

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**EVALUACIÓN DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA PARA APLICACIÓN
DE REFRIGERACIÓN EN POSTCOSECHA IMPLEMENTANDO UNA
GEOMETRÍA DE U INVERTIDA.**

WALTER ANDY JOE ARAYA RIVERA

PROYECTO DE TÍTULO PRESENTADO A
LA FACULTAD DE INGENIERÍA
AGRÍCOLA DE LA UNIVERSIDAD DE
CONCEPCIÓN, PARA OPTAR AL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL AGRÍCOLA.

CHILLÁN-CHILE

2023

**EVALUACIÓN DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA PARA APLICACIÓN DE
REFRIGERACIÓN EN POSTCOSECHA IMPLEMENTANDO UNA GEOMETRÍA DE U-
INVERTIDA**

David Lara Castells

Ingeniero Civil Eléctrico Dr.

Profesor Asociado

Profesor Guía

Juan Antonio Cañumir Veas

Ingeniero Agrónomo Ph.-D.

Profesor Asociado

Profesor Co-Guía

Gabriel Guillermo Merino Coria

Licenciado en Ciencias, Física Ph.-D.

Profesor Asociado

Asesor Externo

Christian Correa Farias.

Ingeniero Civil Agrícola, Dr

Profesor Asociado

Director de Departamento

María Eugenia González Rodríguez

Ingeniero Agrónomo, Ph.-D.

Profesor Asociado

Decana

AGRADECIMIENTOS

A la facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Concepción del Campus Chillán por otorgarme la oportunidad de conocer una carrera fascinante y que siempre velo por mantener encendida la llama del conocimiento en mi a través de sus constantes desafíos académicos.

En primer lugar, agradecer a los docentes y académicos que han aportado en mi formación como profesional, desde que era un advenedizo hasta este momento en donde ya me encuentro finalizando este proyecto de título.

En particular agradecer a Don David Lara Castells, que como ningún docente que he conocido forma a sus estudiantes con paciencia y dedicación como si tratase de forjar un diamante, a los profesores de la comisión evaluadora quienes han dedicado su tiempo a la verificación y retroalimentación de este proyecto de investigación.

Extiendo mi agradecimiento al profesor Jerónimo Paredes quien me oriento en las últimas asignaturas relacionadas al área matemática en mi formación como profesional, a quien deseo agradecer no solo su vasto conocimiento de esta área del conocimiento, sino que, además su racionalidad a la hora de llevar a cabo la toma de decisiones que no los me hicieron un mejor profesional, sino que también me han hecho una mejor persona.

Agradecer a Don Hugo Echevoyen Muñoz por sus constantes enseñanzas sobre el llevar una vida marcial y también sobre como ver el mundo de una

forma flexible, que no solo importa lo cuantificable, que también hay valor en aquellas cosas que no se pueden medir.

Finalmente extender este breve pero profundo agradecimiento a Pablo Gutiérrez, Francesco Placencia, Javier Berrios, Joaquín Elgueta, Guillermo Silva por ser aquellos amigos que también fueron guías en los momentos de dificultad.

DEDICATORIA

Diversas personas me han acompañado en este tiempo de formación académica pero solo algunas han estado desde su génesis hasta el fin, es por eso, por lo que mediante este humilde escrito les expreso que todo ese tiempo que invirtieron no fue perdido y aquí se es posible observar el fruto de todo ese tiempo de esfuerzo y sacrificio.

En primer lugar, quiero mencionar que esta tesis va dedicada a mi madre María Bernardita Rivera Maureira, quien ha estado implacablemente a mi lado, aconsejando y velando por mí no solo en los momentos de dificultad económica, sino que también en los momentos de dificultad espiritual, mediante sus constantes oraciones.

Mediante este breve escrito madre espero honrar tu persona y exhibir todos los valores que tú has forjado en mi a lo largo de mi vida, demostrando que a pesar de la adversidad una mentalidad firme supera cualquier obstáculo.

También ha un amigo que ha sido como un hermano en tiempos de angustia, Carlos Matías Bustos Mella, que a pesar de que su forma de ser espontánea y alegre contraste con la mía me ha brindado una visión del mundo en donde se prioriza al prójimo y se aleja de los razonamientos egoístas que hoy en día rigen nuestra competitiva sociedad.

Índice de Materias

1. Introducción.....	1
2.1 Objetivo General.....	4
2.2 Objetivos Específicos	4
3. Antecedentes Generales.....	5
3.1 Efectos de las variables ambientales en la postcosecha.....	5
3.2 Refrigeración en postcosecha	7
3.3 Soluciones fotovoltaicas para energizar sistemas off-grid.....	8
4. Metodología	17
4.1 Ubicación y características del prototipo	17
4.2 Obtención de datos de radiación y generación fotovoltaica del explorador solar.....	19
4.3 Obtención de datos de radiación y estimación fotovoltaica a partir de las estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.	19
4.4 Obtención de datos de radiación y generación fotovoltaica en el lugar del experimento.....	20
4.5 Estimación de la irradiancia en cada plano de generación.....	20
4.6 Movimiento de la tierra alrededor del sol.....	21
4.7 Configuraciones y modelos de generación fotovoltaica.....	24

4.8 Radiación difusa e índice de claridad	24
4.9 Producción energética	27
4.10 Medición y comparación	28
4.11 Sensores	29
4.12 Sensor de Temperatura.....	30
5. Resultados	33
5.1 Variables Meteorológicas desde el explorador solar	33
5.2 Desde el terreno mediante la estación meteorológica de la INIA.	36
5.3 Comparación de perfiles de radiación y temperatura	39
5.4 Generación Fotovoltaica.....	44
6. Conclusión	67
7. LITERATURA CITADA	70

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ubicación y coordenadas geográficas del lugar de la experimentación	17
Figura 2. Especificaciones técnicas del panel solar fotovoltaico JKM260P-60 (240 W-260W).....	18
Figura 3. Esquema geométrico y movimiento aparente del sol en base al sistema de referencia global	23
Figura 4. Trazador de curvas modelo E 1000.....	29
Figura 5. Promedio mensual de la irradiación diaria incidente en un plano horizontal y en un plano inclinado separada por sus componentes directa, difusa y reflejada del suelo	33
Figura 6. Promedio horario de la radiación global instantánea incidente en un plano horizontal y en un plano inclinado, separada en sus componentes directa, difusa y reflejada del suelo	34
Figura 7. A) Ciclo anual de la temperatura media, B) Ciclo diario de la temperatura media	35
Figura 8. Ciclo diario de la temperatura media a dos metros para el explorador solar	36

Figura 9.	Radiación solar horaria por mes para el año 2021 para el plano horizontal correspondiente a la estación Santa Rosa de la INIA, región de Ñuble...	37
Figura 10.	Ciclo diario de la temperatura media del aire para la estación meteorológica de Santa Rosa perteneciente a la INIA	38
Figura 11.	Ciclo diario de la temperatura media de la superficie para la estación meteorológica de Santa Rosa perteneciente a la INIA	39
Figura 12.	Radiación solar para el panel con acimut 0° e inclinación 0° para el mes de junio del 2022.....	40
Figura 13.	Radiación solar para el panel con acimut 90° e inclinación 90° para el mes de junio del 2022.....	41
Figura 14.	Radiación solar para el panel con acimut 270° e inclinación 90° para el mes de junio del 2022.....	42
Figura 15.	Ciclo diario de la temperatura media correspondiente a los datos obtenidos del explorador solar y de la estación meteorológica Santa Rosa de la INIA	43

Figura 16.	Ciclo diario de la temperatura media correspondiente a los datos obtenidos del explorador solar y de la estación meteorológica Santa Rosa de la INIA	43
Figura 17.	Relación entre radiación solar y corriente eléctrica para el panel con acimut 0° e inclinación 0° para el mes de junio	45
Figura 18.	Relación entre radiación solar y corriente eléctrica para el panel con acimut 90° e inclinación 90° mes de junio.....	45
Figura 19.	Relación entre radiación solar y corriente eléctrica para el panel con acimut 270° e inclinación 90° mes de junio	46
Figura 20.	Generación fotovoltaica horaria mensual (GF) para un arreglo de tres paneles JKM260P-60, en configuración de U invertida por mes con datos obtenidos por medio del explotador solar.....	47
Figura 21.	Generación fotovoltaica para el panel con acimut 0° e inclinación 0° para el mes de junio del 2022.....	48
Figura 22.	Generación fotovoltaica para el panel con acimut 90° e inclinación 90° para el mes de junio del 2022.....	49

Figura 23.	Generación fotovoltaica para el panel con acimut 270° e inclinación 90° para el mes de junio del 2022.....	49
Figura 24.	Generación fotovoltaica para el arreglo de paneles en geometría de U invertida para el mes de junio del 2022.....	50
Figura 25.	Generación fotovoltaica para cuatro paneles con acimut 0° e inclinación 0° para el mes de junio del 2022.....	51
Figura 26.	Generación fotovoltaica para tres paneles con acimut 90° e inclinación 90° para el mes de junio del 2022.....	51
Figura 27.	Generación fotovoltaica para tres paneles con acimut 270° e inclinación 90° para el mes de junio del 2022.....	52
Figura 28.	Generación fotovoltaica para el arreglo de paneles en geometría de U invertida para el mes de junio del 2022.....	52
Figura 29.	Fusión de datos para la generación fotovoltaica correspondientes a los meses de mayo y junio para el 2022 por cara de la cámara de refrigeración.....	53

Figura 30.	Fusión de datos para la generación fotovoltaica correspondientes a los meses de mayo y junio para el 2022 para el arreglo de la cámara de refrigeración.....	53
Figura 31.	Relación 1:1 para generación fotovoltaica del panel con acimut 0° e inclinación 0°	56
Figura 32.	Relación 1:1 para generación fotovoltaica del panel con acimut 0° e inclinación 0°	56
Figura 33.	Relación 1:1 para generación fotovoltaica del panel con acimut 90° e inclinación 90°	57
Figura 34.	Relación 1:1 para generación fotovoltaica del panel con acimut 270° e inclinación 90°	57
Figura 35.	Fusión de datos para la radiación solar correspondientes a los meses de mayo y junio para el 2022 por cara de la cámara de refrigeración.....	58
Figura 36.	Generación fotovoltaica para el arreglo de diez paneles en geometría de U invertida para el mes de junio del 2022.....	59
Figura 37.	Generación fotovoltaica para un panel con simulación de datos obtenidos en terreno (DOT) para acimut 0° e inclinación 0°	62

Figura 38.	Generación fotovoltaica para un panel con simulación de datos obtenidos en terreno (DOT) para acimut 90° e inclinación 90°	62
Figura 39.	Generación fotovoltaica para un panel con simulación de datos obtenidos en terreno (DOT) para acimut 270° e inclinación 90°	63
Figura 40.	Relación 1:1 para generación fotovoltaica del panel con acimut 0° e inclinación 0° para DOT.....	65
Figura 41.	Relación 1:1 para generación fotovoltaica del panel con acimut 90° e inclinación 90° para DOT.....	65
Figura 42.	Relación 1:1 para generación fotovoltaica del panel con acimut 270° e inclinación 90° para DOT.....	66

ÍNDICE DE ECUACIONES

		Página
Ecuación 1.	Radiación total incidente sobre el plano inclinado.....	21
Ecuación 1.1.	Radiación directa incidente.....	21
Ecuación 1.2.	Radiación difusa incidente de la atmosfera.....	21
Ecuación 1.3.	Radiación reflejada incidente.....	21
Ecuación 2.	Ángulo de declinación.....	22
Ecuación 3.	Hora solar aparente.....	23
Ecuación 4.	Transformación de días a radianes.....	23
Ecuación 5.	Hora solar real.....	23
Ecuación 6.	Vector director del panel solar.....	24
Ecuación 7.	Radiación en el cielo con nubosidad.....	25
Ecuación 8.	Índice de claridad.....	25
Ecuación 8.1	Radiación incidente corregida.....	25
Ecuación 8.2	Factor de corrección de excentricidad de la órbita terrestre.....	25
Ecuación 8.3	Radiación global extraterrestre.....	26
Ecuación 8.4	Relaciones angulares incidencia de los rayos solares...	26
Ecuación 9.	Temperatura del panel solar fotovoltaico.....	26
Ecuación 10.	Capacidad del arreglo fotovoltaico.....	28
Ecuación 11.	La potencia de salida del panel fotovoltaico.....	28
Ecuación 12.	Root mean square error.....	31

Ecuación 13.	Diferencias relativas.....	31
Ecuación 14.	Coeficiente de determinación R-cuadrado.....	32
Ecuación 15.	Error porcentual.....	32

EVALUACIÓN DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA PARA APLICACIÓN DE REFRIGERACIÓN EN POSTCOSECHA IMPLEMENTANDO UNA GEOMETRÍA DE U-INVERTIDA

EVALUATION OF PHOTOVOLTAIC GENERATION FOR POST-HARVEST COOLING APPLICATION IMPLEMENTING AN INVERTED-U GEOMETRY

Palabras claves: Refrigeración fotovoltaica, refrigeración móvil, postcosecha fotovoltaica.

