

# EVALUACIÓN DE DOS EQUIPOS DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICAS EN LA PROVINCIA DE ENTRE RÍOS

Fernando Carlos Raffo

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay (UTN – FRCU)  
e-mail: fcraffo@gmail.com

Nicolás Ballester

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay (UTN – FRCU)  
e-mail: nicolasballester97@gmail.com

Gisela Sinigaglia

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay (UTN – FRCU)  
e-mail: giselaasinigaglia@gmail.com

Palabras clave: generación, energía, fotovoltaico, eficiencia

## Resumen

El presente trabajo consistió en la evaluación de dos equipos de generación fotovoltaica, distante unos 40 km de distancia; uno instalado en una vivienda rural en Colonia Hugues, departamento Colón, y el otro, en una escuela rural en Colonia Los Ceibos, departamento Uruguay, ambos en la provincia de Entre Ríos.

Los equipos son de similares características en cuanto a la potencia instalada, diseño, modo de conexión a la red y se encuentran generando energía en el caso de la vivienda, desde octubre de 2017 y en la escuela desde mayo de 2018. Los datos se obtuvieron a través de un servidor en donde son archivados en planillas de cálculo por los inversores.

Dentro de los objetivos planteados se realizó una comparación de la energía eléctrica generada por los dos equipos, habiéndose constatado una diferencia significativa en el periodo junio – octubre de 2018, por lo que se realizó un relevamiento de las instalaciones, en cuanto a su orientación, ángulo con respecto a la horizontal y sistemas de montajes, luego de lo cual se seleccionó un software de energías renovables que fue validado a través de un test estadístico con el cual se verificó la eficiencia de los equipos, luego se modelaron diferentes situaciones para identificar las variables más significativas en cuanto a la eficiencia de generación y proponer las mejoras correspondientes.

Se plantearon diferentes hipótesis en cuanto al ángulo de inclinación y la búsqueda del más adecuado para la zona de implantación de los sistemas, habiendo llegado a determinar que este último no es significativo para proyectos de baja potencia instalada, siendo la calidad de los paneles fotovoltaicos seleccionados un aspecto a tener en cuenta a la hora de diseñar una instalación de este tipo

Por último se observa la necesidad de seguir realizando mediciones y su posterior análisis para ir disminuyendo los errores entre los modelos teóricos y los datos reales.

## 1 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo fue realizado por integrantes del grupo de energías renovables y adaptación al cambio climático (GELACC) de la Facultad Regional de Concepción del Uruguay (FRCU) de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) de la provincia de Entre Ríos (1).

Se analizaron los datos generados por dos sistemas de generación fotovoltaicos de baja potencia instalados en una vivienda rural en colonia Hugues en el departamento Colón y en una escuela rural en colonia los ceibos en el departamento Uruguay, distantes unos 40 km entre ambos. Ambos sistemas funcionan en paralelos con la red, tienen potencias instaladas similares y poseen el mismo inversor, diferenciándose en las características físicas de la instalación en cuanto al grado de

inclinación de los paneles, en el azimut con respecto al norte y en la marca, potencia y número de paneles. Los datos de generación de los equipos son subidos por el inversor a una página web (2), en donde se los puede visualizar a tiempo real y descargar en planillas de cálculo.

Para la selección del software y modelación, tres integrantes del GELACC se capacitaron en mayo del corriente año en la Facultad Regional de Rosario (FRRo) de la UTN, en un curso de diseño y dimensionamiento de proyectos solares fotovoltaicos, avalado por el observatorio de energía y sustentabilidad de dicha casa de estudios.



Figura 1. Ubicación geográfica de los equipos

## 2 OBJETIVOS

Comparar la energía eléctrica generada por dos equipos fotovoltaicos situados a 40 km de distancia.

Seleccionar un software de energías renovables y validar la información generada con datos reales.

Realizar distintas modelaciones para definir los parámetros que permitan mejorar la eficiencia de los equipos.

