos sistemas a partir de la información encontrada del recurso para la zona de interés siempre cumpliendo con las condiciones del cliente. Como medida adicional, el sistema cuenta con un sistema de monitoreo en línea que permite tanto a USAENE como al cliente conocer los consumos y desempeño del proyecto en tiempo real. En la actualidad el sistema ha sido desarrollado en su totalidad y se cuenta con información sobre su desempeño durante los últimos 10 meses. Los resultados preliminares del proyecto demuestran que, durante 3 meses, se ha logrado un consumo neto de energía igual a 0 kWh y no se han vuelto a registrar valores de consumo mayores a aquellos antes de la realización del proyecto.

I. INTRODUCCIÓN

Desde el inicio de la civilización, el ser humano ha requerido de alguna fuente de energía para satisfacer sus necesidades. Los primeros hombres utilizaron fuego para satisfacer sus requerimientos de calor o iluminación, y a lo largo de la historia se ha registrado como diferentes civilizaciones han resuelto sus necesidades energéticas mediante la invención de ingeniosos sistemas. Cuando se dio

inicio a la revolución industrial, el consumo de energía aumentó de una manera sin precedentes y gracias a los avances en áreas como la termodinámica y química se logró la invención de máquinas que nos permitieran satisfacer la demanda de energía. Los proyectos de generación de energía pueden abarcar intercambios de gran escala de masa, agua, energía y dinero, los cuales sin el adecuado cuidado pueden ocasionar problemas en el medioambiente y los usuarios a quienes sirven.

Hoy en día, la sostenibilidad resulta ser uno de los criterios más importantes para tener en cuenta al momento de desarrollar cualquier proyecto. Incluso proyectos de energía renovables como instalaciones solares, de no ser desarrollados de una manera adecuada, pueden resultar ser insostenibles y perjudicar a las comunidades y ecosistemas. El propósito del proyecto NetZero es mostrar cómo se pueden combinar las áreas de eficiencia energética, sostenibilidad y energía solar para desarrollar viviendas capaces de satisfacer sus necesidades energéticas y resultar ser una solución beneficiosa tanto económica como técnica para los usuarios.

A finales de 2015 se inició el proyecto NetZero de USAENE LLC, el cual consta de las siguientes fases; la primera consiste en realizar un estudio detallado del consumo energético de una vivienda con el fin de determinar cómo los equipos que la componen y los patrones de uso de los usuarios determinan el demanda energética de la vivienda, adicional se realizó una medición del consumo durante un año con el fin de ver como cambios climáticos durante este periodo de tiempo afectan la demanda de energía. En Segundo lugar, se dimensionaron las medidas de eficiencia energética, las cuales fueron presentadas al cliente con el respectivo análisis costo/beneficio para que este diera su autorización para implementarlas. En la tercera fase se realiza una nueva medición para determinar cómo las medidas de eficiencia redujeron el consumo de energía y se diseñan los sistemas solares de conversión de energía para disminuir en su totalidad el consumo de energía del cliente. En la última fase se realiza la instalación del sistema solar y se da inicio a la etapa de monitoreo donde se mide el desempeño del proyecto mensualmente.

La instalación del sistema solar se realizó en

Agosto de 2016 y su puesta en marcha oficial en Septiembre. Las mediciones preliminares demuestran que el sistema: logro abastecer las necesidades eficientes del usuario, producir energía renovable, y tener un requerimiento neto de 0 kWh del sistema eléctrico durante los meses de invierno (Enero, Febrero y Marzo), así mismo y el consumo de energía nunca ha sido mayor a los registrados antes del inicio del proyecto. A continuación, se presentará detalladamente cada una de las etapas de proyecto y los resultados obtenidos durante el último año de operación.

II. PRIMERA FASE

A. Caracterización de la vivienda

La vivienda en la cual se implementó el proyecto NetZero cuenta con un área de 195 m², los cuales están distribuidos en espacios tales como 3 habitaciones, sala, comedor, mini comedor, cocina, habitación para equipos de lavado y limpieza de ropa y dos baños. Adicional cuenta con un espacio para huéspedes de área igual a 24.15 m² y un garaje anexo con área igual a 41 m² y una piscina de 10,000 galones. La vivienda se encuentra ubicada en el condado de Coral Springs, Florida en las coordenadas 26° 18' 09" Norte y 80° 17' 29" Oeste. La razón para la implementación del proyecto piloto en esta vivienda obedece a la existencia de la política "Net Metering" en el estado de Florida la cual permite el intercambio de energía entre los usuarios y las empresas de energía y el clima de la zona es regular durante todo el año y no se presentan cambios drásticos como los vistos en zonas con latitud más elevada.

