

# Factorial evaluation 3<sup>2</sup> of a photovoltaic solar system of one 1kw

Kevin Abner Ortega Quispe, Bachelor<sup>1</sup>, Claudia Milagros Caballero Blanco<sup>1</sup>, Dennis Ccopi Trucios<sup>1</sup>, Kelly Steffy Monago Torres, Bachelor<sup>1</sup>, Oscar Paul Huari Vila<sup>1</sup>, PhD.

<sup>1</sup>Universidad Continental, Perú, 46754383@continental.edu.pe, 76275329@continental.edu.pe, 46241941@continental.edu.pe, 70859260@continental.edu.pe, ohuari@continental.edu.pe

*Abstract– The need to reduce the impacts generated by power generation today requires the investigation of new, clean, efficient and promising technologies. The present work describes the experimentation process carried out around the variation of the angle of inclination and orientation of the photovoltaic solar panel. The research was carried out using the 3<sup>2</sup> factorial design. The measurement of the electrical energy generated was taken in 15-minute intervals and on different days. The electric power generation efficiency was analyzed at different angles such as 10 °, 25 ° and 35 °; In addition to the orientation of the solar panel on the three levels, it was placed towards the north, east and south, but with the same weather conditions. The best result was obtained when the solar panel had an inclination of 35 ° and oriented towards the east, obtaining a voltage of 19.71 volts.*

*Keywords: Angle of inclination, photovoltaic solar panels, efficiency, weather conditions, solar radiation.*

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).  
**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).  
**DO NOT REMOVE**

# Evaluación factorial 3<sup>2</sup> de un sistema solar fotovoltaico de un 1kw

Kevin Abner Ortega Quispe, Bachiller<sup>1</sup>, Claudia Milagros Caballero Blanco<sup>1</sup>, Dennis Ccopi Trucios<sup>1</sup>, Kelly Steffy Monago Torres, Bachiller<sup>1</sup>, Oscar Paul Huari Vila<sup>1</sup>, PhD.

<sup>1</sup>Universidad Continental, Perú, 46754383@continental.edu.pe, 76275329@continental.edu.pe, 46241941@continental.edu.pe, 70859260@continental.edu.pe, ohuari@continental.edu.pe

*Resúmen– La necesidad de reducir los impactos generados por la generación de energía en la actualidad requiere la investigación de nuevas tecnologías limpias, eficientes y prometedoras. El presente trabajo describe el proceso de experimentación realizada en torno a la variación del ángulo de inclinación y orientación del panel solar fotovoltaico. La investigación se realizó empleando el diseño factorial 3<sup>2</sup>. La medición de la energía eléctrica generada se tomó en intervalos de 15 minutos y en diferentes días. La eficiencia de generación de energía eléctrica fue analizada en diferentes ángulos como 10°, 25° y 35°; además de la orientación del panel solar en los tres niveles se colocó hacia el norte, este y sur, pero con condiciones climatológicas iguales. El mejor resultado se obtuvo cuando el panel solar tenía una inclinación de 35° y orientado hacia el este, obteniendo un voltaje de 19.71 Voltios.*

*Palabras claves: Ángulo de inclinación, paneles solares fotovoltaicos, eficiencia, condiciones climatológicas, radiación solar.*

## I. INTRODUCCIÓN

El interés en el desarrollo de las energías renovables se incrementa a medida que las reservas internacionales de petróleo se van agotando y el aumento de los impactos causado por el cambio climático se vuelve incontrolable. Entre los diversos tipos de energía renovable resalta la energía solar como uno de las más prometedoras por ser un recurso abundante en todo el mundo[1].

La energía solar fotovoltaica obtiene electricidad directamente de la radiación solar a través de semiconductores armados a células fotovoltaicas o un conjunto de metales sobre un sustrato denominado celular solar de película fina. Se debe de considerar que estos paneles solares fotovoltaicos no generan calor reaprovechable por ello actualmente se realizan diversas investigaciones sobre paneles híbridos con el fin de generar energía eléctrica y térmica a la vez [2].