## 3 METODOLOGIA

### 3.1 Selección del software

EL software seleccionado fue el RetScreen que es un paquete de programas desarrollado por el gobierno de Canadá para el análisis de viabilidad de proyectos de eficiencia energética, energía renovable y cogeneración, así como un análisis continuo del rendimiento energético. Permite a los profesionales y tomadores de decisiones identificar, evaluar y optimizar rápidamente la viabilidad técnica y financiera de posibles proyectos de energía limpia. Esta plataforma también permite a los administradores medir y verificar fácilmente el rendimiento real de sus instalaciones y ayuda a encontrar oportunidades adicionales de ahorro de energía / producción.

Dentro del programa primero se determina la ubicación del proyecto, y de esta forma el programa tomara los datos meteorológicos más cercanos, para el caso de Hughes toma la estación meteorológica de Young, Uruguay.

Para este caso, al tener datos meteorológicos de todo el año, se reemplazaron esos datos históricos por los propios tomados de la estación experimental agropecuaria concepción del Uruguay del Instituto Nacional de Tecnología Agrícola (EEA concepción del Uruguay INTA). Los datos se utilizaron para los dos equipos, ya que la estación se encuentra equidistante a ambos (3).

Con respecto a los datos de radiación se eligieron los generados por la administración nacional de la aeronáutica y del espacio (NASA) (4).

Una vez seleccionado los datos, se define la instalación energética y se determina el tamaño, el tipo de inversor, los paneles, el ángulo, y las pérdidas. Una vez definidos estos parámetros, se calculan las generaciones mensuales y anuales de la instalación.

Como es un software canadiense, el ángulo de inclinación y azimut tienen distintos signos, ya que están adecuados para el hemisferio norte y hay que realizar las modificaciones correspondientes.

Para las pérdidas totales se tomó un valor del 12 % que abarca las pérdidas intrínsecas de los paneles fotovoltaicos y las del balance del sistema.

El rendimiento del Inversor fue seleccionado de acuerdo a los datos suministrados por el fabricante seleccionándose un valor del 96%.

Para la selección de paneles fotovoltaicos el software cuenta con una amplia gama de equipos con datos de superficie, y rendimiento. En el caso de los paneles de la escuela 23 los paneles colocados figuraban en la base de datos, mientras que con los de colonia Hugues, se tuvo que buscar unos similares con la misma eficiencia y superficie, porque no se encontraban en la base de datos. Se optó por unos de la marca Silfab.

