

Optimal design of a electric vehicles charging station based solar panels tilting

Juan Lata - Garcia^{1,2}, Gary Ampuño^{1,2}, and Francisco Jurado²

¹Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, jlatag@ups.edu.ec, gampuno@ups.edu.ec

²Universidad de Jaén, España, fjurado@ups.edu.ec

Abstract– The next few years the use of electric vehicles in cities will increase, this is due to the environmental advantages they offer. This document presents the optimal design of an autonomous charging station based on the inclination of the solar panels. The size of the hybrid system and the economic analysis are simulated in Pvsyst. Three scenarios are presented for the simulation. The optimum orientation is achieved with a 10° angle of inclination with respect to the plane, the cost of energy is of \$0.20 kWh.

Keywords– Solar panel, optimization, renewable energy, charging station.

Digital Object Identifier (DOI):<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.39>

ISBN: 978-0-9993443-1-6

ISSN: 2414-6390

Diseño óptimo de una estación de carga de vehículos eléctricos basada en la inclinación de paneles solares

Juan Lata - García^{1,2}, Gary Ampuño^{1,2}, and Francisco Jurado²

¹Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, jlatag@ups.edu.ec, gampuno@ups.edu.ec

²Universidad de Jaén, España, fjurado@ups.edu.ec

Abstract— Los próximos años aumentará el uso de vehículos eléctricos en las ciudades, esto se debe a las ventajas ambientales que ofrecen. Este documento presenta el diseño óptimo de una estación de carga autónoma basada en la inclinación de los paneles solares. El tamaño del sistema híbrido y el análisis económico se simulan en PVsyst. Se presentan tres escenarios para la simulación. La orientación óptima se logra con un ángulo 10° de inclinación respecto al plano, el costo de la energía es de \$ 0.20 kWh.

Palabras claves—Panel solar; optimización; energía renovable; estación de carga.

I. INTRODUCCIÓN

El transporte está ligado al desarrollo económico de un país, pero el uso de este medio está ligado a la contaminación ambiental, U.S administrador de la información de energía (EIA) proyecta un crecimiento de las emisiones mundiales de carbono (CO₂) de las fuentes relacionadas con la energía se reducirá a pesar del aumento en el consumo de la energía, en su informe anual Energy Outlook 2017 (IEO2017) proyecta que las emisiones de CO₂ relacionadas con la energía crecerán 0.6% por año de 2015 a 2040, una tasa de crecimiento más lenta que el 1.8% anual experimentado de 1990 a 2015 [1]. A pesar de que el sector industrial sigue representando la mayor parte de consumo de energía hasta el 2040, el sector del transporte representa el 55% del consumo total de combustibles líquidos en el sector de uso final en 2040, casi lo mismo que su participación en 2015, los motores a gasolina, incluidos los aditivos para biocombustibles, sigue siendo el combustible principal para el transporte, representa el 36% del uso de energía relacionada con el transporte en el mundo en 2040. La contaminación asociada con el cambio climático lleva a buscar distintas soluciones de transporte en el campo investigativo y político [2], California uno de los estados más contaminados en los Estados Unidos fue el pionero con su mandato de emisiones cero en 1990, lo cual, llevo a grandes compañías automotrices a investigar sobre vehículos eléctricos [3], en el mismo año General motor presenta “Impact” en el auto show de los Ángeles, el cual fue el precursor del automóvil eléctrico más famoso de la historia: el Vehículo experimental 1 de General Motors o EV-1 [4]. La aparición de los vehículos eléctricos, el elevado incremento que se prevé para el futuro lleva al diseño de estaciones de carga, estas pueden ser autónomas o conectadas a la red convencional. La Universidad de Iowa implementa una estación de carga suministrada mediante energía solar para aproximadamente 20 vehículos de diferentes modelos como: EXV-2, GEM, Chevy Volt y Toyota Prius. Para cargar un vehículo eléctrico en la estación toma tres horas y proporciona una carga para 48,2 km, la estación de carga produce un estimado de 70,000 kWh de energía al año, lo que