Mediante un sistema solar fotovoltaico se busca mejorar la energía eléctrica generada de la energía solar significando

un máximo aprovechamiento de la radiación incidente. A pesar de ello, la eficiencia de este sistema depende de diversos factores de los cuales están el ángulo de inclinación de los paneles solares, la radiación incidente del lugar de instalación, condiciones climatológicas, entre otras [3].

Los paneles solares son opciones muy atractivas, especialmente para zonas en las que no se cuente con red eléctrica, por ser de instalación sencilla en azoteas y de autoconsumo fotovoltaico. Este autoconsumo fotovoltaico es la producción individual a una escala pequeña de electricidad para el propio consumo de la localidad. Esta energía generada puede ser complementada o unida a la red para disminuir la facturación con el exceso de energía producida por panel solar [2].

Es importante considerar la orientación y el ángulo de inclinación de la superficie por ello se tiene diversos tipos de paneles que han sido estudiados entre los que se pueden mencionar a los planos o parabólicos los cuales han sido estudiados en diversos trabajos y antecedentes. Encontrar el ángulo óptimo ha sido tema de investigación desarrollado a través de diversos métodos, sin embargo, existen pocos estudios para zonas específicas como para la Provincia de Huancayo, lugar donde se desarrollo el proyecto.

Se puede mencionar la diversidad de ventajas del uso de energía solar resaltando que es una de las alternativas energéticas con mayor futuro en la actualidad:

- Uso de un recurso natural renovable.
- Es energía limpia que no genera residuos de ningún tipo ya sea sólido, líquido o gas.
- Solución ideal de obtención de energía para zonas aisladas o rurales.
- La única energía renovable de instalación a gran escala en zonas urbanas.
- En diversos países si el sistema es conectado a la red los beneficiarios obtienen subvenciones publicas y primarias a la producción.

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).  
**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).  
**DO NOT REMOVE**

- Los componentes del sistema (paneles y estructura) pueden reusarse al finalizar su vida útil [4].

Entre los elementos y partes que componen un sistema solar fotovoltaico aislado se tiene elementos especialmente diseñados y construidos para la transformación de energía solar en energía eléctrica y poder suministrarla como corriente continua o corriente alterna según sea requerido, en el mercado actual existe una gran oferta procedentes de muchos lugares del mundo especialmente de China, Korea, Malasya y otros.

Estos componentes fotovoltaicos tienen la función de:

- Realizar la transformación directa de energía solar en energía eléctrica mediante los paneles fotovoltaicos.
- Es necesario de un controlador de carga para estabilizar la energía eléctrica producida por el panel solar ya que esta es variable y continua.
- Las baterías son necesarias para almacenar toda la energía generada.
- El inversor es fundamental para convertir la corriente continua de la batería en corriente alterna para los equipos que necesitan energía eléctrica.

El objetivo de esta investigación es encontrar la orientación y el ángulo de inclinación en el cual es más eficiente la captación solar de un panel solar fotovoltaico en la provincia de Huancayo, a una zona a 3240 msnm en los andes peruanos.

Para hacer posible este objetivo es preciso utilizar un diseño experimental adecuado. Los experimentos factoriales pueden investigar posibles interacciones entre dos o más factores. Se refiere a esto como una mayor exhaustividad, porque esta información no puede obtenerse mediante el método convencional de cambiar un factor a la vez o hacerlo a un costo considerable a lo largo del tiempo y en condiciones ideales [5].

En muchos estudios estadísticos se identifica una variable de interés, denominada variable de respuesta (o variable dependiente). Luego se recolectan datos que nos dicen cómo uno o más factores (o variables independientes) influyen en la variable de interés. Si no podemos controlar los factores que se están estudiando, decimos que los datos obtenidos son observacionales [6].