B. Medición consumo de energía eléctrica.

La compañía encargada de prestar el servicio de energía eléctrica para la vivienda es la Florida Power and Light (FPL). La FPL como empresa lleva registros detallados de los consumos de energía de sus clientes. La empresa mediante una aplicación ha permitido el acceso a sus clientes a sus bases de datos de consumo de energía horario del último año y medio de prestación del servicio. Como primer paso del proyecto, se obtuvieron los consumos del cliente desde el registro más antiguo, primero de Mayo de 2014 hasta el 31 de Diciembre de 2015.

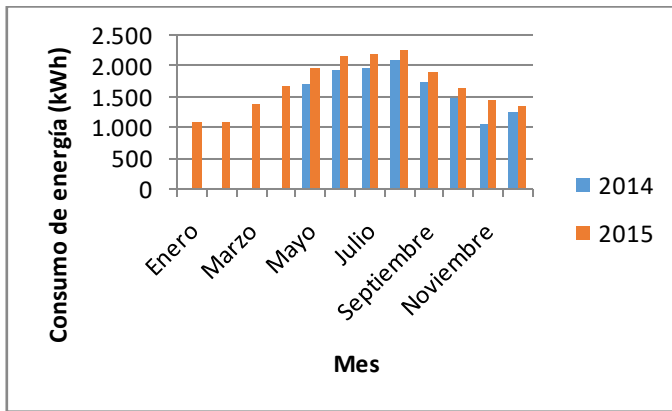


Figura II-1 Línea base 2014-2015.

Se podría decir que Florida tiene dos estaciones climáticas que rigen las temperaturas en la zona. Los meses de Mayo a Septiembre corresponden a la época de verano mientras que los meses de Octubre a Abril corresponden a la época de invierno. Hacer esta distinción del clima es importante ya que en época de verano cuando las temperaturas son elevadas el consumo de energía se dispara mientras que en la época de invierno se reduce el consumo.

C. Auditoria energética

Los consumos de energía anteriormente mencionados son producto del nivel de ocupación de la vivienda, el clima, los materiales de construcción de la vivienda y los equipos utilizados por los habitantes de la vivienda. El objetivo de una auditoria energética es determinar los usos finales de la energía para así conocer en detalle cómo está distribuido el consumo.

Una vivienda es un problema clásico de transferencia de calor. Las paredes y el techo de una construcción forman una envoltura que encapsula un espacio del exterior el cual acondicionamos para obtener cierto nivel de confort mediante la utilización de equipos. Esto conlleva al consumo de energía para mantener las condiciones de confort.

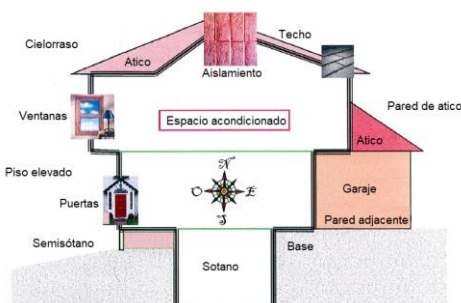


Figura II-2 Envoltura de una vivienda.



Figura II-3 Equipos y accesorios de una vivienda.

Mediante la realización de la auditoria energética en la vivienda se determinó los equipos y las características de la envoltura de la vivienda. Entre los puntos a resaltar se tiene que la vivienda no contaba con sensores para la iluminación, la existencia de una bomba de una sola velocidad para la operación de la piscina, los equipos de iluminación eran del tipo fluorescente, la vivienda no contaba con termostato inteligente y para satisfacer el requerimiento de agua caliente la vivienda utilizaba un sistema de calentamiento eléctrico.

III. SEGUNDA FASE

Gracias a la auditoria energética se lograron determinar los usos finales de la energía y los posibles puntos en donde se podría hacer un cambio tecnológico para disminuir el consumo de la vivienda.

Las medidas de eficiencia energética sugeridas al cliente fueron:

1. Instalación de un sistema de monitoreo en línea del consumo de energía.
2. Actualización de la iluminación por luminarias tipo LED.
3. Cambio de la bomba de la piscina por una de velocidad variable.
4. Instalación a un termostato inteligente tipo NEST.

Los cálculos y dimensionamiento de cada una de estas medidas no hacen parte de este documento por lo que únicamente se presentaran los resultados en el consumo de energía de la vivienda en las fase siguiente del proyecto.