permite una reducción proyectada en el consumo de gasolina de 15,686 galones [5]. El incremento de vehículos eléctricos (EV) provoca aumentos extremos de la demanda y la carga durante las horas pico, para los cual, los autores proponen una estación de carga inteligente mediante PV en la que la carga de los EV se controla de tal forma que el impacto de la carga durante el período de carga pico no se sienta en la red [6]. Investigaciones demuestran que una alta a capacidad fotovoltaica puede cubrir solo una pequeña porción de la demanda de transporte, si la carga no se controla en especial durante las últimas horas de la tarde, por esta razón es propuesta una gestión de control mediante optimización lineal de código abierto, que simula las interacciones entre los vehículos eléctricos y el sistema de energía aguas arriba al considerar las restricciones de mercado, técnicas, comportamiento y los picos de perfil de carga convencional [7]. La utilización de EV posee muchas ventajas, pero puede ser afectado el uso durante la racionalización de la energía convencional por falta de energía primaria o un desastre natural cuando la falta de acceso a la red puede durar varios días o semanas o el riesgo de sobrecargar la red por el uso de carga en horas pico. La investigación llevada a cabo no pretende desalentar la adopción, sino para crear conciencia sobre los problemas a fin de que la política pública o los fabricantes pueden tomarlos en consideración para buscar una solución [8]. Lograr obtener el máximo rendimiento de una estación de carga es una tarea compleja, uno de los principales factores es estimar el ángulo de inclinación de los paneles solares, algunos investigadores han calculado con procedimientos matemáticos mediante la radiación promedia mensual sobre una superficie horizontal, otras investigaciones se basaron en la utilización de radiación solar extraterrestre para estimar la mejor orientación de los paneles fotovoltaicos con respecto al ángulo de inclinación de los paneles solares como al acimut, en el trabajo desarrollado se presentó los ángulos de inclinación óptimos con ajustes mensuales, estacionales y anuales. En la referencia [9] los autores investigaron como el ángulo de inclinación óptimo de los paneles solares influyen en la cantidad de irradiación recogida por el modulo, logrando el mayor rendimiento energético anual o estacional posible. En el documento afirman que, para pequeños valores de latitud, el ángulo de inclinación anual óptimo está más cerca de la latitud de la ubicación, mientras que, para los superiores, es más pequeño en comparación a la latitud. El trabajo se divide en cuatro secciones, la primera repasa la teoría de radiación solar, la segunda parte revisa los modelos de vehículos eléctricos que circulan en el Ecuador, la tercera parte da las características del sistema y la cuarta parte simula la estación de carga mediante tres orientaciones angulares de los paneles fotovoltaicos analizando los resultados obtenidos para cada simulación.

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.39>

ISBN: 978-0-9993443-1-6

ISSN: 2414-6390

II. RADIACIÓN SOLAR

A. Naturaleza de la radiación solar

La radiación que procede directamente del sol es reflejada al entrar en la atmósfera por la presencia de algunos elementos como nubes, vapor de agua, polvo. Se la conoce como radiación extraterrestre. Mientras que la radiación solar que llega a la superficie terrestre procede de tres componentes:

Radiación directa [10] se forma por los rayos procedentes directamente del sol, se estima mediante la ecuación 1.

$$H_B = (H_g - H_d)R_b \quad (1)$$

Donde H_g es la radiación global sobre la superficie horizontal, H_d es la radiación difusa, R_b es la relación de radiación del haz entre las superficies inclinada y horizontal. Ecuador se encuentra sobre la línea ecuatorial y comparte los dos hemisferios, para el hemisferio norte R_b se calcula mediante ecuación 2.

$$R_b = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cos \delta \sin \omega_{ss} + \omega_{ss} \sin(\varphi - \beta) \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta \sin \omega_{ss} + \omega_{ss} \sin(\varphi) * \sin \delta} \quad (2)$$

Donde δ es la declinación angular del sol respecto al plano para cada día del año, φ es la latitud del lugar, ω_{ss} es el ángulo de puesta del sol, β es el ángulo entre el objeto de la superficie y el plano.