Las variables de estudio se pueden analizar con tres niveles, el diseño factorial  $3^k$ , es decir, un arreglo factorial con

$k$  factores, cada uno en tres niveles. Los factores y las interacciones se indicarán con letras mayúsculas. Nos referiremos a los tres niveles de los factores como bajo, intermedio y alto. Se pueden usar varias notaciones diferentes para representar estos niveles de factores; una posibilidad es representar los niveles de los factores con los dígitos 0 (bajo), 1 (intermedio) y 2 (alto). Cada combinación de tratamiento en el diseño  $3^k$  se indicará con  $k$  dígitos, donde el primer dígito indica el nivel del factor A, el segundo dígito indica el nivel del factor B, ... y el  $k$ -ésimo dígito indica el nivel del factor K[5].

Si cada factor en un factorial tiene tres niveles, llamamos al diseño un diseño simétrico de  $3^k$  [7]. Un diseño experimental estadístico es una especificación para el diseño de un experimento estadístico. Debe asegurarse de que no se descuiden aspectos que sean importantes para el análisis o para la elección del modelo y la precisión alcanzable [8].

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología es experimental, y utiliza un diseño factorial  $3^2$ , dos variables de estudio con tres niveles.

Los equipos usados para el desarrollo de la presente investigación están instalados en un sistema solar aislado, las cuales tienen las siguientes características:

### A. Panel fotovoltaico

El panel solar utilizado es un TOPRAY solar, modelo TPS 105-100W-MONO, con números de celdas de 72pcs, para el sistema fotovoltaico. El panel solar TOPRAY de 100W tiene unas medidas de 664 mm de largo, de ancho 1006 mm y de alto 35 mm. Entre las características eléctricas del panel solar TOPRAY en condiciones estándar se tiene una potencia de salida de 100 W teniendo el panel una eficiencia aproximada de 5%.

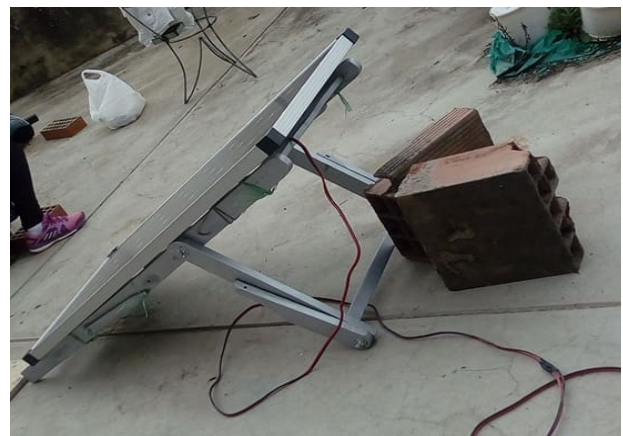


Fig. 1 Panel solar de 100W TOPRAY

### B. Regulador de carga

El Regulador 12V / 24V 10A PWM Must Solar se preparó para poder utilizar en este tipo de instalaciones solares de pequeño tamaño tanto de 12 como de 24V, los controladores incluyen puertos de carga USB. Así mismo la familia de los reguladores de 12V / 24V 10A PWM Must Solar pueden presentarse entre los 10 y los 60A.

### C. Inversor

El inversor se escogió teniendo en cuenta la cantidad de energía solar que se espera transformar en energía eléctrica por medio de los paneles solares. Este es el encargado de convertir la corriente directa (DC) proveniente de los paneles en corriente alterna (AC) para lograr poder inyectar la energía generada directamente a la red que provee al edificio de la universidad. El inversor que se utilizó es un inversor SMA Sunny Tripower 20000 LT con capacidad de convertir 20 kW a corriente alterna para alimentar la red determinada. De acuerdo a la ficha técnica, el inversor SMA Sunny Tripower 20000 LT, presenta una potencia máxima permitida de 20440 W y así mismo el voltaje máximo permitido es 1000 V.

Al dividir la potencia máxima y el voltaje máximo es posible obtener la intensidad máxima del inversor que no es otra cosa que la corriente generada, en este caso la corriente máxima es de 20,44 A.