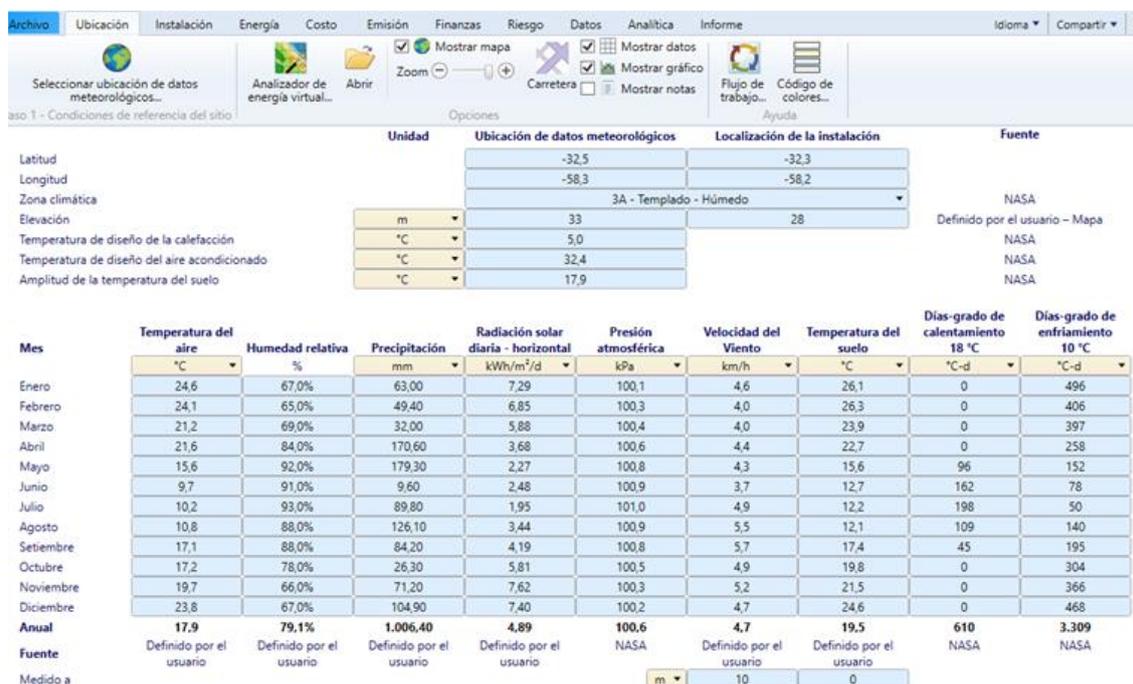


Figura 2. Vista de la carga de los datos meteorológico en el software

### 3.2 Validación de la información generada

Para poder inferir valores a partir de la comparación de los valores teóricos, dados por el software y los reales suministrado por el inversor, se debe tener la certeza que el programa y los valores a estimar, se comportan de forma idéntica o parecida con un error mínimo. Por esta razón se utilizó el Test estadístico de Mann-Whitney (5) para validar estos valores.

Entre los supuestos del test de Mann-Whitney se encuentran:

La variable de interés es continua.

Si las poblaciones son diferentes, varían solamente en lo que respecta a sus medidas de tendencia central (medias o medianas)

La hipótesis nula del contraste es que las dos muestras, de tamaño  $n_1$  y  $n_2$ , respectivamente, proceden de poblaciones continuas idénticas:

La hipótesis alternativa puede ser unilateral o bilateral y únicamente supone que la tendencia central de una población difiere de la otra. Por esta razón esta prueba es el equivalente no paramétrico de la prueba t para la diferencia de dos medias cuando las muestras son independientes, pero no puede suponerse la normalidad de las poblaciones de origen.

En síntesis se plantea la hipótesis de que las dos muestras provienen de poblaciones idénticas por lo que las variables en estudio se comportan de la misma manera no existiendo diferencia entre ellas y que sus esperanzas serán iguales.

De esta manera se podrá llevar a cabo la optimización de las instalaciones y la comparación de la una con la otra, con los modelos teóricos. Pudiendo también inferir los valores con las desviaciones porcentuales entre teórico y reales con un error menor al 5%.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Características de los equipos

Ambos equipos son de semejantes características en cuanto a la potencia instalada, modo de conexión, orientación, etc., difiriendo en algunos aspectos que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 1. Características generales de los equipos

	Colonia Hugues	Escuela N° 23
Ubicación	32° 17' 39.49" S 58° 14' 16.95" O	32° 37' 06.32" S 58° 25' 17.24" O
Inclinación	40°	22°
Azimut	17° NNO	11° NNE
Colocación	Sobre cubierta con base	Sobre cubierta sin base
Comienzo de operación	25-10-2018	1-6-2018
Modo de conexión	En paralelo red existente	En paralelo red existente
Potencia instalada	1380 vatios (w)	1350 vatios (w)
Inversor	Marca Goodwe de 1500 w	Marca Goodwe de 1500 w
Paneles	6 paneles de 230 w HB-TECH	5 paneles de 270 w JINKO
Dimensiones	1.64 m x 0.99 m, policristalinos	1.65 m x 0.99 m, policristalinos
Superficie de captación	9.75 m <sup>2</sup>	8.16 m <sup>2</sup>
Eficiencia	14 %	16 %