La radiación difusa es aquella procedente de toda la bóveda celeste excepto la que llega del sol, varios modelos matemáticos han sido desarrollados para su cálculo [11], se la puede calcular mediante la ecuación 3.

$$H_D = H_d \times R_d \quad (3)$$

R_d puede de ser calculado mediante la Ecuación 4

$$R_d = \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \quad (4)$$

Radiación del albedo es procedente del suelo, a causa de la reflexión sobre casas, lagos, la suma de la radiación directa, difusa y albedo da lugar a la radiación global

B. Ángulo cenital, acimut y hora

El ángulo cenital θ se forma entre la posición del observador y el sol, se lo puede calcular mediante la ecuación 5.

$$\cos \theta = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega \quad (5)$$

El ángulo cenital θ se forma entre la posición del observador y el sol, se lo puede calcular mediante la Ecuación 5, ω es el ángulo de la hora local en el tiempo solar local, [12].

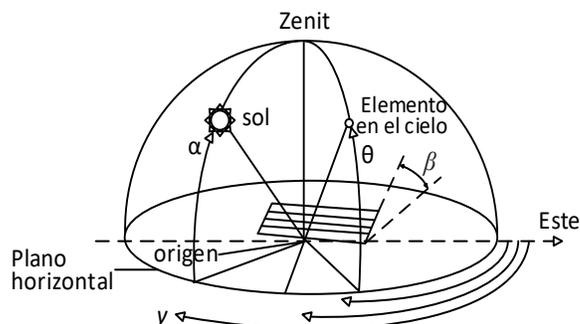


Fig. 1. Ángulos: cenital, acimut y hora

donde φ es la latitud del lugar y ω es el ángulo de la hora en el tiempo solar local. La ubicación del sol con respecto al eje nortesur es el ángulo acimutal γ . La Fig. 1 muestra los ángulos relacionados con el panel fotovoltaico.

III. VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN EL ECUADOR

La energía generada por el sistema fotovoltaico debe ser capaz de cargar al 100% la capacidad de la batería, por esta razón se tiene que conocer las características de los vehículos eléctricos que circulan en el país, en la tabla 1 se observa las tres marcas que se comercializan mediante 7 modelos.

TABLA I
CARACTERÍSTICAS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS VENDIDOS EN EL PAÍS.

Modelo de Vehículos	Unidades	Capacidad Batería (kWh)	Energía Batería (kW)	Tipo	Salida de Energía Motor (kW)	Torque máx. (Nm)	Potencia Motor	Tiempo de carga	Autonomía Km
Kia Soul EV	53.00	27.00	90	Litio	81.4	285.00	110HP	5h/220v	200
Renault Twizy Carga/ Pasaj ZE	30.00	6.10	6.1	Ion de Litio	8	57.00	13.00	3.5/220 V	100
Dayang Chok G2/C1/H5	30.00	S/D	6	Lead Acido	S/D	S/D	S/D	6h/110V	45
En etapa de comercialización									
BYD E5	S/D	S/D	S/D	S/D	78	107.00	S/D	S/D	300
Nissan Leaf	S/D	30.00	S/D	Ion Litio	110	320.00	150.00	5h (6kW)	378

Según datos de la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE) [13] en el 2016 se vendieron 113 unidades, el 74.23% en las provincias de Guayas y Pichincha, el modelo Soul de Kia hasta el momento tiene la mayor capacidad de batería con 27 kWh, sin embargo para los cálculos se escogerá los 30 kWh.

IV. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA

A. Software de desarrollo

PVsyst es una herramienta utilizada por ingenieros e investigadores que sirve para desarrollar instalaciones fotovoltaicas que, con base en datos de entrada como la importación de datos meteorológicos de muchas fuentes diferentes, permite el análisis y simulación completa de sistemas fotovoltaicos. Adicionalmente es una herramienta útil para fines educativos [14]. Los resultados que entrega son presentados en forma de informe, donde se incluye parámetros de simulación, definición de horizonte, definiciones de sombreado, resultados principales y diagrama de pérdidas.