RESUMEN

El objetivo principal de esta investigación consistió en realizar una evaluación de las condiciones de radiación y posterior generación fotovoltaica para la macrozona centro sur de Chile, específicamente en la región Ñuble, en la ciudad de Chillán, para de esta manera identificar la radiación solar incidente para la implementación de un arreglo solar fotovoltaico sobre las paredes laterales y superior de una cámara de refrigeración móvil para actividades de postcosecha.

El análisis fotovoltaico se realizó mediante la comparación de los datos obtenidos en terreno con la implementación de un panel solar Jinko, en condiciones de máxima radiación en la estación del año de estudio. Para la medición de variables atmosféricas como temperatura y radiación solar en el plano del panel se utilizó un trazador de curvas E1000.

Los resultados obtenidos revelaron que es posible llevar a cabo una estimación de esta situación mediante la implementación de las ecuaciones del explorador solar, la que además contempla los efectos de la nubosidad en su modelamiento matemático.

Finalmente, la obtención de la energía generada reveló que para el mes crítico (el mes de menor irradiancia), para un día soleado, la generación fotovoltaica satisface los requerimientos energéticos para la cámara de refrigeración.

EVALUATION OF PHOTOVOLTAIC GENERATION FOR POST-HARVEST COOLING APPLICATION IMPLEMENTING AN INVERTED-U GEOMETRY

Keywords: Photovoltaic refrigeration, mobile refrigeration, photovoltaic postharvest.

SUMMARY:

The main objective of this research was to carry out an evaluation of the radiation conditions and subsequent photovoltaic generation for the central-southern macrozone of Chile, specifically in the Ñuble region, in the city of Chillán, to identify the incident solar radiation for the implementation of a solar photovoltaic array on the side and top walls of a mobile refrigeration chamber for post-harvest activities.

The photovoltaic analysis was carried out by comparing the data obtained in the field with the implementation of a Jinko solar panel, under conditions of maximum radiation in the season of the study year. To measure atmospheric variables such as temperature and solar radiation in the plane of the panel, an E1000 curve tracer was used.

The results obtained revealed that it is possible to estimate this situation by implementing the solar explorer equations, which also considers the effects of cloudiness in its mathematical modeling.

Finally, obtaining the generated energy revealed that for the critical month (the month of lowest irradiance), for a sunny day, the photovoltaic generation satisfies the energy requirements for the refrigeration chamber.

1. Introducción

El recurso solar es considerado el recurso de mayor abundancia en el planeta Tierra, limpio, fácil de encontrar, seguro, inagotable y duradero (Vargas Gil, y otros, 2020). La facilidad para encontrar este recurso combinado con la abundancia de este en el planeta genera incentivos para aprovecharlo. Generalmente se aprovecha mediante la radiación solar que viaja por espacio sin tener problemas llegando hasta la superficie de nuestra atmosfera y traspasándola, llegando a la superficie terrestre. Esta energía radiante es posible transformarla en energía eléctrica mediante la implementación de arreglos fotovoltaicos y de esta forma mitigar costos eléctricos y generar independencia energética a sus usuarios otorgando una segunda fuente energética (además del sistema interconectado central).

A diferencia de otros recursos energéticos, este se caracteriza por presentar una baja emisión de agentes nocivos al medioambiente, generando una menor huella de carbono e hídrica en el corto y largo plazo en los procesos de generación de energía eléctrica. De esta manera el potencial que presentan las energías bajas en carbono (como la fotovoltaica) requiere ser considerada como un foco especial de atención, para de esta forma proteger el medioambiente y generar además un incremento en la conciencia de los habitantes del país sobre la conservación de energía (Ren, Tian, Liu, & Shen, 2020).

Otro incentivo para las comunidades relacionado con el uso de energía fotovoltaica corresponde a la repercusión económica subyacente. En la República popular China se ha presentado desde los años 70 la implementación de esta tecnología en donde han realizado diversos planes de expansión en esta materia (Han, Xiong, Wang, & Yang, 2020). La implementación de estaciones fotovoltaica de alivio de la pobreza en diferentes sectores de China que generó una reducción de 5.982.395 toneladas de emisiones de carbono (Mengyao, Jiao, Siyuan, & Yu, 2020) lo que no solo mitigo la pobreza en el sector, sino que además disminuyo la generación correspondiente a gases de efecto invernadero.

Las aplicaciones en materia fotovoltaica son diversas, dentro de estas se encuentran la electrificación de viviendas, bombeo de agua y sistemas de riego de diversa índole, señalización de carreteras y señaléticas viales, refrigeración para mantención de medicamentos y vacunas, mantención de frutas en postcosecha, etc.

En particular las aplicaciones de refrigeración que se combina con la energía fotovoltaica presentan una mejor coincidencia que los perfiles de calefacción producto del requerimiento de mayor potencia de enfriamiento cuando hay mayor energía solar (Lillo-Bravo, Bobadilla, Moreno-Tejera, & Silva-Pérez, 2020) (otros autores como (Li, Wang, Kiplagat, & Chen, 2010) presentan la misma conclusión respecto al perfil de enfriamiento y su correlación positiva con la radiación incidente).

En el área de la salud la refrigeración se utiliza para mantener a una temperatura del orden de los 0-8°C y de esta forma no generar deterioro y pérdida de vacunas (ya que en diversos países en vía de desarrollo se presenta un gran número de pérdidas humanas producto de la carencia de vacunas) (Gupta, Bhatnagar, & Mathur, 2014). Lo anterior revela el potencial de la refrigeración para la mantención de elementos sensible a la temperatura y otras variables atmosféricas.

De esta forma en la ciudad de Chillán en la región de Ñuble para un clima mediterráneo continentalizado se desea responder la siguiente pregunta de investigación: ¿Es factible implementar un sistema de refrigeración fotovoltaica móvil?, ¿El modelo provisto por el explorador solar permite realizar una estimación que se aproxime significativamente a la radiación solar incidente y a la generación fotovoltaica real?

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Evaluar y analizar la generación de energía de un sistema fotovoltaico aplicado a una cámara de refrigeración móvil.

2.2 Objetivos Específicos

- Analizar la irradiancia global y la potencia generada en cada una de las caras de la cámara de refrigeración en el sector geográfico de estudio, preservando las dimensiones originales de la cámara, con geometría de U invertida.
- Implementar las ecuaciones de la generación fotovoltaica del arreglo propuesto para obtener la generación promedio diaria a partir de datos locales.
- Implementar el arreglo fotovoltaico en terrero para posteriormente medir la irradiancia y la potencia generada en un sistema fotovoltaico cúbico, estableciendo diferencias con las estimaciones previas.
- Analizar, comparar y contrastar las potencias fotovoltaicas del arreglo propuesto, la información histórica asociada (correspondiente al explorador solar).

3. Antecedentes Generales

3.1 Efectos de las variables ambientales en la postcosecha

Chile como potencia agroalimentaria requiere de aplicaciones solares que permitan ampliar la vida útil de los alimentos sin que estos pierdas sus características organolépticas.

Según (Tirawat, Flick, Mérendet, Derens, & Laguerre, 2016) algunas hortalizas en postcosecha presentaron un rápido deterioro almacenados a temperatura ambiente y luz solar.

Autores como (Quevedo, Pedreschi, Bastias, & Díaz, 2015), (Carvalho, y otros, 2018), (Díaz de León-Sánchez, y otros, 2009) y (Ghirardello, y otros, 2013) han identificado que las variables atmosféricas generan un efecto perjudicial en los alimentos (principalmente la temperatura y la humedad relativa) particularmente en espárragos blancos, arroz y tomates respectivamente.

Como solución, las investigaciones revelan que la temperatura baja es una forma de prolongar la vida útil de la fruta en las actividades de postcosecha (Li, Cheng, Dong, Shang, & Guan, 2017).

En el caso del pardeamiento visible en peras Nanguo (una variedad de *Pyrus ussuriensis* Maxin) para un periodo de almacenamiento de 60 días a 0°C, disminuyeron los niveles de Adenosin trifosfato (ATP) y cambios de la energía (EC) que interrumpen el metabolismo energético. Si bien existen frutas que presentan un alto grado de sensibilidad a las bajas temperaturas al controlar

el sistema de refrigeración (LTC) se controla el descenso sustancial de la energía celular, manteniendo altos los niveles de ATP y EC además de retrasar el PB durante la vida útil (Wang, y otros, 2017). Otro caso de conservación de fruta a baja temperatura corresponde a la conservación de nectarinas a temperaturas cercanas al punto de congelación dada su condición de fruta climatérica que madura rápidamente en condiciones ambientales (Zhao, Shu, Fan, Cao, & Jiang, 2018).

Los resultados obtenidos por (Gwanpua, Jabbar, Zhao, Heyes, & East, 2017) identificaron que un mejoramiento paulatino en el nivel de enfriamiento de la fruta se correlaciona positivamente con una mejor retención de la firmeza de igual manera como lo revelaron los estudios de (Yang, y otros, 2013) (Zhao, Bronlund, & East, 2015) (Zhao M. J., 2017) (extraído de (Yang, y otros, 2013))

Las características físicas, químicas y sensoriales de *Corylus avellana* L presentaron mejores niveles en todas las características mencionadas al ser conservadas bajo el tratamiento de refrigeración al ser comparadas con el tratamiento de temperatura ambiente (aunque peores que el tratamiento de atmosferas modificadas) tal y como menciona (Ghirardello, y otros, 2013). La e-tounge para distintas variedades de tomates identifico diferencias en las características sensoriales en las variedades para distintos tratamientos particularmente en refrigeración (Xu, y otros, 2017) la estructura fisicoquímica se ve afectada dependiendo del método de conservación. (Yu, Yang, Teixeira da Silva, Luo, & Duan, 2018) identificaron cambios en el contenido de

polisacáridos y glucosas para distintas temperaturas de almacenamiento, concluyendo que el almacenamiento a temperaturas bajas son una mejor alternativa para mejorar el contenido de estos componentes y extender la vida útil de *D. officinale*.

Es por estas razones que la refrigeración y congelación logran mitigar los problemas relacionados con los alimentos al ser guardados en cámaras que refrigeración, controlando la temperatura ambiente y de esta forma detener la actividad microbiana.

3.2 Refrigeración en postcosecha

Las cámaras de refrigeración de postcosechas se energizan desde la red eléctrica central, sin embargo, en sectores donde no hay acceso de manera continua a una red eléctrica la implementación de arreglos fotovoltaicos es una solución para mantener los procesos de refrigeración de postcosecha.

(Ioan & Calin, 2013) reveló en su trabajo que los sistemas fotovoltaicos y de enfriamiento térmico activado son utilizados de manera transversal satisfaciendo fines domésticos e industriales.

La demanda energética de las cámaras de refrigeración es diversa sin embargo en promedio corresponde $55.8 \text{ kWh m}^{-3} \text{ año}^{-1}$ (presentando un mínimo y un máximo de $4.4 \text{ kWh m}^{-3} \text{ año}^{-1}$ y $250.4 \text{ kWh m}^{-3} \text{ año}^{-1}$ respectivamente) (Evans, y otros, 2014).

La estabilidad de un sistema de refrigeración fotovoltaica mejora cuando el arreglo presenta un sistema de baterías integrado, no obstante, otros parámetros como la eficiencia del sistema varía en función de la radiación solar (Lei, Guo, & Dai, 2019).