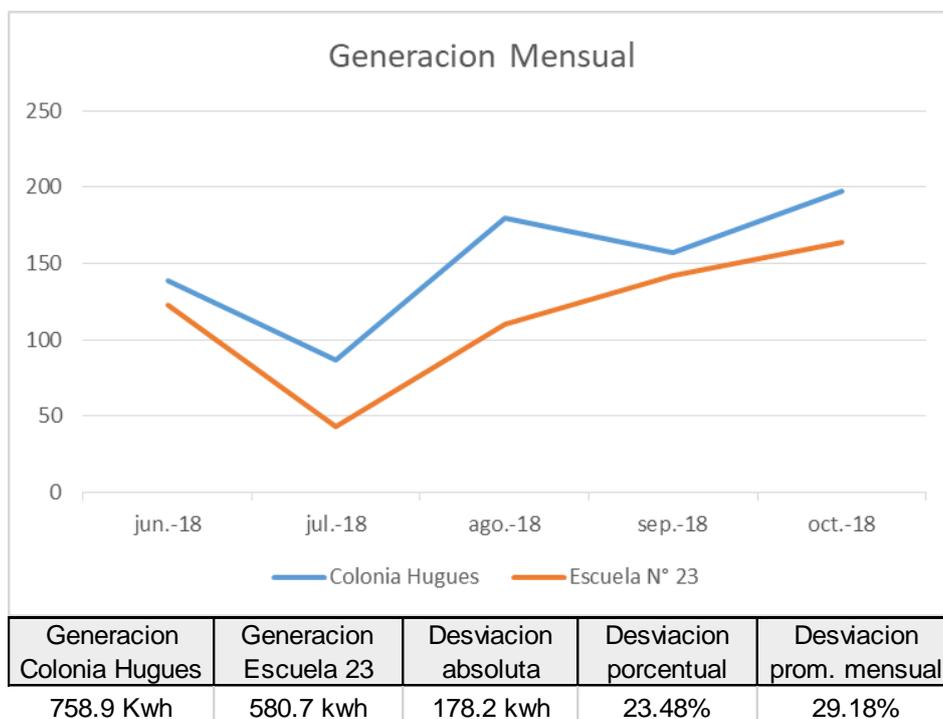


#### 4.2 Comparación de la generación de energía.

Para realizar la comparación de la energía generada por los dos equipos se tomaron como base los datos registrados por ambos inversores durante los meses de junio a octubre de 2018, si bien el equipo instalado en colonia Hugues cuenta con una base de datos más extensa (de noviembre de 2017 a octubre de 2018), no son aplicables para esta comparación pero si para el estudio.

Como se observa en la figura 3 existe una diferencia porcentual significativa entre la energía generada por el equipo instalado en la vivienda en colonia Hugues y el instalado en la escuela 23, siendo la desviación absoluta promedio mensual del 29.18 %. Si bien esta diferencia se puede aducir al ángulo de inclinación de los equipos (6), ya que el de colonia Hugues es más favorable para absorber la radiación solar durante los meses de invierno, mientras que el de la escuela 23 lo es para los meses de verano y todavía no se cuenta con esos datos para validar esta hipótesis.

También es posible que la diferencia de superficie de captación entre ambos proyectos sea una determinante y que la eficiencia de los paneles declarada por los fabricantes no se ajuste a su funcionamiento real y que existan mayores pérdidas varias, ya sea en la instalación, balance del sistema o pérdidas intrínsecas de los paneles.