El sistema fotovoltaico se diseña mediante un procedimiento rápido y simple, en el diagrama de flujo de la Fig. 2 se indica los pasos a seguir al implementa un estudio desde cero. Para lograr la máxima producción de energía (Wh/año) de la estación de carga se varía el ángulo de inclinación de los PV, al ser un indicador de producción junto a la irradiación disponible.

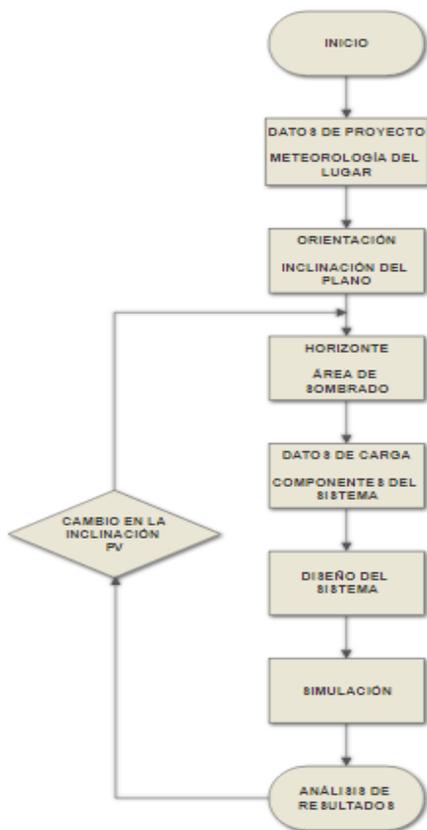


Fig. 2. Diagrama de flujo de los pasos de simulación

B. Estación de carga bajo estudio.

La estación de carga basada en sistemas fotovoltaicos aislados tiene que satisfacer el 100% de carga para el vehículo de mayor demanda. Para el trabajo se simula en referencia al modelo Nissan Leaf con una capacidad de almacenamiento 30 kWh, datos del fabricante indica que se necesita 8h de conexión a un sistema de 6kW. En la Fig. 3 se muestra la estación de carga con sus respectivos elementos.

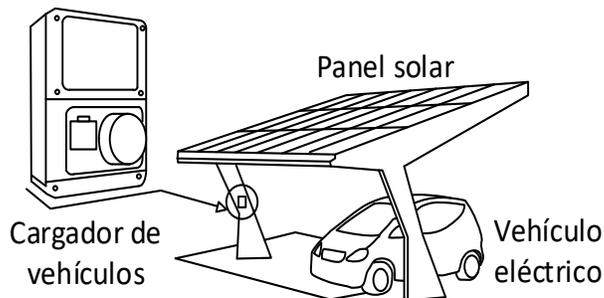


Fig. 3. Estación de carga para EV

C. Paneles fotovoltaicos

La radiación solar que reciben los módulos fotovoltaicos en la estación de carga está influenciada por la posición que se encuentren los mismos, así también, la fecha, la hora local y la zona horaria. Para estimar la potencia generada por un sistema fotovoltaico se obtiene utilizando la siguiente formula [15].

$$PPV = \eta_{pv} \times A_{pv} \times I(t) \quad (6)$$

Donde η_{pv} es la eficiencia del panel fotovoltaico, A_{pv} es el área total de los módulos (m^2), $I(t)$ es la radiación solar total (W/m^2). Para la simulación se utiliza un panel comercial cuyas dimensiones son $1600 \times 1060 \times 42$ mm, otras características se muestran en la tabla II.

TABLA II
CARACTERÍSTICAS DE PANELES FOTOVOLTAICOS.

Características	
STC Potencia Promedia Pmp (W)	220.00
Voltaje de circuito abierto Voc (V)	29.10
Corriente de oscuridad Isc (A)	10.00
Máximo voltaje de salida Vmp (V)	24.2
Máxima corriente de Salida (A)	9.1
Eficiencia del panel (%)	13
Peso (Lbs)	48.9
Costo (\$)	220

D. Baterías

En el sistema simulado la batería almacenará la energía excedente por el generador fotovoltaico en modo de carga y suministra energía en caso de déficit cuando la necesidad de la

demanda sea mayor a la generada en modo descarga [16] conocido como estado de la carga, el número de ciclos de la batería será fundamental para estimar el tiempo de vida y su futuro reemplazo.