En función de su aplicación la demanda energética de las cámaras de refrigeración y congelación cambia, (Terehovics, Solooha, Veidenbergs, & Blumberga, 2018) concluyeron que para el caso particular de pescado se presenta una correlación positiva entre la demanda de frío y la temperatura (además de identificar la demanda el rango de consumo eléctrico por tonelada de producto que corresponde de 70 a 130 kWh por tonelada de producto para refrigerar).

(Alves, Brito, Lopes, & Reis, 2014) obtuvieron un consumo energético para una cámara de refrigeración en la industria láctea de 29.205 kWh en su trabajo de optimización de energía requerida en este tipo de cámaras.

Por otro lado, el comercio actual ofrece sistemas de refrigeración que inician desde los 815 W hasta los 2.964 W con un consumo constante de 0,6 kW (isotermia, 2021).

3.3 Soluciones fotovoltaicas para energizar sistemas off-grid

En los países en vías de desarrollo no se cuentan con redes estables de corriente eléctrica para diversas aplicaciones (Gupta, Bhatnagar, & Mathur,

2014), por lo que la implementación de un sistema de refrigeración independiente de la red eléctrica se considera como solución energética.

Un principio fundamental en la instalación de arreglos fotovoltaicos para la mayoría de las aplicaciones corresponde a seleccionar la ubicación que maximice el rendimiento energético anual. Sin embargo, afecta negativamente a otros indicadores relacionado a la demanda energética del sistema alimentado (Litjens, Worrell, & van Sark, 2017).

Dentro de los efectos de mayor significancia en los estudios de fotovoltaica son producto de la inclinación, orientación y suciedad según lo revelado en el estudio de (Babatunde, Abbasoglu, & Senol, 2018).

A nivel estructural la instalación de arreglos fotovoltaicos en orientaciones no óptimas ha sido materia de estudio de diversos autores dada la repercusión económica en el consumo energético en edificios lo que brinda una línea de estudio respecto a las configuraciones geométricas tradicionales. (Sánchez & Izard, 2014) concluyó en su trabajo que la producción de electricidad mensual observada es más constante que la irradiación horizontal mensual, revelando ventajas en el sistema fotovoltaico implementado en su investigación con respecto al balance de electricidad neta. Si bien en este trabajo la orientación seleccionada no fue óptima se mejoraron aspectos relacionados a la potencia de salida y se mejoró el ajuste de producción energética al consumo.

Sin embargo, a pesar de obtener mejores balances de energía neta la implementación de una orientación específica de un arreglo fotovoltaico genera bajos niveles de eficiencia económica (esto en función de la zona de estudio) tal y como lo plantea (Myeonchan, y otros, 2020). Ahora (Rhythm & Rangan, 2016) plantea una idea similar respecto a la modificación de ángulos óptimos de inclinación hablando de una perspectiva anual y una perspectiva mensual en donde se observó un incremento de un 1.1% en términos de radiación solar recibida para un contexto de gran escala en Mumbai.

Según las investigaciones de (Moaleman, y otros, 2017) combinaciones fotovoltaicas con otro concepto para satisfacer otros tipos de demandas energéticas (como termosolares y combinaciones de climatización) no satisfacen las demandas eléctricas simuladas para un edificio careciendo de más de 6000 kWh.

En Alemania se llevaron a cabo análisis respecto a la orientación entregando un mayor grado de autarquía y menor costo cuando la orientación es hacia el sur (Lahnaoui, Stenzel, & Linssen, 2017) (dado que la ubicación se encuentra en el hemisferio norte a diferencia de Chile que su mejor orientación es hacia el norte).

(Almeida, Narvarte, & Lorenzo, 2018) propone un arreglo fotovoltaico con una configuración denominada delta, para de esta manera obtener perfiles diarios de irradiancia constante sin la implementación de seguidores solares. Esta configuración consiste en dos mitades orientadas al este y al oeste con una

inclinación de 60°. Otras configuraciones que no optimizan la orientación de los paneles dada las condiciones geométricas de la estructura previa en donde se implementan los paneles corresponde a las Fotovoltaica Integrada en Edificios (BIPV por sus siglas en ingles), las investigaciones de (Chatzipanagi, Frontini, & Virtuani, 2016) trabajaron con diferentes inclinaciones (de 30° y 90°) las que presentaron problemas de temperaturas (las que disminuyen el rendimiento del arreglo) por otro lado la configuración con una inclinación de 30° presento mayores niveles de energía que el de 90°, esto producto de la estación del año, sin embargo, cuando se produjo el cambio de estación la configuración de 90° no revelo mejores resultados, producto de los efectos de las sombras generadas.

La extrapolación en la instalación de un sistema de refrigeración a un conjunto de sistemas de refrigeración debe considerar los efectos de las sombras producidos por los sistemas aledaños de igual forma como se realizó en la simulación de BIPV para una ciudad con una alta densidad de edificios. Según (Sun, Kiang, En Rong, Chen, & Reindl, 2021).

La cantidad de energía consumida en un refrigerador depende en primer lugar del termostato que posea y también de la carga presente en él. (Daffallah, Benghanem, Alamri, Joraid, & Al-Mashraqui, 2017) encontraron variaciones en el consumo energético dada la condición de almacenamiento presentando una correlación positiva, lo que indica que para el análisis fotovoltaico deben considerarse estas condiciones para satisfacer la demanda energética.

Los modelos de generación energética mediante implementación de arreglos fotovoltaicos requieren conocer la radiación efectiva incidente sobre los paneles, ahora los modelos de cálculo de radiación solar son diversos presentando enfoques diferentes en función de las condiciones atmosféricas. En implementaciones relacionadas a sistemas de refrigeración fotovoltaica dinámica (Peng, Jie, Jingyong, Yuhe, & Kedong, 2020) presenta un modelo de alta precisión para este tipo de sistemas revelando al igual que otros autores que las variables que presentan un alto índice de correlación con el índice de refrigeración son la temperatura ambiente y la radiación incidente. El trabajo de (Wang, Li, Du, Ji, & Xu, 2018) también revela la coincidencia entre perfil radiante y perfil de refrigeración. (Molina Monje, 2017) presentó dos modelos, uno para cielos despejados y otro para cielos con nubosidad. En el caso del modelo para un cielo con nubosidad se obtuvo una función empírica para describir la relación entre el porcentaje de atenuación y la reflectividad. De esta forma es posible obtener las variables de radiación directa, difusa y reflejada que componen la radiación total en un plano inclinado. En otras investigaciones se observó que la combinación de la orientación de los paneles fotovoltaicos con las variables meteorológicas genera repercusiones en la eficiencia tal y como lo plantean (Wenwen, y otros, 2020).

(Esclapés, Ferreiro, Piera, & Teller, 2014) establecen que el análisis de imágenes satelitales para la aplicación fotovoltaica en una zona urbana con una alta densidad de edificios de características uniforme no permite la

instalación de paneles en ángulo de 90° (y en consecuencia de 270°). El análisis de estas aplicaciones se ve afectado por el sombreado de los edificios vecinos a lo largo del día para los edificios cercanos a otro arbitrario con un sistema fotovoltaico implementado con la configuración de ángulos 0° , 90° y 270° . Esto se relaciona con la densidad de edificios por kilómetro cuadrado en la ciudad. Al emplear esta misma idea en las aplicaciones de refrigeración para un conjunto de equipos de refrigeración es posible llevar a cabo el control de la densidad reubicando los equipos para mitigar el problema de las horas de sombras aun en presencia de radiación.

Las configuraciones pensadas para hogares o edificios no cuentan en todos los casos con un área superficial del 100%, los estudios de (Mokhtara, Negrou, Settou, & Bouferrouk, 2021) revelaron que en promedio las áreas optimas corresponden a un 60% de la superficie, con un ángulo de inclinación correspondiente a 17° , en condiciones climáticas de África del Norte (sin embargo, dada la arquitectura de las cámaras frigoríficas este no representa un problema dado que tiene una superficie uniforme).

Por otro lado (Molina Monje & Martínez, 2017) detalla diferentes configuraciones en lo que se relaciona al montaje de paneles (panel fijo horizontal, panel horizontal con seguimiento en eje horizontal norte sur (HSAT), panel inclinado con seguimiento en eje horizontal norte sur (HTSAT), panel inclinado con seguimiento en eje inclinado norte sur (TSAT), panel inclinado con seguimiento en eje vertical (VSAT) y panel con seguimiento en

dos ejes, uno horizontal y uno vertical). Una configuración sencilla corresponde a la del panel fijo horizontal en donde el panel fotovoltaico se ubica con una cierta inclinación respecto al plano horizontal y el eje central del plano se orienta con un acimut respecto del norte.

En primera instancia los paneles solares fotovoltaicos desarrollados y comercializados presentaban características rígidas, con el paso de los años y el avance tecnológico.

Si bien las tecnologías relacionadas a los paneles solares fotovoltaicos flexibles presentan su génesis en aplicaciones espaciales con el objetivo de asegurar la fuente de energía de los satélites (Kwak, y otros, 2017), también son aplicables a paneles y arreglos solares implementados en la superficie terrestre, con el fin de incrementar la durabilidad del arreglo y protegerlo en contra de los golpes o cargas puntales o distribuidas sobre los paneles. Una solución para este tipo de problemas son las células solares de silicio de película delgada y flexible fabricada sobre sustratos de vidrio flexible. Esta tecnología fotovoltaica utiliza sustratos transparentes flexibles y tiene un alto potencial para minimizar las pérdidas de celda (Myong, Jeon, & Kwon, 2013). Sin embargo, este tipo de paneles presentan diversos problemas de eficiencia en comparación con los paneles rígidos, presentando niveles inferiores de eficiencia.

La orientación de los paneles es una actividad clave a la hora de montar un arreglo fotovoltaico, esto producto de la necesidad de obtención de un ángulo

de incidencia normal al arreglo ya que de esta forma se maximiza la energía generada, en todas las aplicaciones se busca obtener la mayor cantidad de energía generada por el arreglo y en base a esto se ha trabajado en distintas técnicas como los paneles de láminas de seleniuro de galio, de indio o de cobre que en aplicaciones estructurales han recibido una atención significativa en aplicaciones para la techumbre (también se tienen las láminas orgánicas en aplicaciones de ventanas solares) (Ding, y otros, 2014).

(El-Sebaili, Al-Hazmi, Al-Ghamdi, & Yaghnour, 2010) revelaron que la inclinación de los paneles debe ser igual a la latitud $\pm 15^\circ$, de esta forma otro tipo de inclinación no otorgara resultados óptimos para un análisis realizado en Jeddah (Arabia Saudita).

Un punto relacionado a la orientación corresponde a la cantidad de veces que debe ser corregida durante un año. (Al Garni, Awasthi, & Wright, 2019), para estudios realizados en Arabia Saudita cinco correcciones en un año generaron un incremento de un 3,63% en el rendimiento energético al compararlo con un sistema fijo durante todo el periodo. También (Sreenath, Sudhakar, & Yusop, 2021) en su estudio de simulación para un aeropuerto en India revelo un 35% de generación eléctrica por sobre un sistema de inclinación fija.

(Cruz Torres, 2013), revelo que la distancia límite para la mantención de representatividad de la variable meteorológica precipitación correspondió a 10 Km.

En términos atmosféricos los estudios realizados por indican que existe uniformidad de variables atmosféricas en sectores con radios de 30 *km*. Incluso estaciones a mayores distancias presentan homogeneidad en variables atmosféricas según lo revelado por (Guajardo-Panes, Granados-Ramírez, Sánchez-Cohen, Díaz-Padilla, & Barbosa-Moreno, 2017).

En particular este trabajo utiliza la implementación de paneles fotovoltaicos policristalinos (producto de su mayor resistencia a la temperatura) para una cámara de refrigeración ubicando los paneles con una configuración de U invertida con acimut 0°, 90° y 270°, generando con esta configuración niveles constantes de energía eléctrica generada por el arreglo, a pesar de no presentar características que maximicen la generación eléctrica.

En base a lo anterior se identificó que en los procesos de postcosecha la conservación de diversos alimentos a bajas temperaturas prolonga la vida útil de estos, mitigando la actividad microbiana y la proliferación de microorganismos que deterioran estos artículos. La energización de diversos sistemas que requieren energía eléctrica constante para su funcionamiento es considerada un problema en países en vía de desarrollo dado que la red eléctrica no entrega un suministro estable por lo que los sistemas fotovoltaicos de diversas índoles son considerados una potencial solución para el suministro energético (considerando que la refrigeración se requiere mayormente cuando hay mayor temperatura y radiación solar). Es por esta razón que en esta investigación se determinó la energía producida por un arreglo fotovoltaico por

el modelo básico y el modelo avanzado presentado por Molina Monje para un sistema fotovoltaico compuesto por tres arreglos en distinta orientación e inclinación, a través de una simulación y comprobación mediante mediciones en un sistema a escala.