IV. TERCERA FASE

A. Aplicación de medidas de eficiencia energética

Las medidas de eficiencia tienen como fin disminuir el consumo de energía de la vivienda. A continuación se dará una breve explicación de los efectos que las medidas de eficiencia tendrán sobre el consumo de la vivienda.

Instalación sistema de medición: Si bien la FPL permite conocer los consumos horarios, no lo permite hacer en tiempo real. Si una variable no se puede medir entonces no se puede controlar, por tal razón se instaló un sistema de medición de consumo, marca Egauge mediante el cual se realiza la medición del consumo de la vivienda en tiempo real y de diferentes circuitos. Esta medida se llevó a cabo a inicios de 2016.

Iluminación LED: Cambiar la iluminación efectivamente reduce la capacidad instalada de los equipos en la vivienda. Se realizó un inventario de iluminación de la vivienda y se cambiaron todas las luminarias por equipos LED de bajo consumo. Los nuevos equipos de consumo tienen un rango de consumo entre 8.5 y 14 W el cual depende de la aplicación y brillo requerido por el usuario. El cambio de la iluminación se llevó a cabo a finales de Enero de 2016.

Cambio bomba de la piscina: Las bombas funcionan con un motor eléctrico. En la auditoría se encontró que la bomba del usuario era de una sola velocidad, por tal razón cuando era necesario utilizarla esta consumía una energía igual a la potencia del motor eléctrico por el tiempo que fuera requerida. Las funciones de la bomba son permitir la circulación del agua y filtrarla, pero para cumplir con ellas no es necesario que la bomba funcione a máxima capacidad. Por tal razón se decidió hacer el cambio por una bomba de velocidad variable que permita diferentes niveles de operación y que reduzca el consumo de energía. Esta medida de eficiencia se llevó a cabo durante Febrero de 2016.

Termostato inteligente: Ya se ha discutido que en la zona de interés existen dos estaciones climáticas que rigen el consumo de energía. En tiempo de verano debido al aumento de temperaturas el consumo de la vivienda debido a la operación del sistema de aire acondicionado se dispara. La vivienda contaba con un termostato clásico en el cual únicamente mantenía la temperatura de la vivienda a una temperatura. Este

tipo de funcionamiento es ineficiente ya que en momentos donde no se encuentre nadie en la vivienda, el termostato mantendrá la temperatura y básicamente el sistema de aire acondicionado operará para satisfacer las necesidades de ninguno de los habitantes de la vivienda. La instalación de un termostato inteligente soluciona esta problemática, ya que cuenta con un computador que le permite conocer los patrones de los habitantes de la vivienda y regular efectivamente la temperatura de la vivienda. Si el computador sabe que hay personas en la vivienda ajustará la temperatura para satisfacer el confort, en caso de conocer que no hay nadie en la vivienda ajustará la temperatura interior para disminuir el trabajo del equipo de aire acondicionado. Este tipo de operación reduce en gran medida el consumo de energía en tiempo de verano. Esta medida de eficiencia fue aplicada en Marzo de 2016.

B. Medición consumos después de aplicadas las medidas de eficiencia

Antes de hacer una medición de los sistemas de conversión de energía solar para la vivienda, es necesario hacer una nueva medición para determinar cómo las medidas de eficiencia redujeron el consumo de la vivienda. Esto debido a que el propósito del proyecto es instalar un sistema el cual únicamente produzca una energía igual a la consumida durante un año por la vivienda, es decir reducir la huella energética de la vivienda en el sistema a cero.

Se obtuvieron los datos de consumo de los meses de Enero a Junio de 2016 y se compararon con los datos históricos de la vivienda para así observar como las medidas de eficiencia afectaron el consumo de energía eléctrica.

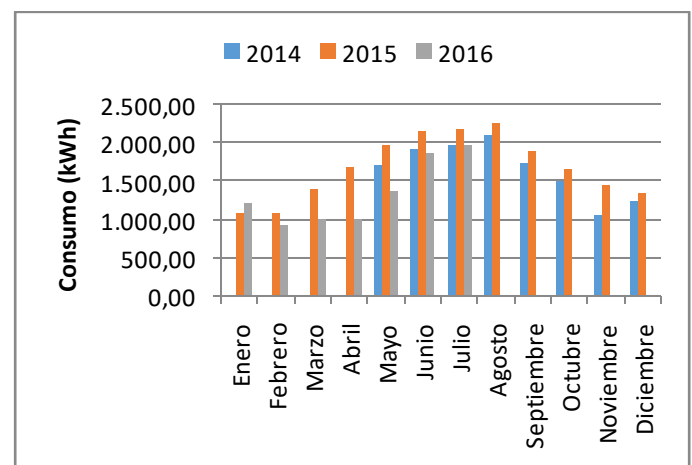


Figura IV-1 Consumos post medidas de eficiencia.