El flujo de potencia kW de la batería se calcula mediante la ecuación 7.

$$P_{batt}^t = \sum P_{pv-actual}^t - Carga^t / \eta_{inv} \quad (7)$$

Donde $\sum P_{pv-actual}^t$ es la sumatoria de la potencia generada por el sistema FV, $Carga^t$ es la carga durante la unidad de tiempo, η_{inv} es la eficiencia del inversor DC-DC. Las características de la batería comercial utilizada se muestran en la tabla III.

TABLA III
CARACTERÍSTICAS DE BATERÍAS.

Características de la Batería	
Capacidad nominal (Ah)	100.00
Resistencia Interna (mOhm)	6.00
Eficiencia (%)	97.00
Auto descarga a 20°C (mA)	2.3
Coeficiente de temperatura (mV/°C)	-5.5
Tiempo de vida (años)	10
Peso (kg)	44.5
Costo (\$)	120

V. SIMULACIÓN Y ANÁLISIS

El perfil de carga seleccionado para la optimización es 30kWh con una potencia de 6 kW suministrado durante 5 h, el perfil indicado se ajusta a las necesidades energéticas de todos los vehículos que circulan en el Ecuador. La simulación se realizó para tres orientaciones del sistema fotovoltaico respecto al plano.

10° de orientación respecto al plano

La fuente primaria de energía es el sol, al configurar el sistema con 10° de inclinación del sistema fotovoltaico, PVsyst calcula 7.7 kWp de potencia nominal, entre las características del sistema necesita 59.4 m², 35 módulos de 220W, con 5 módulos en serie y 7 en paralelo, un voltaje máximo de 107 V, 64 A de máxima corriente. Adicional calcula 176 baterías de 100 Ah conectadas 8 en serie y 22 en paralelo, la capacidad nominal del banco de baterías es 2200 Ah, el voltaje del subsistema es 96V.

En la Fig. 4 se muestra la energía producida mensualmente por el generador de 7.7 kWp con las pérdidas producidas, la energía no utilizada cuando el banco de baterías está al 100% (Lu) es 0.06 kWh/kWp/día, las pérdidas de recolección a causa térmica, devaluación del módulo, calidad, consumos menores (Lc) es 1 kWh/kWp/día, pérdidas a causa del sistema y batería llegan (Ls) al 0.13 kWh/kWp/día, de marzo a octubre tiene el mayor porcentaje de energía no usada.

La energía suministrada al usuario es 3.81 kWh/kWp/día.