4. Metodología

4.1 Ubicación y características del prototipo

El trabajo se implementó en la región de Ñuble, en la Universidad de Concepción del campus Chillán, en la ciudad de Chillán, en la estación meteorológica de la facultad de Ingeniería Agrícola (latitud: 36.5956°S , longitud 72.0796°O), Figura 1. Finalmente, no se consideró dentro del estudio el efecto de los aerosoles ya que el espacio experimental permitió despreciar estos efectos ni se consideró las sombras producidas por efectos topográficos, tampoco se consideró los efectos producidos por la radiación reflejada por la nieve.

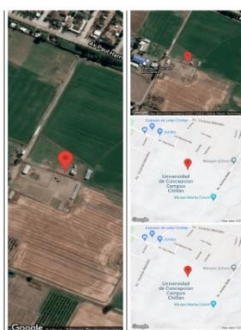


Figura 1. Ubicación y coordenadas geográficas del lugar de la experimentación. (Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile, 2021).

La configuración que se evaluó se compuso por un panel solar fotovoltaico modelo JKM260P-60 (jinkosolar) que se orientó de distintas maneras. El panel se ubicó orientado hacia el este, con inclinación 90° y acimut 90°, el segundo panel se ubicó, con inclinación 0° y acimut 0° y el tercero se ubicó hacia el oeste, con inclinación 90° y acimut 90°.

SPECIFICATIONS										
Module Type	JKM240P		JKM245P		JKM250P		JKM255P		JKM260P	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	240Wp	176Wp	245Wp	179Wp	250Wp	183Wp	255Wp	187Wp	260Wp	191Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	30.0V	27.3V	30.2V	27.5V	30.4V	27.7V	30.6V	27.9V	30.7V	28.0V
Maximum Power Current (Imp)	8.01A	6.45A	8.12A	6.51A	8.23A	6.61A	8.34A	6.70A	8.47A	6.82A
Open-circuit Voltage (Voc)	37.2V	34.1V	37.4V	34.3V	37.6V	34.5V	37.7V	34.6V	37.8V	34.7V
Short-circuit Current (Isc)	8.56A	6.89A	8.69A	7.01A	8.81A	7.10A	8.95A	7.21A	9.11A	7.34A
Module Efficiency STC (%)	14.66%		14.97%		15.27%		15.58%		15.89%	
Operating Temperature(°C)					-40°C~+85°C					
Maximum system voltage					1000VDC (IEC)					
Maximum series fuse rating					15A					
Power tolerance					±3% / -0~+3% (Based on customer requirements and contract terms)					
Temperature coefficients of Pmax					-0.43%/°C					
Temperature coefficients of Voc					-0.32%/°C					
Temperature coefficients of Isc					0.06%/°C					
Nominal operating cell temperature (NOCT)					45±2°C					

Figura 2. Especificaciones técnicas del panel solar fotovoltaico JKM260P-60 (240 W-260 W). Fuente:(jinkosolar).

El análisis fotovoltaico se llevó a cabo sobre el supuesto de implementación de una cámara de refrigeración de dimensiones 3 m de largo por 2,5 m de alto y 2,0 m de ancho. Esta situación permitió establecer una cantidad máxima de 10 paneles por cámara de refrigeración, en donde en las caras laterales, es decir, en las caras de inclinación 90°, se estimó una capacidad máxima de 3 paneles por cara lateral, es decir, 6 paneles laterales totales y 4 paneles en la cara superior correspondiente a la de inclinación 0° y acimut 0° y de esta forma

se simuló la energía entregada por el sistema fotovoltaico a la cámara de refrigeración en las condiciones anteriores.

4.2 Obtención de datos de radiación y generación fotovoltaica del explorador solar

En primer lugar, se llevó a cabo la obtención de los datos correspondientes a radiación solar y generación fotovoltaica en las inclinaciones que se estudiaron.

Mediante el menú principal del explorador solar se llevó a cabo labores de elección de localización geográfica, configuración de los datos geométricos asociados a la configuración solar fotovoltaica como la inclinación y el acimut de los paneles.

4.3 Obtención de datos de radiación y estimación fotovoltaica a partir de las estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.

Se obtuvieron los datos a partir de las estaciones agrometeorológicas del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuaria (INIA) los datos de radiación solar y de temperatura de su página agrometeorología que correspondió a la Estación Santa Rosa que se ubicó en la región de Ñuble a 30 kilómetros del punto de medición, posteriormente se llevó a cabo la estimación de la energía generada por el panel con estos datos meteorológicos.

De esta manera se utilizaron los datos la estación anterior en las ecuaciones de (Molina Monje & Martínez, 2017) para así estimar la generación fotovoltaica del panel.

4.4 Obtención de datos de radiación y generación fotovoltaica en el lugar del experimento.

La obtención de la radiación en los planos orientados con inclinación 90° y acimut 90° , el segundo en la cara superior, con inclinación 0° y acimut 0° y el tercero en la cara oeste, con inclinación 90° y acimut 90° , se llevó a cabo en el día promedio de cada mes en la estación meteorológica de la Facultad de Ingeniería Agrícola.

Esta variable se obtuvo con el sensor de radiación provisto por el trazador de curvas E-1000 cambiando la orientación e inclinación del sensor de radiación en función de la orientación del panel solar. Para los cálculos de la energía generada fueron requeridos los parámetros del panel solar JKM260P-60 que se obtuvieron de la Figura 2.

4.5 Estimación de la irradiancia en cada plano de generación

Para el cálculo de la radiación total incidente sobre el plano inclinado, se requirió la radiación solar directa incidente, la radiación solar difusa producida por cuerpos de agua en la atmosfera y la radiación solar reflejada de las superficies, lo anterior queda representado matemáticamente por la ecuación [1] planteada por (Molina Monje & Martínez, 2017) que se presenta a continuación:

$$GLB_{inc} = DIR_{inc} + DIF_{inc} + DIF_{suelo} \quad [1]$$

donde

GLB_{inc} : Radiación global incidente, [$W m^{-2}$].

DIR_{inc} : Radiación solar directa incidente, [$W m^{-2}$].

DIF_{inc} : Radiación solar difusa incidente, [$W m^{-2}$].

DIF_{suelo} : Radiación solar reflejada de superficies, [$W m^{-2}$].

Además, las componentes de la radiación global incidente se calculan como:

$$DIR_{inc} = DNI \cos \theta \quad [1.1]$$

$$DIF_{inc} = DIF_{hor} \cdot 0,5 \cdot (1 + \cos b) \quad [1.2]$$

$$DIF_{suelo} = GLB_{hor} \cdot 0,5 \cdot albedo \cdot (1 + \cos b) \quad [1.3]$$

donde:

θ : Ángulo entre la superficie receptora y la dirección desde donde provienen los rayos solares directos en grados.

b : Ángulo de inclinación del panel en grados.

GLB_{hor} : Radiación global horizontal, [$W m^{-2}$].

DNI : Radiación directa normal.

Por cada superficie se trabajó con un panel de 260 Wp con el fin de obtener fácilmente la energía y potencia generada al agregar más paneles al arreglo.

4.6 Movimiento de la tierra alrededor del sol

La radiación solar y la irradiancia son variables producto de efectos geométricos de la órbita terrestre en torno al sol. Los dos movimientos

principales de la tierra son traslación y la rotación. La traslación es el movimiento de la tierra al girar alrededor del sol con una órbita elíptica de baja excentricidad con el sol como uno de sus focos. Por otro lado, el movimiento de rotación es aquel en donde la tierra gira en torno a su propio eje (eje polar), provocando el día y la noche.

En lo que se refiere al eje polar, este no se encuentra perpendicular al vector sol-ecuador, si no que esta inclinado a un ángulo constante de $23,45^\circ$. Por otro lado, el ángulo entre el plano ecuatorial y la elíptica del sol es variable a lo largo del año. Este ángulo se llama declinación y se calcula mediante las ecuaciones propuestas por la ecuación que se presenta a continuación (Perpiñan Lamigueiro, 2018).

$$\delta = 23,45^\circ \cdot \sin\left(\frac{2\pi \cdot (d_n + 284)}{365}\right) \quad [2]$$

donde:

δ : declinación en grados.

d_n : número de día del año (siendo $d_n = 1$ el 1 de enero).

Si bien la tierra es el cuerpo celeste que se mueve alrededor del sol en los análisis de geometría solar existe una perspectiva que es considerar el sol moviéndose en torno a la tierra, este se denomina movimiento aparente del sol. Esta convención se justifica en el hecho de poder describir el movimiento aparente en torno a sistemas de referencias conocidos. La tierra posee dos sistemas de ejes de referencia sobre los que se calcula la radiación solar, este

primer sistema de referencias está formado por tres vectores, un vector polar ($\vec{\mu}_p$), un vector ecuatorial ($\vec{\mu}_{ec}$) y un vector binormal ($\vec{\mu}_\perp$) (ec 2.). Por otro lado, el sistema de referencia local se fija en torno al acimut ($\vec{\mu}_n$), al cenit ($\vec{\mu}_c$) y nuevamente a un vector binormal ($\vec{\mu}_\perp$) a estos últimos.

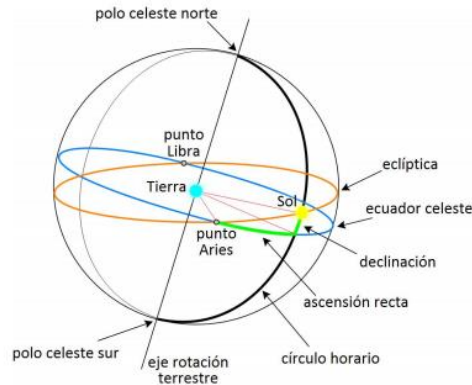


Figura 3. Esquema geométrico y movimiento aparente del sol en base al sistema de referencia global (Galán de Vega, Arce Rubio, Koch Ciobotaru, & Lara Peinado, 2015).

En lo que respecta a la hora solar aparente teniendo como base la hora oficial se tienen las ecuaciones 4 y 5 que se presentan a continuación.

$$EoT = 229.18 \cdot (-0.0334 \cdot \sin(M) + 0.04184 \cdot \sin(2M + 3.5884)) \quad [3]$$

$$M = \frac{2\pi}{365,24} d_n \quad [4]$$

$$\omega = 15(TO - AO - 12) + \Delta\lambda + \frac{EoT}{4} \quad [5]$$

donde:

EoT : ecuación del tiempo en minutos.

d_n : día del año (siendo $d_n = 1$ el 1 de enero).

TO : hora oficial.

AO : adelanto de la hora oficial durante el horario de verano.

$\Delta\lambda$: diferencia entre longitud local y longitud del huso horario.

ω : hora real.

4.7 Configuraciones y modelos de generación fotovoltaica

Existen diversas configuraciones para la generación fotovoltaica, en particular el panel fijo horizontal es un arreglo simple en donde se ubica el panel fotovoltaico con una cierta inclinación respecto al plano horizontal y el eje central se orienta en base al acimut respecto del norte (Molina Monje & Martínez, 2017).

Según el trabajo realizado por (Perpiñan Lamigueiro, 2018) cuando el movimiento se realiza sobre un eje que se encuentra orientado en el sentido norte-sur se obtiene un vector director del plano igual a:

$$\vec{\mu}_{\beta} = \sin(\beta) \cdot \vec{\mu}_h + \cos(\beta) \cdot \vec{\mu}_c \quad [6]$$

donde:

$\vec{\mu}_{\beta}$: vector director del panel solar.

β : ángulo entre el vector cenital y el vector director del plano.

$\vec{\mu}_h$: vector azimutal solar.

$\vec{\mu}_c$: vector cenital solar.

4.8 Radiación difusa e índice de claridad

La radiación difusa es la componente de la radiación global que antes de llegar a la superficie terrestres pasa por un cuerpo como por ejemplo las nubes. Para llevar a cabo el cálculo de la radiación en cielo con nubosidad se procede a utilizar la siguiente ecuación (Molina Monje, 2017).

$$GHI_{nub0} = GHI_{desp}(1 - r) \quad [7]$$

donde:

GHI_{nub0} : Radiación en el cielo con nubosidad, [$W m^{-2}$].