Fig. 2 Inversor y transformador instalados

### D. Baterías de acumulación

La batería solar gel de la marca Narada tiene una capacidad de 155Ah y ha sido diseñada para utilizar en instalaciones solares de pequeña y media potencia. Gracias a su componente en forma de gel llega a ofrecer un rendimiento ideal y superior, además dispone de una vida útil que puede llegar a los 12 años y no requiere de mantenimiento.

Para medir el viento y las magnitudes eléctricas se usaron un anemómetro y un multímetro de las siguientes características:

### E. Anemómetros

El anemómetro PCE-THA 10 se puede manejar fácilmente con una sola mano, gracias a su tamaño compacto, una estructura ideal con una sonda alada integrada. Además de la velocidad del viento, el anemómetro mide también la temperatura, la humedad, el punto de rocío, la temperatura de bulbo húmedo y el volumen de aire. El promedio de la velocidad del viento se puede determinar con el tester a partir de los 20 puntos registrados.

### F. Multímetro digital

El Multímetro se utilizó para medir diferentes acciones de los electrones en los componentes eléctricos y electrónicos. Con este instrumento se pudo medir la resistencia corriente, y tensión eléctrica. Tienen dos terminales cuya polaridad se identifica mediante colores: Negro (-) y Rojo (+). En las medidas de corriente directa (CD), la polaridad de los terminales debe ser observada para conectar apropiadamente el instrumento. Esta precaución no es necesaria para las medidas de corriente alterna (CA). Poseen una llave selectora para elegir el tipo de medida a realizar.

### G. Diseño Experimental

El diseño de experimentación es un diseño factorial  $3^k$  porque el número de variables independientes y número de niveles de cada una de ellas teniendo por ejemplo diseños  $2 \times 2$  en otras palabras se emplean dos variables dependientes con dos niveles o un diseño  $3 \times 3$  es decir con tres variables independientes con tres niveles. Por lo que, el número de grupo se calculó multiplicando la cantidad de variables independientes y niveles, para los diseños ejemplificados en el primero se tendría 4 grupos experimentales y el segundo 9. La denominación de estos grupos puede ser aplicando la metodología de Christensen además es fundamental que la asignación de los sujetos a los grupos debe ser al azar.[9]

En el diseño factorial realizado, se manipuló dos variables independientes que incluían tres niveles de presencia en cada una de ellas como se muestra en la TABLA I.

TABLA I  
MEDICIONES DE ÁNGULOS Y ORIENTACIONES

ORIENTACIÓN	ÁNGULOS
Sur	35
	25
	10
Norte	35
	25
	10
Este	35
	25
	10

Este tipo de diseño presenta una gran ventaja porque permite evaluar los efectos que tiene cada variable independiente sobre las variables dependientes por separado además de ser evaluados en conjunto. Teniendo dos efectos al evaluar, primero los efectos principales que son los efectos de las variables independientes y segundo los efectos de interacción de las variables independientes [9].

### III. RESULTADOS

Los resultados obtenidos en las mediciones expresados en voltios que genera el panel solar en diferentes ángulos y orientación, con cinco replicas, se muestran en la Tabla 2:

TABLA II  
MEDICIONES DE VOLTAJES EN ÁNGULOS Y ORIENTACIONES

MEDIDAS DE VOLTAJE DEL PANEL SOLAR			
Orientación	Ángulo		
	35°	25°	10°
Sur	13.42 v	12:48 v	12.9 v
	13.54 v	12.31 v	12.72 v
	13.20 v	12.25 v	11.74 v
	13.18 v	12.28 v	12.77 v
	13.35 v	12.35 v	12.49 v
Norte	17.51 v	12.84 v	13.21 v
	16.56 v	12.23 v	13.41 v
	16.19 v	12.19 v	13.02 v
	15.94 v	12.04 v	13.04 v
	15.52 v	12.05 v	13.41 v
Este	19.66 v	12:58 v	12.45 v
	18.6 v	12.97 v	13.01 v
	19.24 v	13.29 v	13.19 v
	19.71 v	13.40 v	12.4 v
	17.45 v	12.74 v	12.48 v