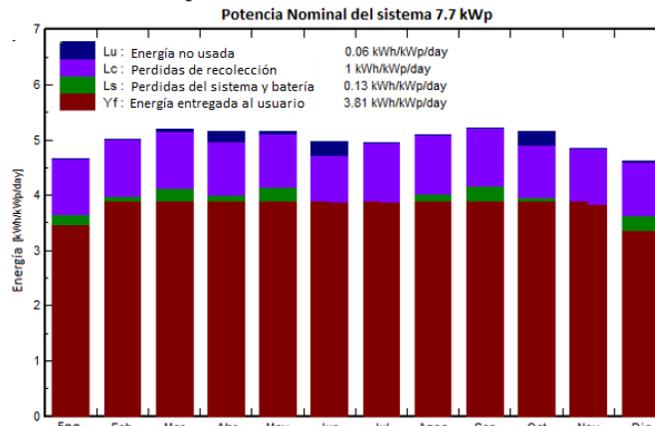


Fig. 4. Energía normalizada mensualmente a 10° SF

20° de orientación respecto al plano

La segunda simulación se realizó con 20° de inclinación del sistema fotovoltaico, para este propósito PVsyst calcula 9.9 kWp de potencia nominal, 45 módulos de 220W, con 5 módulos en serie y 9 en paralelo, un voltaje máximo de 107 V, 82 A de máxima corriente, el subsistema de baterías está compuesto por 112 unidades de 100 Ah conectadas 8 en serie y 14 en paralelo, la capacidad nominal del banco de baterías es 1400 Ah, el voltaje del subsistema es 96V. Se observa en la Fig. 5 la energía normalizada producida mensualmente por el generador es de 8.8 kWp, la energía no utilizada cuando los bancos de baterías están al 100% (Lu) es 0.5 kWh/kWp/día, las pérdidas de recolección a causa térmica, devaluación del módulo, calidad, consumos menores (Lc) es 0.75 kWh/kWp/día, pérdidas a causa del sistema y batería llegan (Ls) al 0.17 kWh/kWp/día, de marzo a octubre tiene el mayor porcentaje de energía no usada. La energía suministrada al usuario es 3.41 kWh/kWp/día.

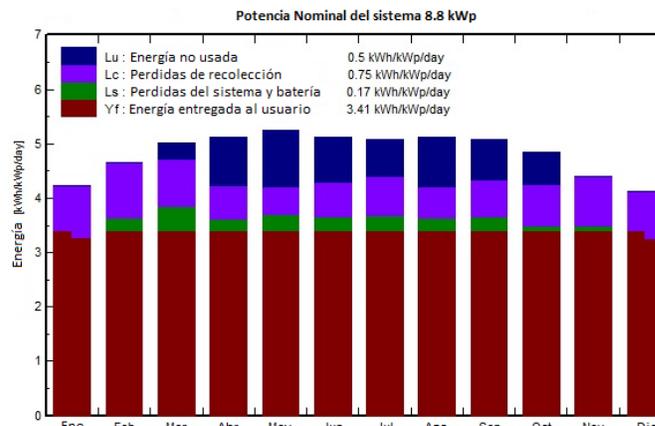


Fig. 5. Energía normalizada mensualmente a 20° SF

30° de orientación respecto al plano

Finalmente, la simulación se la realiza con 30° de inclinación del sistema fotovoltaico, la potencia nominal calculada por PVsyst es 9.9 kWp, la configuración del sistema se logra con 45 módulos de 220W, 5 módulos en serie y 9 en paralelo, el voltaje máximo de la configuración es 107 V y 82 A de máxima corriente. El subsistema de baterías está compuesto por 112 baterías de 100 Ah conectadas 8 en serie y 14 en paralelo, la capacidad nominal del banco de baterías es 1400 Ah con un voltaje de 96 V. Se observa en la Fig. 6 la energía normalizada producida mensualmente por el generador es de 9.9 kWp, la energía no utilizada cuando los bancos de baterías están al 100% (Lu) es 0.79 kWh/kWp/día, las pérdidas de recolección a causa térmica, devaluación del módulo, calidad, consumos menores (Lc) es 0.61 kWh/kWp/día, pérdidas a causa del sistema y batería llegan (Ls) al 0.17 kWh/kWp/día, de febrero a octubre tiene el mayor porcentaje de energía no usada. La energía suministrada al usuario es 2.99 kWh/kWp/día.