GHI_{desp} : Radiación en el cielo despejado, [$W m^{-2}$].

r : reflectividad o porcentaje de radiación reflejado por las nubes.

El índice de claridad corresponde a un parámetro óptico, que su estudio está ligado al interés del estado atmosférico local, las condiciones y las características climáticas y el cambio de estas en el transcurso del tiempo.

El índice de claridad se obtuvo a partir de la ecuación utilizada por (Forero, Meza, Martínez, Caicedo, & Gordillo, 2008) la que se presenta a continuación.

$$K_T = \frac{G_{d_n}}{G_{0d_n}} \quad [8]$$

donde:

K_T : índice de claridad.

G_{d_n} : Radiación global incidente sobre una superficie horizontal, [$W m^{-2}$].

G_{0d_n} : Radiación global extraterrestre, [$W m^{-2}$]

$$G_0 = I_{CS}\varepsilon_0 \quad [8.1]$$

$$\varepsilon_0 = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{2\pi d_n}{365}\right) \quad [8.2]$$

donde:

I_{CS} : Cantidad de energía recibida por las capas externas de la atmosfera.

ε_0 : Factor de corrección de excentricidad de la órbita terrestre.

Por otra parte G_{0d_n} , se define como:

$$G_{0d_n} = I_{CS} \varepsilon_0 \cos(\theta_{ZS}) \quad [8.3]$$

$$\cos(\theta_{ZS}) = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega \quad [8.4]$$

donde:

θ_{ZS} : Ángulo entre la dirección de incidencia de los rayos solares y la normal a la superficie horizontal.

δ : Declinación solar dada por la ecuación [1].

ϕ : Latitud terrestre.

ω : Tiempo local estándar.

La temperatura asociada al cálculo de la radiación que índice en el panel está en función de la temperatura atmosférica y se rige por la siguiente expresión.

$$T_p = T_{amb} + \frac{G_{d_n} (T_{MP} - 20)}{1000} \quad [9]$$

T_p : Temperatura del panel, [$^{\circ}C$].

T_{amb} : Temperatura ambiente, [$^{\circ}C$].

G_{d_n} : Radiación global incidente sobre una superficie horizontal, [$W m^{-2}$].

T_{MP} : Temperatura del panel en condiciones de máxima potencia, [$^{\circ}C$].

4.9 Producción energética

El cálculo de la capacidad de un arreglo fotovoltaico se calcula conociendo el área total efectiva y la eficiencia nominal del panel (Molina Monje & Martínez, 2017), matemáticamente se tiene la siguiente ecuación:

$$P_{DCO} = A_T \cdot \epsilon_{nom} \cdot N \quad [10]$$

donde:

P_{DCO} : capacidad del sistema, [kW].

A_T : área total del panel, [m^2].

ϵ_{nom} : eficiencia nominal.

N : número de paneles.

La potencia de salida se estimará en base al modelo básico presentado en el explotador solar que se basa en el modelo utilizado en la herramienta PVWatts (Dobos, 2014).

$$P_{DC} = \begin{cases} \frac{I_{poa}}{I_0} P_{DCO} (1 + \gamma(T_c - T_0)) & , I_{pod} \geq 125 \text{ W m}^{-2} \\ \frac{0.008(I_{poa})^2}{I_0} P_{DCO} (1 + \gamma(T_c - T_0)), I_{pod} < 125 \text{ W m}^{-2} \end{cases} \quad [11]$$

donde:

I_{poa} : radiación incidente, [W m^{-2}].

I_0 : radiación de referencia correspondiente a 1000 [W m^{-2}].

γ : coeficiente de temperatura de la celda para su potencia máxima.

T_c : temperatura de la celda en [$^{\circ}\text{C}$].

T_0 : temperatura de referencia correspondiente a 25 [°C].

P_{DCO} : potencia nominal de la instalación fotovoltaica en [W].

4.10 Medición y comparación

Los datos obtenidos por los medios especificados en el párrafo anterior, se llevó a cabo una comparación el explorador solar (modelos de (Dobos, 2014)). Que se implementó en el explorador solar (Molina Monje & Martínez, Modelo de GENERACIÓN FOTOVOLTAICA, 2017).

Los datos meteorológicos en el explorador fueron obtenidos mediante 131 estaciones dentro de las que se encuentran CEAZA-MET, AGROMET-INIA, DMC, Ministerio de Energía-GIZ y estaciones privadas (Molina Monje, Modelo de RADIACIÓN SOLAR, 2017).

En conjunto con lo anterior se implementó un trazador de curvas modelo E-1000 (Figura 3) (ENTEC SOLAR), de donde se obtuvo la curva de corriente voltaje (I-V) de un panel solar fotovoltaico y en consecuencia el punto de máxima potencia. Dados los recursos experimentales el procedimiento para el trazado de curvas se realizó para solo un panel. Obteniendo de esta manera la curva I-V del panel con azimut 90°, después con el panel 0° y finalmente con el panel con azimut 270°.

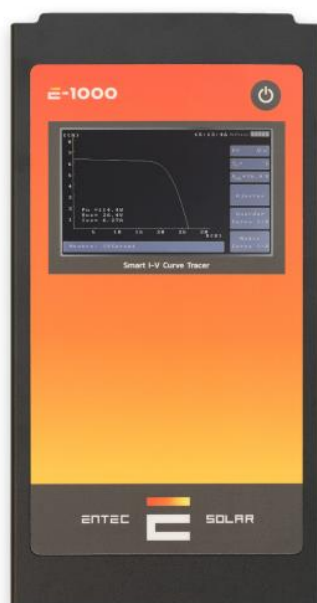


Figura 4. Trazador de curvas modelo E-1000. Fuente: (ENTEC SOLAR)

4.11 Sensores

El sensor presentado en la Figura 4 capturó las variables eléctricas asociadas al fotovoltaico, es decir, corriente eléctrica, voltaje y potencia (PHOLTAIC SOLUCIONES FOTOVOLTAICAS, 2021).

De esta forma se procedió a medir las variables eléctricas del panel (corriente y voltaje), posteriormente se obtuvo la generación energética de una cámara.

Sensor de irradiancia

Además del trazador de curvas el equipo otorga a los usuarios un sensor de irradiancia que corresponde a una celda solar de silicio. Este sensor de ser instalado de manera coplanar y cerca del módulo fotovoltaico

Debe estar conectado al E-Sens con un tipo de conexión para la medida ISC en el conector de 2 Ven la parte inferior del E-Sens. (ENTEC SOLAR).

4.12 Sensor de Temperatura

Hay tres tipos de sensores que se pueden utilizar para registrar la temperatura con el E-Sens (ENTEC SOLAR):

- 1) PT-1000: Este sensor permite llevar a cabo mediciones de temperatura bajo el modelo, temperatura de la celda o la temperatura ambiente. Este sensor debe estar conectado en la parte posterior del módulo y en la parte superior del E-Sens.
- 2) Módulo calibrado: El módulo calibrado se debe instalar en una posición representativa del módulo fotovoltaico. La salida del módulo debe estar conectada a el canal de 60 V del E-Sens con la correcta polaridad. Para obtener un valor de temperatura correcto, los valores de calibración del módulo de referencia deben ser configurado en el E-1000.
- 3) Sensor de temperatura infrarrojo E-Temp: Este sensor se conecta por radiofrecuencia al E.1000 de manera automática cuando se procede a realizar la medición de las temperaturas (sin embargo, tanto este censor como el E-1000 deben estar lo suficientemente cerca para mantener una conexión inalámbrica estable).

Como medida de bondad de ajuste se obtendrán los valores del error cuadrático medio, diferencias relativas, coeficiente de determinación, coeficiente de correlación y el error porcentual promedio de igual forma a (Vera-Dávila, Delgado Ariza, & Sepúlveda Mora, 2017).

Para la bondad de ajuste se utilizó el error cuadrático medio (RMSE por sus siglas en ingles) y las diferencias relativas (RD por sus siglas en ingles).

Para llevar a cabo el cálculo del RMSE, se utilizó la siguiente ecuación:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad [12]$$

Donde:

$RMSE$ = Root mean square error, [kW].

y_i = valor observado de la potencia eléctrica, [kW].

\hat{y}_i = valor estimado de la potencia eléctrica, [kW].

n = número de datos.

Por otro lado, para realizar el cálculo de las diferencias relativas se utilizó la siguiente ecuación:

$$RD = \frac{RMSE}{\overline{OBS}} (100) \quad [13]$$

Donde:

RD = diferencias relativas, en porcentaje.

$RMSE$ = Root mean square error, [kW].

\overline{OBS} = Promedio de los valores observados, [kW].

El coeficiente de determinación se obtuvo mediante la siguiente ecuación

$$R^2 = \frac{\sum(\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2} \quad [14]$$

Donde:

R^2 = Coeficiente de determinación R-cuadrado, adimensional.

y_i = valor observado de la potencia eléctrica, [kW].

\hat{y}_i = valor estimado de la potencia eléctrica, [kW].

\bar{y} = promedio de los valores observados, [kW].

El error porcentual se calculó mediante la siguiente expresión:

$$e = \frac{\hat{y}_i - y_i}{\hat{y}_i} (100) \quad [15]$$

Donde:

e = Error porcentual, en porcentaje

y_i = valor observado de la potencia eléctrica, [kW].

\hat{y}_i = valor estimado de la potencia eléctrica, [kW].

5. Resultados

Los datos para la comparación de las generaciones energéticas se obtuvieron del explorador solar, de la base de datos de AGROMETEOROLOGÍA del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria y del sistema implementado en la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Concepción del campus Chillán.

5.1 Variables Meteorológicas desde el explorador solar

Las variables meteorológicas correspondieron a la radiación solar y la temperatura del lugar. Respecto a la radiación en promedio mensual esta presentó sus mayores niveles en los meses de verano, con una mayor influencia de la componente directa horizontal y directa en el panel. Por otro lado, la Figura 5 reveló que los niveles inferiores de radiación solar en todas sus componentes se presentaron en los meses de invierno.

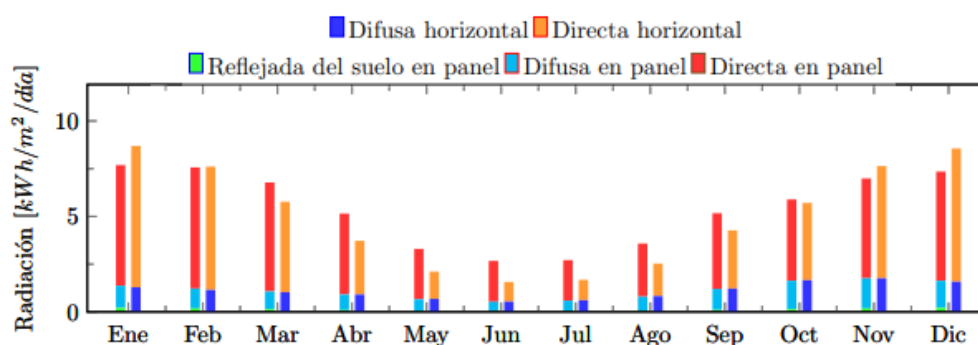


Figura 5. Promedio mensual de la irradiación diaria incidente en un plano horizontal y en un plano inclinado separada por sus componentes directa, difusa y reflejada del suelo, Fuente: (Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile, 2022).

Con referencia al ciclo diario de radiación, esta variable presenta valores máximos con límite en los 800 W m^{-2} , presentando sus mayores niveles entre

las 12:00 y las 14:00 horas del día (Figura 6). La principal componente radiativa correspondió a la radiación directa en el panel en la franja horaria desde las 9:00 horas a 17:00 horas.

Según la Figura 6 las componentes que presentaron menores niveles de influencia en la radiación total por hora correspondieron a la radiación reflejada del suelo en el panel, la radiación difusa horizontal y la radiación difusa en el panel.