TABLA III  
ANÁLISIS DE LA VARIANZA

FUENTE	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	206.522	25.8152	110.63	0.000
Lineal	4	159.979	39.9948	171.39	0.000
Orientación	2	34.729	17.3647	74.41	0.000
Angulo inclinación	2	125.250	62.6248	268.36	0.000
Interacciones de 2 términos	4	46.543	11.6357	49.86	0.000
Orientación*Angulo inclinación	4	46.543	11.6357	49.86	0.000
Error	36	8.401	0.2334		
<b>Total</b>	<b>44</b>	<b>214.923</b>			

#### A. Interpretación del análisis de la varianza

El análisis de varianza (ANOVA) en la investigación experimental es la técnica fundamental. El procedimiento que establece esta técnica es separar la variación total en las partes con las que contribuye cada fuente de variación del experimento.

La suma de cuadrados total es 214.923, la del factor orientación es 34.729, la del factor ángulo de inclinación es 125.250. Podemos ver en el análisis de la varianza que el valor de p para los factores estudiado es 0.00 lo que indica que el valor de F calculado, comparado con el F de tablas es mayor, por lo que estos factores estudiados tienen gran relevancia con el rendimiento del panel solar.

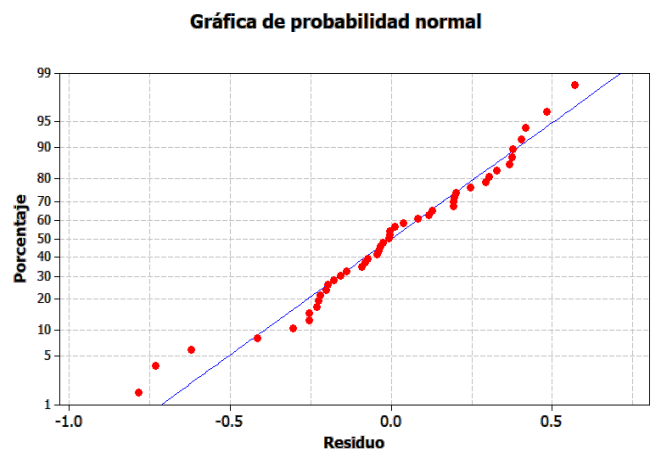


Fig. 3. Gráfico de residuos – Probabilidad normal

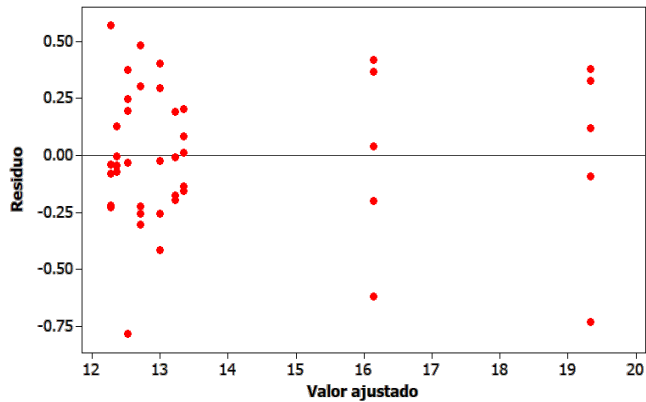


Fig. 4. Gráfico de residuos

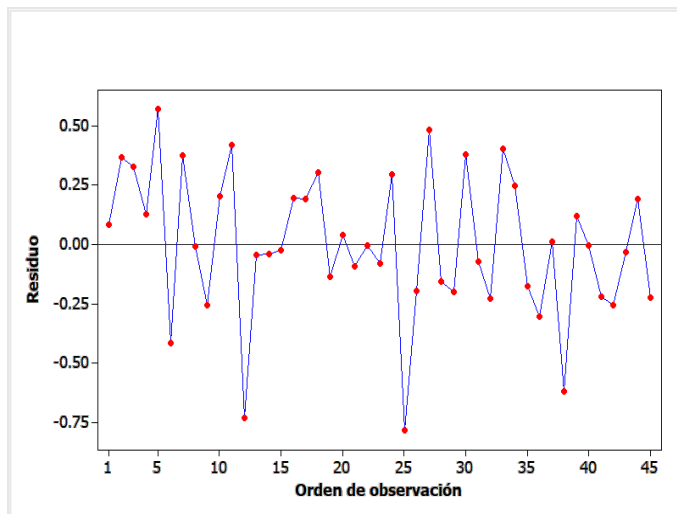


Fig. 5. Gráficos de residuos