Los resultados comparativos de las tres simulaciones se muestran en la tabla IV

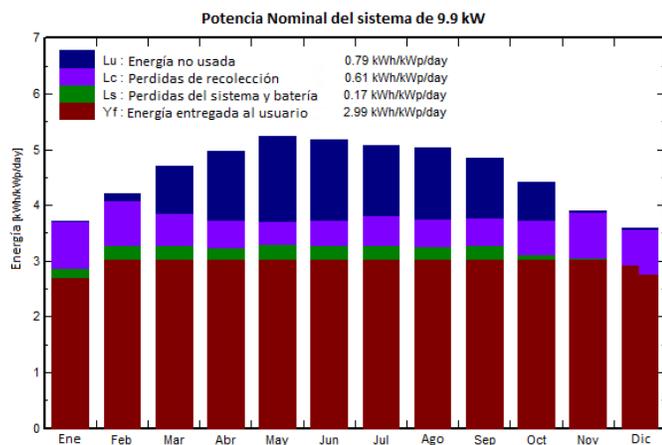


Fig. 6. Energía normalizada mensualmente a 30° SF

Las tres configuraciones del sistema fotovoltaico satisfacen la demanda para la carga de vehículos eléctricos, con una orientación de 10° se logra el mejor resultado, reducción del 22.2% y 12.5% del área del SF respecto a orientaciones de 20° y 30° respectivamente, 35 paneles de 220 W son usados en esta configuración. El exceso de energía es de 0.2 MWh/año, con lo cual, las baterías tienen menor trabajo de carga y descarga alargando su vida útil con un tiempo previsto de 10 años para el cambio, el banco de baterías tiene una pérdida del 2.1% en eficiencia. La energía generada por el SF es 11.25 MWh/año mientras que la energía usada es 10.72 MWh/año menor de todas las configuraciones al evitar pérdidas de en el SF y satisfaciendo la carga, la menor inversión del sistema es \$26,628 para una orientación de 10° con un costo anual de \$2,137, el costo kWh asciende a \$0.20.

TABLA III
COMPARACIÓN DE LAS DIFERENTES ORIENTACIONES.

	Posición sobre el plano del sistema fotovoltaico		
	10°	20°	30°
Número total PF	35	40	45
Potencia nominal SF (kW)	7.7	8.8	9.9
Área total del SF (m²)	59.4	67.8	76.3
Número total de baterías	112	112	112
Capacidad nominal baterías (Ah)	1400	1400	1400
Pérdidas PF por irradiancia (%)	-4.7	-5	-5.4
Pérdidas en batería por eficiencia (%)	-2.1	-2.9	-3.4
Energía disponible (MWh/año)	11.25	13.11	14.3
Energía usada (MWh/año)	10.72	10.95	10.82
Exceso de energía (MWh/año)	0.2	1.6	2.8
Inversión (\$)	26,628	28,128	29,628
Costo anual (\$/año)	2,137	2257	2377
Costo de la energía (\$/kWh)	0.2	0.21	0.22

La Fig 7. es el diagrama de salida diaria de energía producido por el sistema, cada punto del grafico representa la producción de un día. En el eje x, tiene la irradiancia diaria respecto al plano del colector medido en kWh/m²/día mientras en el eje Y, tiene la producción energética del sistema en kWh/día. Entre 4 y 5 kWh/m²/día se tiene una constante generación, mientras aumenta la incidencia la salida del generador no es lineal respecto a la entrada.

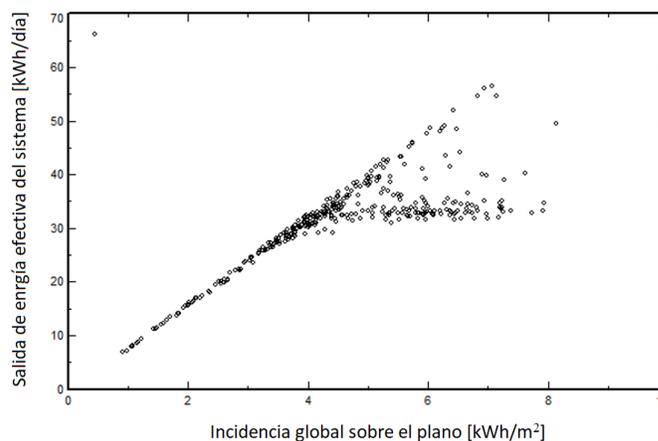


Fig. 7. Energía normalizada mensualmente a 30° SF

CONCLUSIONES

El presente estudio investiga el rendimiento de un sistema fotovoltaico respecto al ángulo óptimo de inclinación del panel fotovoltaico respecto al plano, la estación de carga propuesta se ubica en el campus de la Universidad politécnica Salesiana. Pocos estudios previos se centran en el análisis del rendimiento de los sistemas fotovoltaicos ubicados en estaciones de carga

para vehículos eléctricos, esta investigación tiene como objetivo profundizar este aspecto. El software Pvsyst se usó para la simulación, la investigación demuestra que a pesar que la localidad está cercana a la línea Ecuatorial al cambiar la posición del panel afecta al rendimiento, tamaño y costo, se compara diversos parámetros para tres orientaciones, tomando como determinante el costo y área del sistema. El alto rendimiento energético anual queda comprobado propio del lugar donde se tomaron los datos. El trabajo aporta como inicio de futuras investigaciones para lograr estaciones de carga autónomas, entre los objetivos la reducción del costo de electricidad y el impacto medio ambiental.