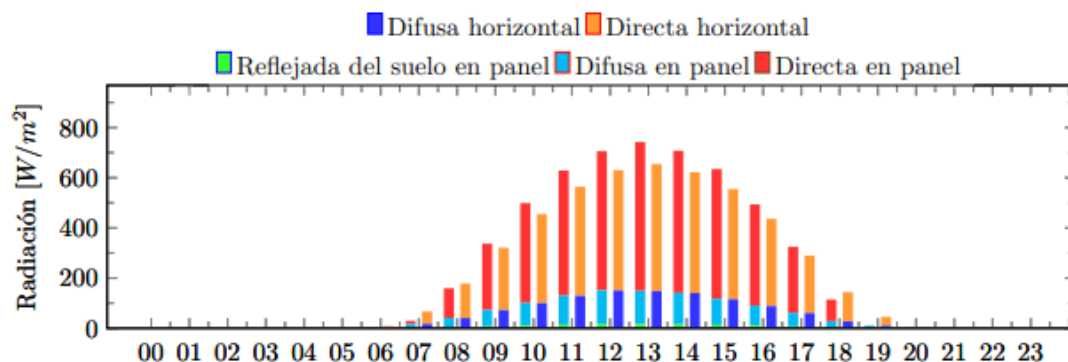


Figura 6. Promedio horario de la radiación global instantánea incidente en un plano horizontal y en un plano inclinado, separada en sus componentes directa, difusa y reflejada del suelo, Fuente: (*Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile, 2022*).

Finalmente, la distribución de temperatura según el explorador solar indicó que las temperaturas presentaron mayores niveles durante los meses de verano (diciembre, enero y febrero), disminuyendo progresivamente en los meses de invierno alcanzando su temperatura media mínima el mes de julio (junio, julio, agosto) (Figura 7 A)).

En promedio las temperaturas a lo largo del día presentan mayores niveles entre las 12:00 horas y las 18:00 horas, coincidiendo el intervalo de radiación máxima con un segmento del intervalo de temperatura máxima (Figura 7 B)).

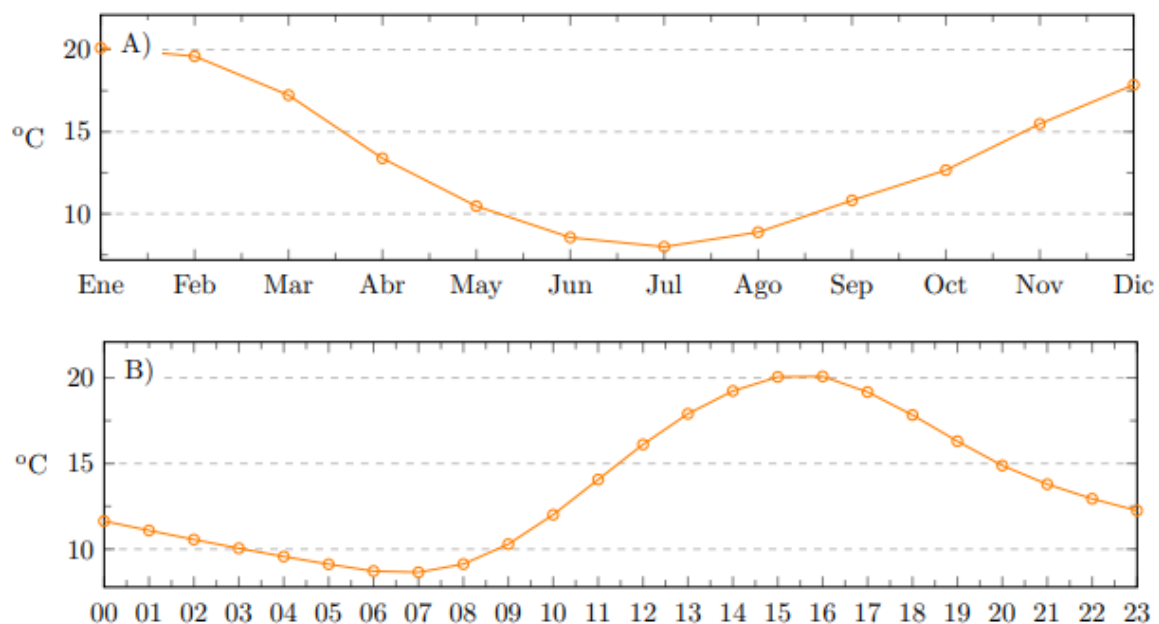


Figura 7 A) Ciclo anual de la temperatura media, B) Ciclo diario de la temperatura media, Fuente: (FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS UNIVERSIDAD DE CHILE, 2022)

Con la Figura 8 se identificó la evolución diaria de las temperaturas para todos los meses del año, esta correspondió a la temperatura promedio horaria para cada hora de cada día del mes.

A diferencia de la Figura 7 la en la Figura 8 se observó una evolución horaria mensual, lo que reveló las temperaturas bajo las que se realizó la simulación por medio del explorador solar, además de una comparación gráfica con las temperaturas medidas en terreno y observadas por la estación Santa Rosa.

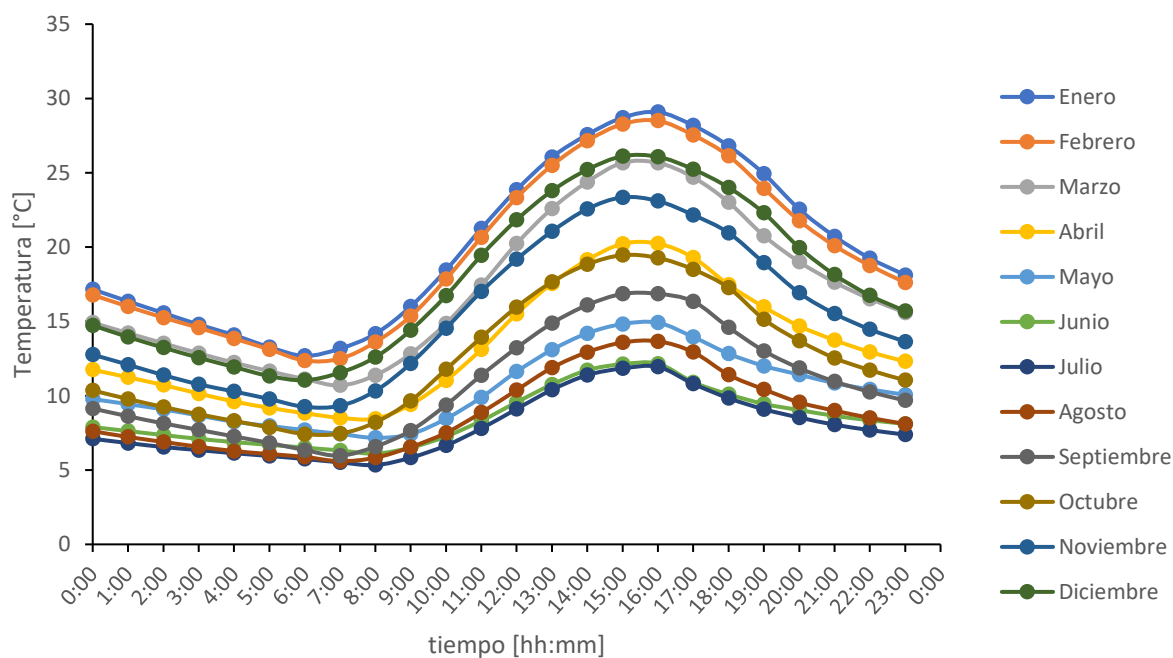


Figura 8. Ciclo diario de la temperatura media a dos metros para el explorador solar.

5.2 Desde el terreno mediante la estación meteorológica de la INIA.

Las mediciones se obtuvieron en los meses de menores valores de radiación (meses críticos). En la Figura 9 se generaron los perfiles horarios mensual de radiación solar presentando sus valores mínimos para los meses de invierno. La obtención de estos valores en los meses de radiación crítica permitió establecer una generación fotovoltaica crítica (valor mínimo) lo que permitió establecer en este caso un criterio para determinar la factibilidad energética en los meses críticos.

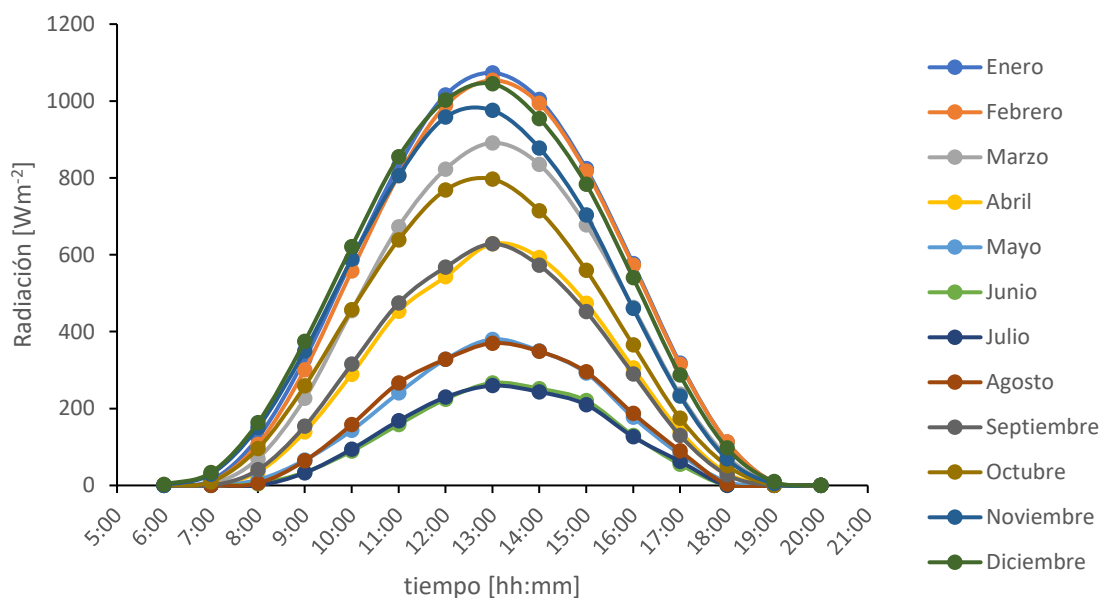


Figura 9. Radiación solar horaria por mes para el año 2021 para el plano horizontal correspondiente a la estación Santa Rosa de la INIA, región de Ñuble.

Los perfiles de temperatura fueron obtenidos para la determinación de la generación fotovoltaica, según la Figura 9 durante los meses de invierno la temperatura promedio para cada hora durante el día presentó un valor extremo correspondiente a 5°C como temperatura mínima y 10°C como temperatura máxima.

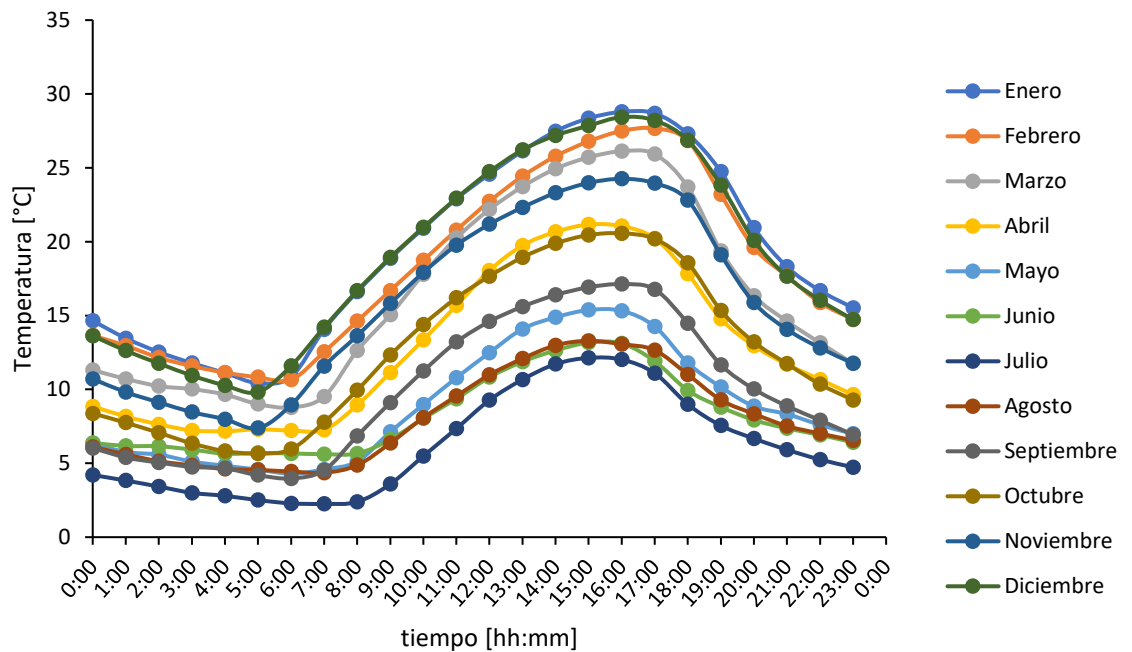


Figura 10. Ciclo diario de la temperatura media del aire para la estación meteorológica de Santa Rosa perteneciente a la INIA.