Efectivamente las medidas de eficiencia redujeron el consumo de energía de la vivienda y permiten un dimensionamiento de un tamaño menor de los equipos de conversión de energía solar.

C. Sistema solar fotovoltaico

El consumo de energía anual de la vivienda para el año 2015 fue de 20,131.15 kWh. De los datos medidos durante el 2016, a Junio de 2016 la vivienda había consumido 7,370 kWh, por lo tanto se determino que de continuar la tendencia durante el resto del año, la vivienda consumiría alrededor 16,000 kWh al finalizar el 2016. Con este número en mente se procedió a diseñar una instalación solar que permitiera producir esta cantidad de energía anualmente.

El diseño de un sistema solar fotovoltaico es una labor en la cual es necesario realizar estudios de irradiación, clima, tecnologías, análisis de estructuras entre otros. Debido a que no es posible entrar en el detalle necesario en cada uno de estos temas, se procederá a describir el proceso de diseño que nos permitirá obtener un sistema que satisfaga las necesidades energéticas de la vivienda.

En primera instancia se determino el ángulo de orientación respecto al sur y la inclinación de los paneles. Debido a que la instalación ocupara un espacio en el techo de la vivienda, estos son valores que serán determinados por la inclinación y orientación de la vivienda. Según el documento "Optimum fixed orientations and benefits of tracking for capturing solar radiation in the continental United States", El azimut optimo de una instalación en la florida es de 175° y la inclinación de los paneles debería ser igual a la latitud en sitio. Debido a las restricciones impuestas por la vivienda, la inclinación para un sistema solar sería de 22.61° y su azimut de 162°.

En segunda instancia se realizó una investigación de los contratistas que prestaran el servicio de venta e instalación de sistemas solares. Se encontró la empresa Zinasunshine, la cual nos prestó sus servicios de asesoría y después de varias conversaciones, se determino que la mejor opción sería una instalación solar con paneles americanos solarworld conectados con micro inversores enphase. Los sistemas con micro inversores tienen mayor libertad que los sistemas con un inversor central en el sentido de que presentarse fallas en un micro inversor solo sale un

panel de servicio y en caso de sombras, únicamente los paneles se verá afectada la producción de energía de los paneles afectados y no de toda la instalación, eventos que si suceden en instalaciones con un inversor central.

Por último mediante la utilización del software HOMER Pro, se realizaron simulaciones de diferentes instalaciones y se determino que el tamaño adecuado para satisfacer las necesidades tanto económicas como técnicas del cliente sería de 7.2 kWp. Este tamaño no genera la energía suficiente para satisfacer el consumo actual de la vivienda. La razón para seleccionar este tamaño se debe a que en el futuro se espera hacer el cambio del sistema de aire acondicionado por uno más eficiente el cual reduzca aun más el consumo de la vivienda además también se tiene planeado hacer la instalación de un sistema de calentamiento híbrido de agua solar el cual disminuirá el consumo de la vivienda.

D. Sistema híbrido de calentamiento de agua solar

Un sistema híbrido de calentamiento de agua solar consiste de un colector solar el cual en su interior tiene un serpentín que permite el intercambio de calor entre el fluido (agua) y la radiación del sol. Adicional cuenta con un tanque con aislamiento térmico para almacenar el agua caliente. Este sistema se considera híbrido ya que cuenta con una resistencia que en caso de ser necesario se activa para calentar el agua en caso de poco recurso solar o en horas de la noche.

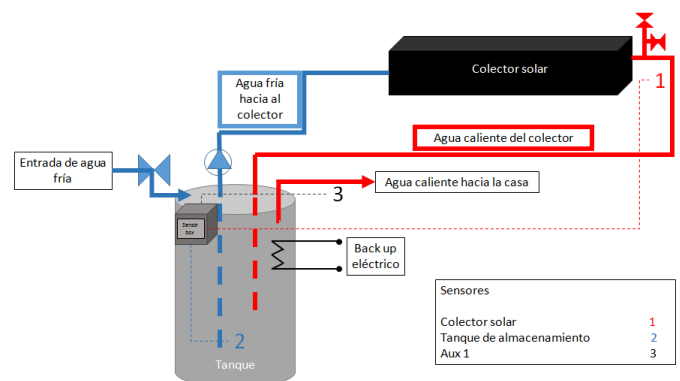


Figura IV-2 Sistema híbrido de calentamiento de agua solar

E. Sistemas de conversión de energía solar en la vivienda

A finales de Agosto se terminó la instalación de los sistemas de conversión de energía solar. En la imagen siguiente se puede apreciar la instalación sobre la vivienda:



Figura IV-3 Configuración sistemas de conversión de energía solar.