Santay Island, Ecuador by two methods,” in *2017 CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON)*, 2017, pp. 1–6.

REFERENCIAS

- [1] U.S. Energy Information Administration, “Growth in global energy-related carbon dioxide emissions expected to slow - Today in Energy - U.S. Energy Information Administration (EIA).” [Online]. Available: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=33772>. [Accessed: 21-Nov-2017].
- [2] J. Lata-García, C. Reyes-Lopez, and F. Jurado, “Attaining the Energy Sustainability: Analysis of the Ecuadorian Strategy Ku zrównoważoności energetycznej: analiza Strategii Ekwadorskiej,” vol. 13, no. 1, pp. 21–29, 2018.
- [3] “Symbolism in California’s early market for hybrid electric vehicles,” *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 12, no. 6, pp. 396–413, Aug. 2007.
- [4] C. C. Chan, “The state of the art of electric and hybrid vehicles,” *Proc. IEEE*, vol. 90, no. 2, pp. 247–275, 2002.
- [5] The University of Iowa, “Electric Vehicle Charging Station- Solar Energy - Renewable Energy - Facilities Management -The University of Iowa.” [Online]. Available: <https://www.facilities.uiowa.edu/uem/renewable-energy/solar-energy.html>. [Accessed: 01-Jan-2018].
- [6] P. Goli and W. Shireen, “PV powered smart charging station for PHEVs,” *Renew. Energy*, vol. 66, pp. 280–287, Jun. 2014.
- [7] F. Fattori, N. Anglani, and G. Muliere, “Combining photovoltaic energy with electric vehicles, smart charging and vehicle-to-grid,” *Sol. Energy*, vol. 110, pp. 438–451, Dec. 2014.
- [8] S. A. Adderly, D. Manukian, T. D. Sullivan, and M. Son, “Electric vehicles and natural disaster policy implications,” *Energy Policy*, vol. 112, pp. 437–448, Jan. 2018.
- [9] A. Gharakhani Siraki and P. Pillay, “Study of optimum tilt angles for solar panels in different latitudes for urban applications,” *Sol. Energy*, vol. 86, no. 6, pp. 1920–1928, Jun. 2012.
- [10] T. O. Kaddoura, M. A. M. Ramli, and Y. A. Al-Turki, “On the estimation of the optimum tilt angle of PV panel in Saudi Arabia,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 65, pp. 626–634, Nov. 2016.
- [11] Y. Q. Tian, R. J. Davies-Colley, P. Gong, and B. W. Thorrold, “Estimating solar radiation on slopes of arbitrary aspect,” *Agric. For. Meteorol.*, vol. 109, no. 1, pp. 67–74, Aug. 2001.
- [12] M. Hartner, A. Ortner, A. Hiesl, and R. Haas, “East to west – The optimal tilt angle and orientation of photovoltaic panels from an electricity system perspective,” *Appl. Energy*, vol. 160, pp. 94–107, Dec. 2015.
- [13] AEADE, “AEADE – Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador.” [Online]. Available: <http://www.aeade.net/>. [Accessed: 04-Jan-2018].
- [14] “Pvsyst.” [Online]. Available: <http://www.pvsyst.com/en/>. [Accessed: 08-Nov-2017].
- [15] W. D. Lubitz, “Effect of manual tilt adjustments on incident irradiance on fixed and tracking solar panels,” *Appl. Energy*, vol. 88, no. 5, pp. 1710–1719, May 2011.
- [16] J. Lata-Garcia, C. Reyes-Lopez, F. Jurado, L. M. Fernandez-Ramirez, and H. Sanchez, “Sizing optimization of a small hydro/photovoltaic hybrid system for electricity generation in