### B. Interpretación de los gráficos de residuos

La gráfica en la (Figura 3), fue utilizada para contrastar la normalidad para cada uno de las medidas de voltaje generados, esto nos permitió comparar la distribución empírica de una de los datos, con la distribución normal.

La gráfica de los residuales en el orden temporal de la recolección de los datos de la (Figura 4), es útil para detectar correlaciones entre los residuales. Una tendencia a tener corridas de residuos positivos y negativos. Esto implica que el supuesto de independencia de los errores ha sido violado. Se trata de un problema potencialmente serio y cuya solución es difícil.

De esta manera, en la (Figura 5), observamos una variación de residuos de -0.75 a +0.75 aproximadamente, esto

implica que los datos obtenidos son consistentes y precisos al momento de hacer las mediciones, y a su vez no se incidió en errores. No hay evidencia de la presencia de valores atípicos que puedan indicar que el proceso fue deficiente.

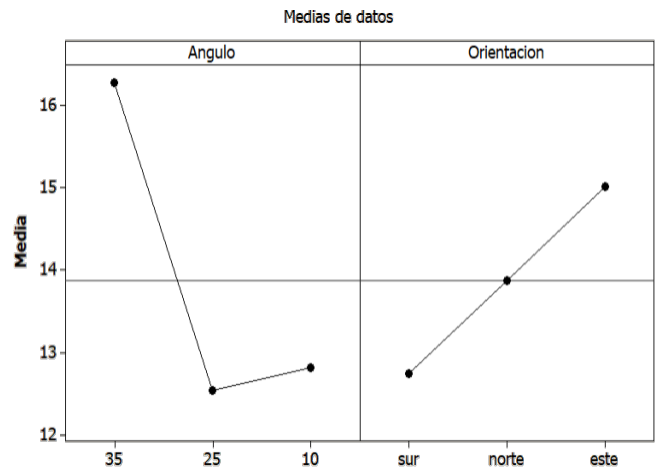


Fig.6. Gráfico de efectos de intensidad de corriente

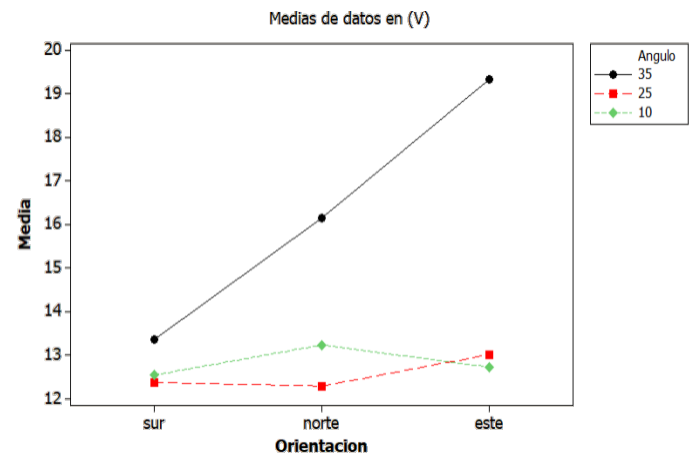


Fig. 7. Gráfico de intensidad de corriente

### C. Interpretación de los gráficos factoriales

En la Fig. 6, se puede notar que la variable ángulo la tendencia en su nivel alto que es de 35° de inclinación se manifiesta una línea muy ascendente notándose una subida significativa en su rendimiento.

En la Fig. 7. La variable ángulo de inclinación del panel solar se nota claramente el efecto notoriamente superior a los otros niveles y combina esta situación con la orientación este.