**Figura 3.** Comparación de la generación mensual de los dos sistemas

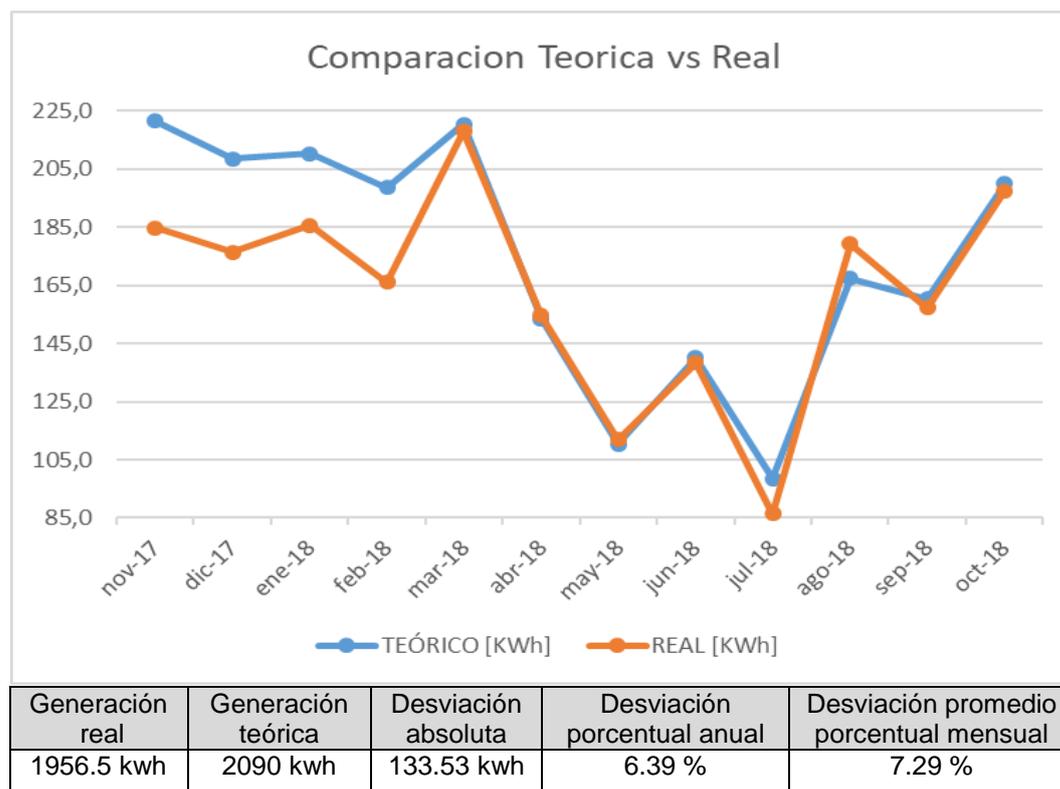
Se calcularon la eficiencia de los paneles tomando los datos diarios de radiación de la NASA, multiplicándolos por la superficie de los equipos y comparándolos con la potencia diaria generada. Con estos datos se calcularon los promedios diarios y mensuales.

La eficiencia promedio durante los meses de junio a octubre del equipo de colonia Hugues fue del 14.89 %, mientras que la anual desde noviembre de 2017 a octubre de 2018 fue del 12.7 %. Estos valores son coincidentes con los declarados por el fabricante que señala una eficiencia mayor al 14.1 % con baja radiación.

La eficiencia promedio durante los meses de junio a octubre del equipo de la escuela 23 fue del 10.25 % que es un valor muy inferior por el declarado por el fabricante del orden del 16.5 %.

#### 4.2 Ajuste del software a las condiciones reales de generación.

Se modeló el equipo de colonia Hughes que es el que cuenta con una serie anual de datos que permite atenuar las desviaciones, para ello se cargaron los datos meteorológicos de la EEA Concepción del Uruguay INTA, de radiación de la NASA y los ángulos de inclinación, azimut y de contexto del equipo, que para el caso son 40 ° y 17° respectivamente.



**Figura 4.** Comparación de la generación teórica versus la real

Se puede observar que, en la generación anual, hay una desviación porcentual del 6,4% lo que es aceptable para realizar las modelaciones para diferentes situaciones.

#### 4.3 Modelaciones.

##### 4.3.1 Determinación del ángulo de inclinación más eficiente

Para obtener los ángulos óptimos para el periodo de noviembre 2017- octubre 2018 para la

instalación de colonia Hugues, se realizó la comparación de esa generación anual teórica con distintos ángulos de inclinación, puesto que como se mencionó anteriormente, según el test de Mann-Whitney los datos a distintas inclinaciones se comportarán de la misma forma. De esta manera, la desviación porcentual que habrá entre los datos teóricos será aproximadamente la misma que en la realidad.

En primer lugar, se llevó el azimut a cero grados, ya que de esta manera se maximiza la generación anual. Y luego se fueron variando los ángulos de inclinación desde 20° a 50° para encontrar el ángulo en el que se genere mayor energía.

Según se observa en la tabla 2 a 28° se encuentra la mayor generación anual, sin embargo, a 22° la mayor captación de radiación solar. Esto se debe a que en los meses de mayor radiación (Diciembre, Enero, Febrero), la temperatura disminuye la eficiencia de los paneles.

No obstante, en general, para la zona de estudio, el ángulo óptimo de mayor captación de radiación anual y generación, ronda entre los 28° y 35°, que es congruente a lo expresado en la bibliografía (6) que es +/- 10° de la latitud. Para este caso se ubicaría entre 22° a 42°.