Por otro lado, las temperaturas de la estación Santa Rosa presentaron una traslación en el eje vertical acercándose al eje del tiempo lo que revelo que en promedio las temperaturas de la estación correspondientes a la INIA (Figura 10 y Figura 11) son en promedio inferiores a las temperaturas horarias a las del explorador solar (Figura 8) para el mismo horizonte temporal.

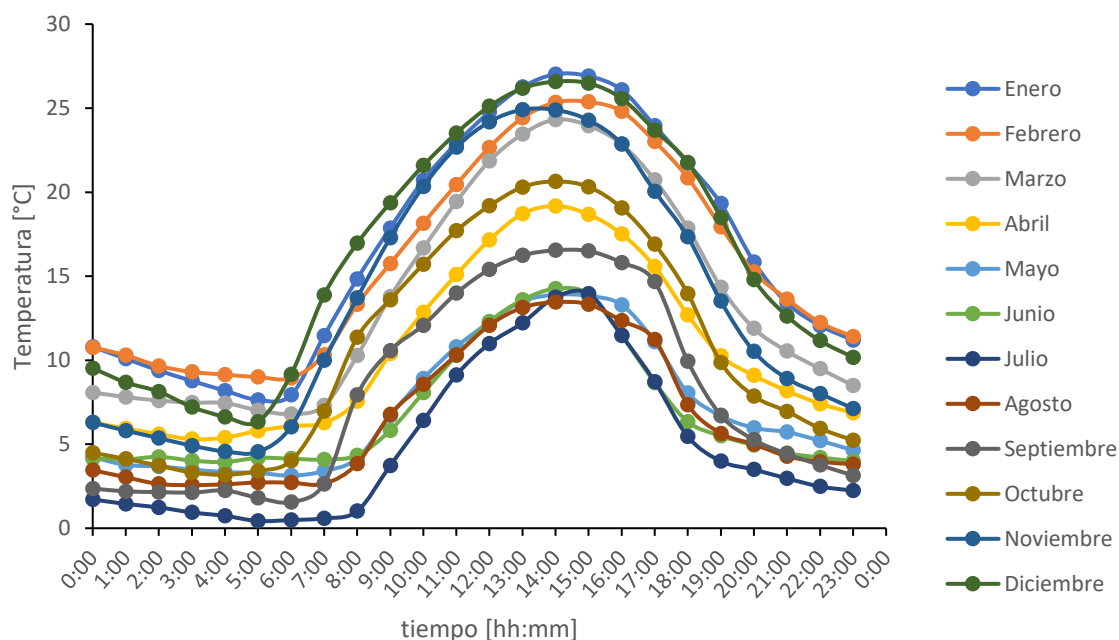


Figura 11. Ciclo diario de la temperatura media de la superficie para la estación meteorológica de Santa Rosa perteneciente a la INIA.

5.3 Comparación de perfiles de radiación y temperatura

Los perfiles de radiación para el plano horizontal expuestos en la Figura 10 indicaron una diferencia de aproximadamente 200 W m^{-2} en el máximo valor de radiación incidente (medio día solar) entre la radiación observada y la radiación del explorador solar. La Figura 12 reveló mayores valores de radiación observada, esto producto de las condiciones atmosféricas diarias en la toma de datos. A diferencia de los resultados revelados en la Figura 9 en donde se presentó niveles de radiación promedio para el perfil horario, en la Figura 12 se tiene condiciones de día despejado (nubosidad nula).

Los efectos de la nubosidad generan un significativo perjuicio fotovoltaico produciendo niveles de radiación inferiores a 150 W m^{-2} en el punto de máxima insolación diaria, es decir, al medio día solar.

En el mes de junio los niveles de radiación llegaron a niveles críticos obteniendo un máximo de radiación observada en el lugar de medición de aproximadamente 400 W m^{-2} .

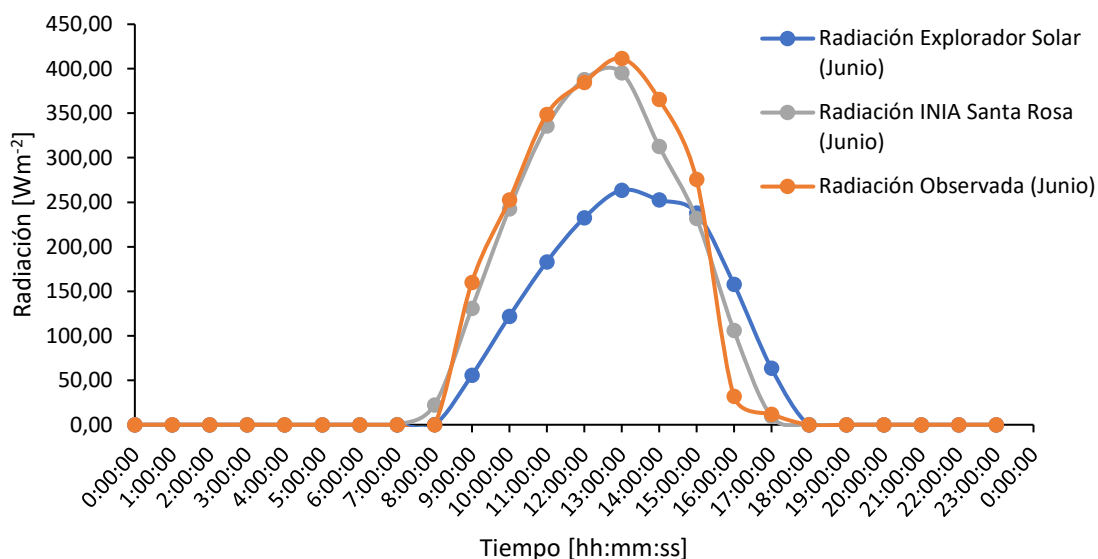


Figura 12. Radiación solar para el panel con acimut 0° e inclinación 0° para el mes de junio del 2022.

Para el mes de junio presentaron mayores niveles de radiación para los datos observados en terreno y observados según la estación Santa Rosa a diferencia de los datos estimados por el modelo del explorador solar en donde se observaron diferencias de 200 W m^{-2} . Esto es producto de las consideraciones de nubosidad implementadas en el modelo del explorador solar que no se consideraron en las mediciones en terreno de forma continua o mediante un modelo matemático, esto producto de la consideración de un día promedio según el explorador solar a diferencia de la medición en terreno que se realizó para un día específico.

Los resultados asociados al panel con acimut 90° e inclinación 90° presentaron valores de radiación similares a los obtenidos por el panel horizontal en el medio día solar, es decir, aproximadamente 400 W m^{-2} . Esta radiación comienza a descender cerca del mediodía solar llegando a niveles inferiores a los 100 W m^{-2} posterior al medio día solar (Figura 12).

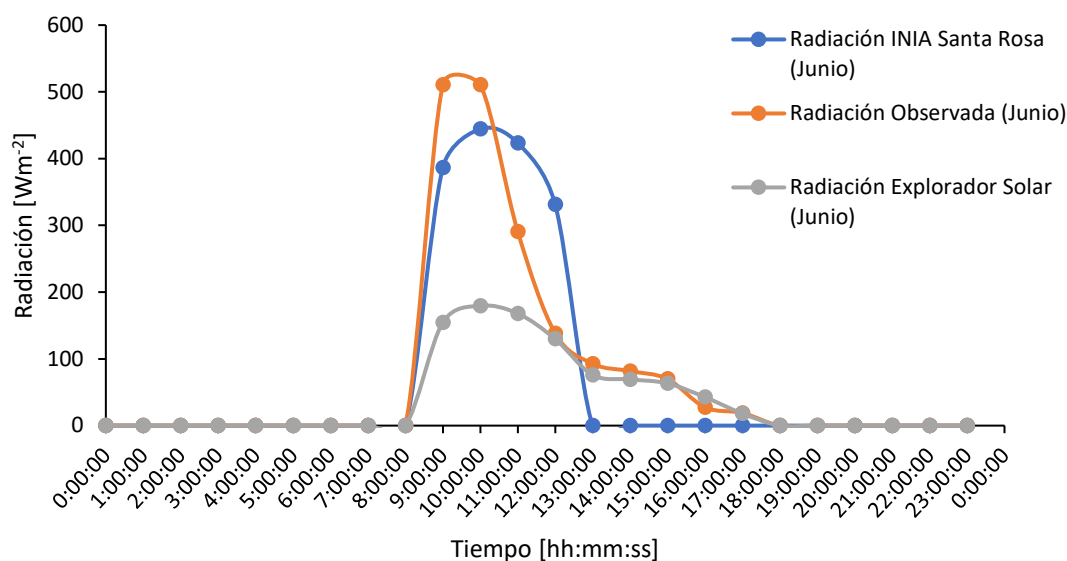


Figura 13. Radiación solar para el panel con acimut 90° e inclinación 90° para el mes de junio del 2022.

De igual forma para el panel con acimut 270° e inclinación 90° , desde el amanecer hasta el mediodía solar presento niveles inferiores a 100 W m^{-2} . Al contrario de lo sucedido posterior a las 13:00 en donde los valores de radiación se incrementaron hasta presentar un máximo aproximadamente a las 15:00 horas para posteriormente descender hasta el atardecer en donde alcanzo un valor nulo (Figura 13).

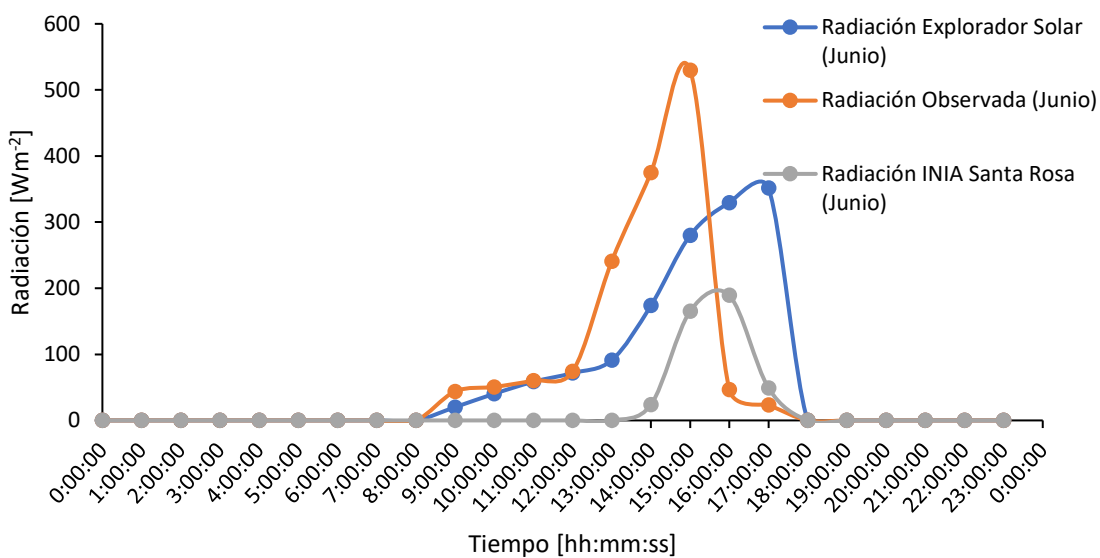


Figura 14. Radiación solar para el panel con acimut 270° e inclinación 90° para el mes de junio del 2022.

La Figura 14 indico los efectos de la nubosidad al final del día de medición de esta forma se generó una diferencia de aproximadamente 600 W m⁻² para las 16:00 horas y para las 17:00 horas, no obstante, la radiación solar observada en las condiciones requeridas para el uso del instrumento presentó una tendencia creciente con una mayor razón de cambio entre las 12:00 horas y las 13:00 producto de la ubicación del panel solar.