Observamos que, en un ángulo de inclinación de 35° y orientación este, hay mayor generación de energía eléctrica por parte del panel solar.[10]

## Gráfica de superficie de ANGULOS vs. RESPUESTA, ORIENTACION

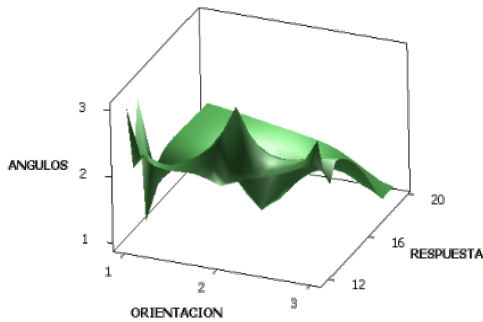


Fig.8. Gráfico de Superficies

Reduciendo los puntos abisales y los picos extremos, para buscar una superficie más homogénea con un prototipo más eficiente, podemos notar que cuando la orientación esta a  $35^\circ$  y orientado al este se presenta la respuesta de mayor significación.

### IV. CONCLUSIONES Y DISCUSIONES

En el proceso de investigación cuando el panel se posiciona a  $35^\circ$  se obtiene el mayor voltaje cuando se orienta hacia el este, disminuyendo a un nivel intermedio cuando se posiciona al norte, y cayendo al mínimo cuando se orienta al sur, lo que se puede notar claramente en la línea negra continua de la (Figura 7).

Del mismo modo cuando se posiciona a  $25^\circ$  (Figura 7) con rayas rojas entrecortadas, se obtiene la menor generación de energía eléctrica cuando se orienta al este, baja mucho más con la orientación al norte y una mejora mínima cuando se orienta al sur.

Cuando se posiciona a  $10^\circ$  línea entrecortada de color verde entrecortada en la (Figura 7), se obtiene una baja generación cuando se orienta al este, con una mejora orientada al norte y una caída orientada al sur.

### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestra casa de estudios la Universidad Continental y a nuestro mentor Dr. Oscar Paul Huari Vila por el apoyo técnico, además a todas las personas que fueron partícipes de este proyecto y facilitaron todos los medios necesarios para la culminación.

### BIBLIOGRAFÍA

- [1] B. Chiriboga, N. Mondragón, and J. Urquizo, "Simulación Usando Labview de la Radiación Incidente sobre Superficies bajo Diferentes Condiciones Aplicando un Modelo de Irradiancia Solar Basado en Transmitancias," *ResearchGate*, no. August, 2011.
- [2] Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, *La industria de la energía renovable en el Perú*, Primera. Lima, Perú: Grafica Biblios S.A., 2017.
- [3] C. Dibene, N. Fletes, and C. Paredes, "Eficiencia en la producción de energía de un panel fotovoltaico a diferente inclinación en Nuevo Vallarta, Nayarit," *Artículo*, vol. 3, no. 8, pp. 99–103, 2016.
- [4] V. K. M. Cheng and G. P. Hammond, "Life-cycle energy densities and land-take requirements of various power generators: A UK perspective," *J. Energy Inst.*, vol. 90, no. 2, pp. 201–213, 2017.
- [5] D. Montgomery, *Design and analysis of experiment*, Ninth. Arizona, 2017.
- [6] B. Bowerman, R. OConnell, and E. Murphree, *Experimental Design Unified Concepts, Practical Applications, and Computer Implementation*. 2015.
- [7] J. Lawson, *Design an analysis o experiments with R*. 2015.
- [8] D. Rasch, J. Pilz, R. Verdooren, and A. Gebhardt, *Optimal experimental design with R*. Boca Raton, 2011.
- [9] G. Suárez, "Diseños experimentales Apuntes de clase del curso Seminario Investigativo VI," 2011.
- [10] W. A. Jensen, "Design and Analysis of Experiments by Douglas Montgomery: A Supplement for Using JMP®," *Journal of Quality Technology*, vol. 46, no. 2. pp. 181–181, 2017.