Desde finales de agosto y hasta la fecha, el sistema solar fotovoltaico ha estado en operación sin presentar falla alguna.

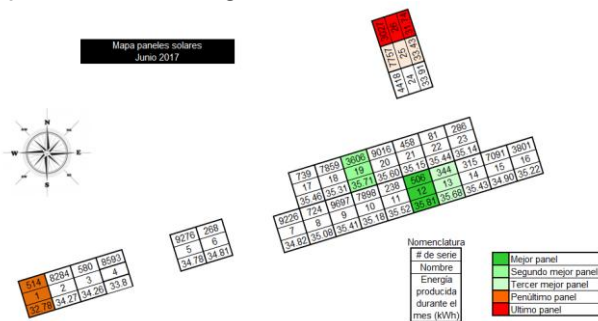


Figura IV-4 Desempeño por panel en Junio

F. Monitoreo de la vivienda

El sistema de monitoreo en línea nos permite observar el comportamiento en tiempo real de la instalación en la dirección: <http://egauge26957.egaug.es>. Mediante esta página es posible observar el comportamiento de la demanda, la producción de energía solar y el consumo de varios circuitos de interés en la vivienda. Adicional tenemos la aplicación "BunnyKiosk" donde se da un resumen detallado del proyecto.



Figura IV-5 Desempeño de la instalación

Contamos con datos de desempeño de la instalación desde el primero de Septiembre de 2016 hasta la fecha.

V. RESULTADOS

El proyecto logro cumplir el objetivo de disminuir el consumo de energía del cliente, en los meses de invierno hasta una reducción del 100% mientras que en los meses de verano 60%. Desde que se tomaron las medidas de eficiencia los consumos de nunca han sido mayores a los registrados en los años 2014 y 2015. La entrada en operación de los sistemas de conversión de energía solar también representa un hito ya que la producción de electricidad del sistema fotovoltaico efectivamente ha logrado disminuir el requerimiento energético de la vivienda hasta cero.

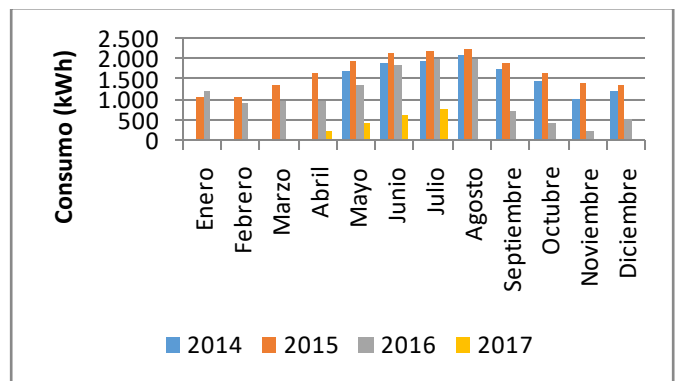


Figura V-1 Histórico de consume de energía eléctrica

Al traducir los ahorros de electricidad en ahorros monetarios para el cliente podemos ver lo siguiente:

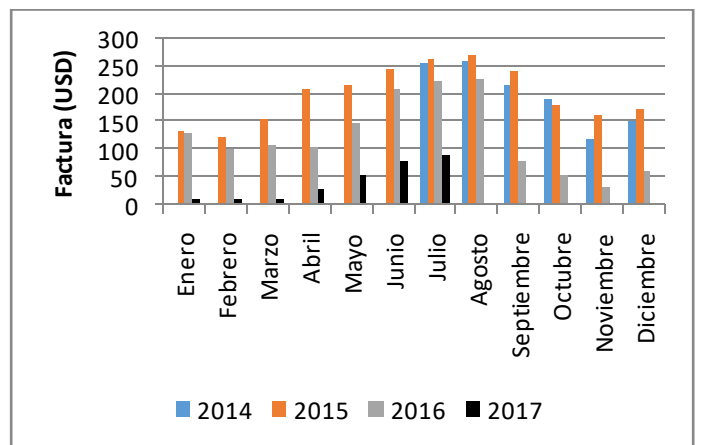


Figura V-2 Desempeño económico del sistema

A continuación presentamos una tabla resumen con todos los datos obtenidos de la medición del desempeño del proyecto.