**Tabla 2.** Determinación del ángulo más eficiente

Ángulo inclinación AZIMUT 0°	Radiación Anual [kWh/m <sup>2</sup> /d]	Generación Anual [kWh]
20	5.171	2111.57
<b>22</b>	<b>5.176</b>	<b>2118.18</b>
24	5.175	2123.09
<b>26</b>	5.170	2126.28
<b>28</b>	<b>5.160</b>	<b>2127.74</b>
30	5.146	2127.47
32	5.127	2125.44
34	5.103	2121.67
36	5.075	2116.13
38	5.043	2108.83
40	5.005	2099.76
42	4.964	2088.92
44	4.918	2076.31
46	4.867	2061.93
48	4.813	2045.79
50	4.754	2028.02
<b>40°, AZ. 17° O</b>	<b>4.984</b>	<b>2090.30</b>

Si se hubiera optado por 22° o 28°, el aumento de la generación anual hubiera sido de 1,33% o 1,77% respectivamente.

#### 4.3.2 Determinación de la energía generada con ángulos variables

Se realizó una modelación con un sistema de ángulos variables en el cual, el ángulo en invierno sea más inclinado que en el verano.

Los ángulos de mayor captación para el período anteriormente nombrado son:

- Verano: 20°
- Invierno: 50°

Por lo tanto, teniendo la posibilidad de variar el ángulo dos veces al año, el incremento de la generación anual es del 5,2%, tomando el azimut en 0°.

Para el caso de instalaciones domiciliarias con pocos paneles, esto se puede materializar de manera sencilla con un sistema de biela en los perfiles de fijación de hierro galvanizado.

**Tabla 3.** Comparación de generación con ángulos variables y fijos

ÁNGULO	MES	TEÓRICO CON 2 ÁNG. Y AZ. 0° [KWh]	TEORICO FIJO 40° Y AZ. 17°O [KWh]	DESVIACIÓN [KWh]	DESVIACIÓN ABSOLUTA	DESVIACIÓN PORCENTUAL	PORCENTAJE ABSOLUTO
20°	nov-17	243.07	221.51	-21.56	21.5584	-8.869%	8.87%
	dic-17	234.21	208.64	-25.5679	25.5679	-10.917%	10.92%
	ene-18	233.24	210.42	-22.8237	22.8237	-9.786%	9.79%
	feb-18	209.92	198.57	-11.3472	11.3472	-5.405%	5.41%
	mar-18	218.85	220.39	1.5405	1.5405	0.704%	0.70%
50°	abr-18	156.15	153.51	-2.6414	2.6414	-1.692%	1.69%
	may-18	114.68	110.36	-4.3227	4.3227	-3.769%	3.77%
	jun-18	150.27	140.20	-10.0659	10.0659	-6.699%	6.70%
	jul-18	102.70	98.50	-4.1981	4.1981	-4.088%	4.09%
	ago-18	173.32	167.37	-5.9475	5.9475	-3.432%	3.43%
	sep-18	158.98	160.45	1.4749	1.4749	0.928%	0.93%
20°	oct-18	208.33	200.09	-8.2364	8.2364	-3.954%	3.95%
	ANUAL	2,203.7	2,090.03	-113.69	113.69	-5.159%	5.159%

#### 4.3.3 Determinación de la influencia del ángulo de inclinación en la generación

Para comprobar si la influencia del ángulo de inclinación es significativo en la generación de energía se realizó el siguiente análisis comparando las instalaciones de colonia Hugues y la escuela 23.

Mediante la comparación entre los modelos teóricos y los datos reales, se obtuvo los posibles valores inferidos, de una instalación en las mismas condiciones que la otra. Es decir, se simuló la instalación de colonia Hughes con la misma inclinación que la escuela, y se compararon los valores inferidos con los reales de la escuela. Y de la misma manera, se simuló la escuela con la inclinación de colonia Hughes, comparando los valores inferidos con los de colonia Hughes. De esta forma, si ambas modelizaciones dan la misma diferencia porcentual promedio, se podría llegar a determinar en qué porcentaje influye el ángulo de inclinación en la generación de energía.