ITEM	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Ab	May	Jun
Demanda (kWh)	1,559.48	1,303.53	920.53	1,112.22	769.03	768.68	1,086.60	1,152.16	1,552.32	1,540.99
Energía suplida por la FPL (kWh)	1,086.32	879.24	565.30	795.93	501.00	516.27	664.27	745.54	998.42	1,088.10
Demanda satisfecha por la instalación solar (kWh)	473.16	425.53	355.22	316.29	268.03	252.41	422.33	406.62	553.89	452.90
Energía solar generada (kWh)	794.92	777.86	766.81	621.26	725.21	786.63	1061.17	949.21	1121.31	903.56
Energía solar vendida (kWh)	321.76	352.33	411.59	304.97	457.18	534.22	638.84	542.60	567.42	450.67
Balance de energía mensual (kWh)	764.56	525.67	153.72	490.96	43.82 (30)	0 (0)	0(0)	202.95 (169)	431.01 (420)	637.43 (639)
Factura (USD)	80.74	53.22	31.27	57.13	13.74 (12.54)	9.41 (9.41)	9.41 (9.41)	30.12 (27.71)	55.88 (54.87)	78.54 (78.69)
Ahorros por medidas de eficiencia (USD)	70.46	40.30	70.03	28.84	67.01	16.35	0	0	0	80.69
Ahorros por paneles solares (USD)	50.37	50.07	47.88	34.12	31.31	26.40	46.01	47.62	72.75	59.27
Ahorros por neteo (USD)	33.20	31.65	37.39	30.60	61.29	52.46	68.11	59.48	63.21	51.72
CDD	225.46	164.45	25.38	72.67	26.42	9.00	22.83	58.67	159.00	246.53
Radiación promedio diaria (kWh/m ² /día)	4.60	4.34	3.68	3.3	3.53	4.29	5.12	5.95	6.11	5.39
Peor panel	#1 (514)	#24 (4418)	#1 (514)	#24 (4418)	#1 (514)	#1 (514)	#1(514)	#26 (3027)	#26 (3027)	#26 (3027)
Mayor generación registrada (kWh/día)	40.46	37.50	33.53	28.17	33.12	35.66	43.95	45.97	46.47	40.09
Menor generación registrada (kWh/día)	9.95	9.30	13.71	7.50	11.15	3.16	20.29	8.83	17.62	1.94
Tipo de mes	Lluvioso	Nublado	Nublado	Nublado	Parcialmente nublado	Parcialment e nublado	Parcialmente nublado	Parcialment e nublado	Parcialmente nublado	Nublado lluvioso

VI. CONCLUSIONES

Como fue expuesto en un principio, una vivienda es un problema clásico de transferencia de calor. Entender como diferentes variables influyen en el consumo energético de una vivienda no es un problema sencillo. Mediante la medición se logro entender y de alguna manera controlar el consumo; gracias a esto se formularon medidas de eficiencia que permitieron la disminución de la demanda y esto a su vez permitió el dimensionamiento de sistemas de conversión de energía solar que satisficieran los requerimientos de la vivienda. Los resultados obtenidos demuestran que el proyecto NetZero fue capaz de reducir el consumo de energía eléctrica de la vivienda hasta niveles nunca antes vistos. En el presente documento no se pudo explorar en detalle el desempeño económico del proyecto, pero es claro que existe ahorro en las factura de electricidad. Estamos a la expectativa de conocer los resultados de un año completo de operación, por el momento el sistema no va a cumplir con la meta de borrar completamente el consumo de energía de la vivienda pero los resultados demuestran por lo menos una reducción del 80%. Esto abre el camino para la implementación de otras medidas de eficiencia más drásticas como la actualización de los sistemas de aire acondicionado o la instalación de más paneles solares. Por el momento los resultados son satisfactorios y abren la puerta para la implementación de más proyectos de este tipo en el futuro.

VII. REFERENCIAS

[1] Brownson Jeffrey R.S, "Solar energy conversion systems"

[2] Lave Matthew, "Optimum fixed orientations and benefits of tracking for capturing solar radiation in the continental United States"

[3] HOMER PRO, "User's manual"

[4] Egauge, Herramienta de medición.