En primer lugar se modelizó el sistema de colonia Hughes a 22° y 11° azimut noreste con las desviaciones porcentuales anteriormente mostradas entre los datos teóricos de colonia Hughes y los reales se infirió los datos teóricos de Hughes a 22° y 11° azimut este, a los reales estimativos.

Una vez obtenidos esos valores se los comparó con los reales de la escuela 23, obteniéndose una diferencia del 25,5%, 3,7% menos que la comparación entre los datos reales (figura 3).

En segundo lugar y a modo de verificación se realizó lo mismo, pero con la escuela 23, para lo cual se hizo el modelo teórico a 22° y 11° azimut de manera análoga a lo desarrollado en el punto 4.2 para colonia Hugues y así poder compararlos con los datos reales de generación obteniendo las desviaciones porcentuales, para luego poder inferir los valores.

Una vez obtenidos estos datos, se realizó la estimación a 40° y 17° azimut noroeste según se muestran en la tabla 4, luego de lo cual se comparó la estimación aproximada, con los datos de

generación reales de Hughes a 40° y 17° azimut Oeste, habiéndose calculado una desviación absoluta promedio mensual del 25,5% similar a la calculada en la modelización precedente.

La diferencia entre el valor real a 22° y el estimado a 40° es del orden del 4% según se observa en la tabla 4.

**Tabla 4.** Comparación de valores teóricos y reales para la escuela 23

MES	A 22° y 11° azimut este		A 40° y 17° azimut oeste	
	REAL 22°	TEORICO 22°	TEORICO 40°	ESTIMACIÓN DEL VALOR REAL 40°
jun-18	106.5	119.33	137.1562	122.41
jul-18	39.4	88.12	96.362	43.08
ago-18	101.5	151.19	163.7331	109.92
sep-18	139.7	154.67	156.9622	141.77
oct-18	170	203.49	195.7444	163.53
<b>TOTAL</b>	<b>557.1</b>	<b>716.7964</b>	<b>756</b>	<b>580.72</b>

## 5 CONCLUSIONES

Del análisis de los resultados obtenidos en el estudio se obtienen las siguientes conclusiones:

- Los datos teóricos de energía generados por el software, son en todos los casos mayores que los datos reales. Para proyectos de baja potencia esto no es significativo, pero si por el contrario se utilizan modelos para calcular la energía generada en instalaciones más importantes es aconsejable validarlos con mediciones de radiación in-situ para de esta forma evitar errores que puedan llevar a problemas de financiamiento para el repago de inversiones o en el caso de la existencia de contratos de venta de energía incurrir en penalidades.
- La diferencia de los ángulos de inclinación y el azimut con respecto al norte no son significativos en la generación anual de energía de los equipos analizados, siendo la alternativa de trabajar con ángulos variables la más interesante para implementar de manera práctica. Igual que para la conclusión anterior estas variables en proyectos importantes son para tener en cuenta ya que si bien el porcentaje es pequeño para grandes valores de generación de energía es un número a tener en cuenta.
- De todas las variables analizadas aparece como la más significativa a la hora de diseñar un proyecto la calidad de los paneles fotovoltaicos en cuanto a su eficiencia, ya que de no poder verificar los datos del fabricante podemos incurrir en errores a la hora de estimar el potencial de una instalación.
- Es necesario seguir analizando los datos de generación de ambos equipos para ir aumentando las series estadísticas para disminuir los errores y en lo posible validar con datos propios la radiación solar para ajustar los modelos de cálculo.

## 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) <http://www.goodwe-power.com/>
- (2) <http://www.frcu.utn.edu.ar/gelacc/>
- (3) <https://inta.gob.ar/concepcion>
- (4) <https://power.larc.nasa.gov/>

- (5) Rodrigo J.A (Julio 2017) Test de Wilcoxon-Mann-Whitney como alternativa al t-test  
Disponble en [https://rstudio-pubs-  
static.s3.amazonaws.com/218456\\_818e99f6d4e147a2abb94984d676a95b.html](https://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com/218456_818e99f6d4e147a2abb94984d676a95b.html)
- (6) Castejon Oliva, A, Herranz Santamaria G (2010). Instalaciones solares fotovoltaicas. Madrid.  
Ed.Editex.