La Figura 15 reveló que los ciclos diarios promedios presentaron un menor rango al comparar la temperatura que se obtuvo de la estación Santa Rosa, el explorador solar y los datos obtenidos en terreno. Según la Figura 16 entre las 8:00 horas y las 15:00 horas se identificó una menor diferencia entre las temperaturas.

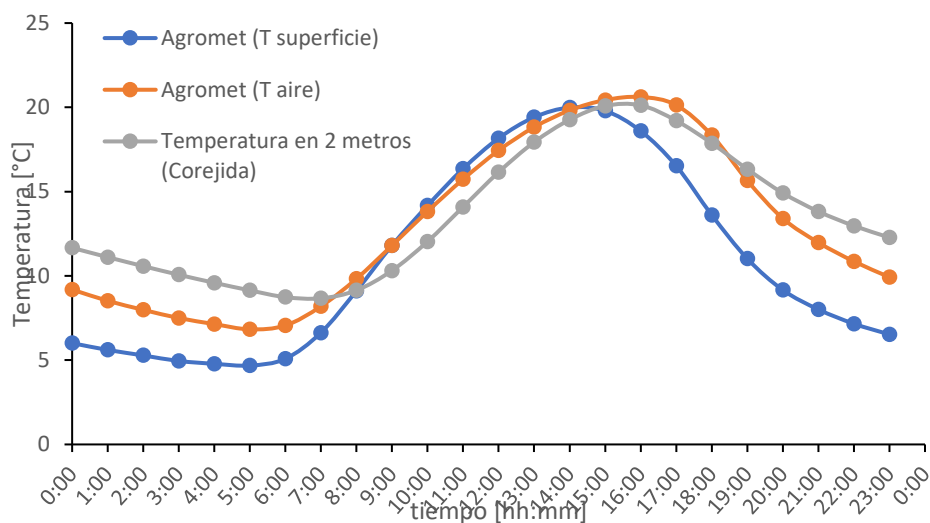


Figura 15. Ciclo diario de la temperatura media correspondiente a los datos obtenidos del explorador solar y de la estación meteorológica Santa Rosa de la INIA.

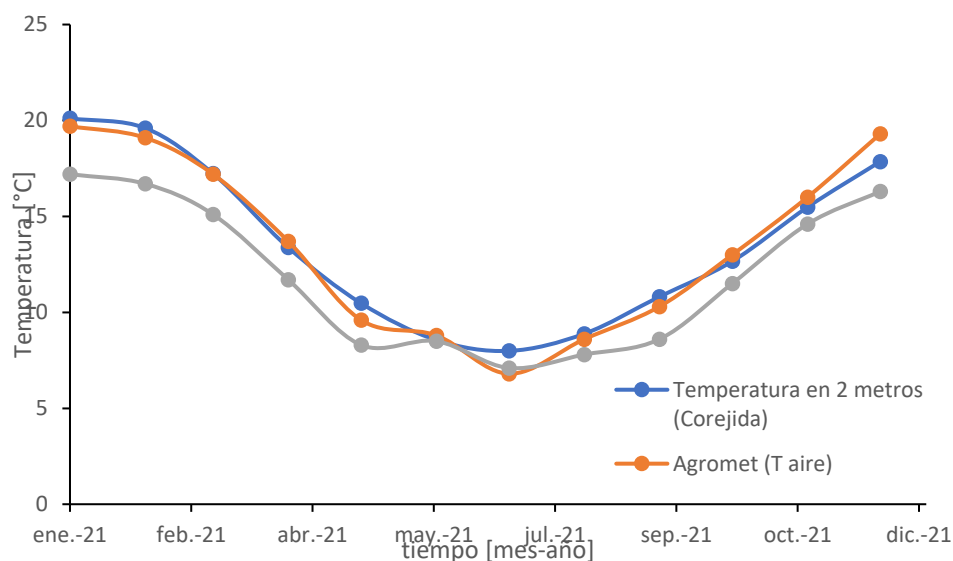


Figura 16. Ciclo diario de la temperatura media correspondiente a los datos obtenidos del explorador solar y de la estación meteorológica Santa Rosa de la INIA.

Según la Figura 16 el comportamiento promedio anual presentó sus límites inferiores en el mes de junio para todas las temperaturas estudiadas (temperatura del explorador solar a 2 metros de altura corregida, temperatura

obtenida de la estación agrometeorológica de la INIA para el aire y para la superficie).

5.4 Generación Fotovoltaica

En el contexto del explorador solar se realizó el siguiente supuesto de uniformidad en la distribución de los datos, es decir, la generación fotovoltaica para una hora correspondiente al mes de junio es idéntica para todos los días del mes en dicha hora.

Además, dadas las condiciones geométricas y la radiación incidentes se llevó a cabo un análisis de respuesta de la generación fotovoltaica en términos de la radiación incidentes en el panel.

Las Figura 17, Figura 18 y la Figura 19 establecieron una correlación entre la respuesta de la corriente eléctrica del panel y la radiación solar percibida por el mismo. De esta manera se estableció que independientemente de las condiciones sugeridas por el fabricante la respuesta de la corriente eléctrica fue coherente con la radiación solar obtenida por el panel en sus tres orientaciones para la localización del lugar de estudio.

De esta forma se validó la aplicación del instrumento en el sector de estudio fuera de los intervalos de uso recomendados por el fabricante tanto para la radiación solar horaria como para la inclinación de los paneles.

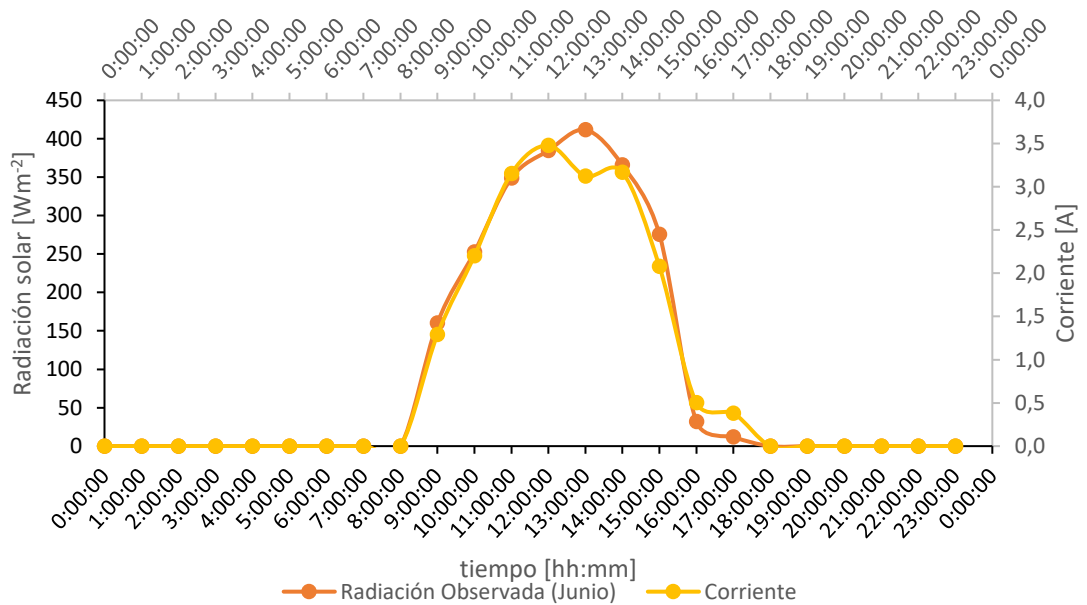


Figura 17. Relación entre radiación solar y corriente eléctrica para el panel con acimut 0° e inclinación 0° para el mes de junio.

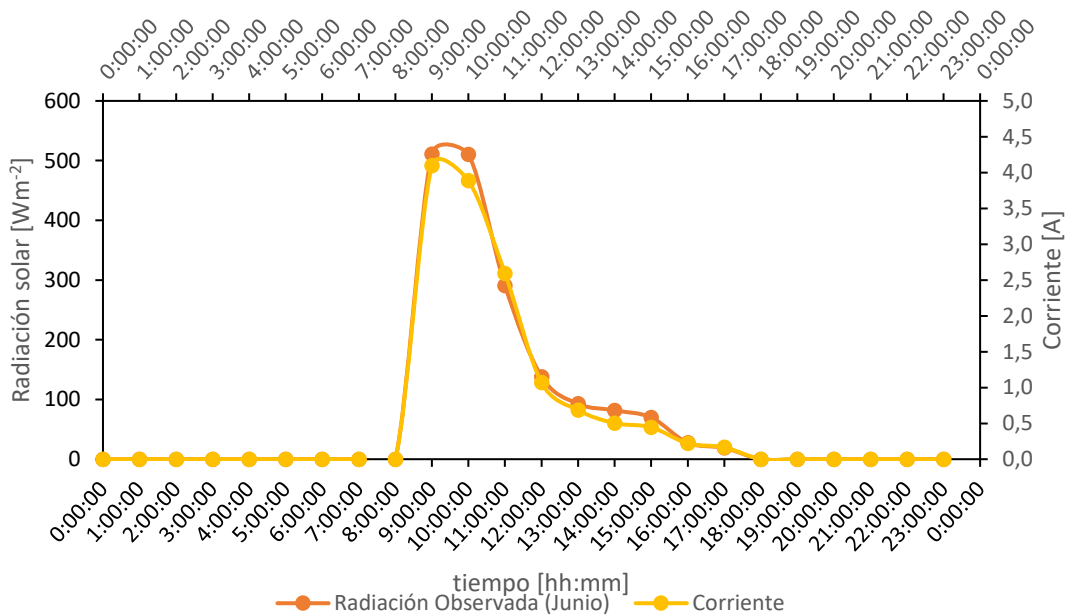


Figura 18. Relación entre radiación solar y corriente eléctrica para el panel con acimut 90° e inclinación 90° mes de junio.

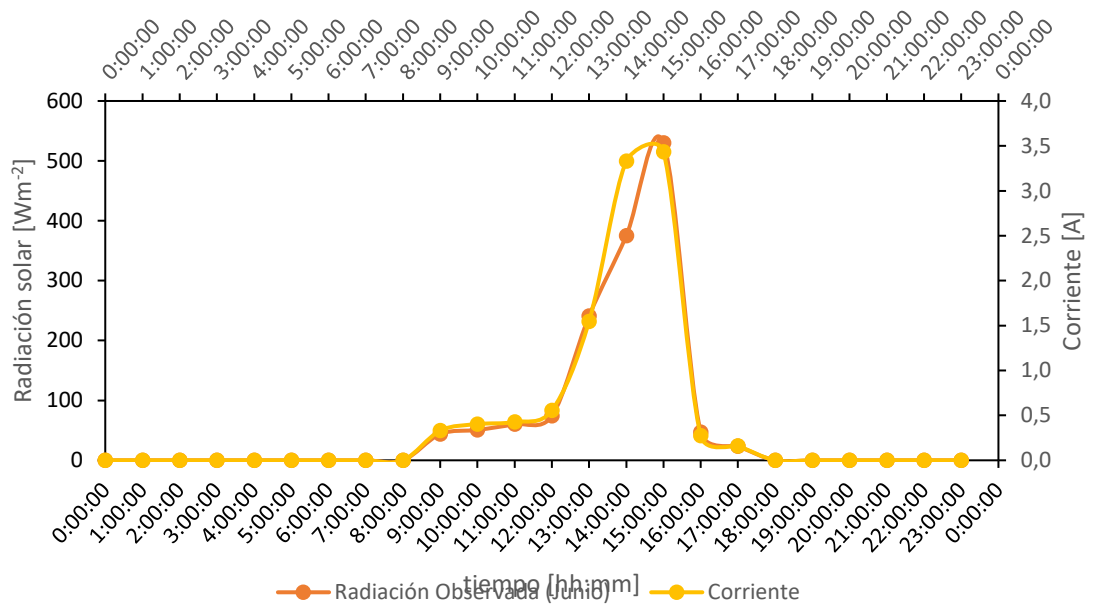


Figura 19. Relación entre radiación solar y corriente eléctrica para el panel con acimut 270° e inclinación 90° mes de junio.

La distribución de U-invertida para los paneles generó los resultados expuestos en la Figura 20 que presentó una curva característica con forma de M. Esta curva presentó esta forma para los meses de verano a diferencia de los meses de invierno en donde la curva se aplano y presentó irregularidades particularmente para el mes de julio a las 18:00 horas.

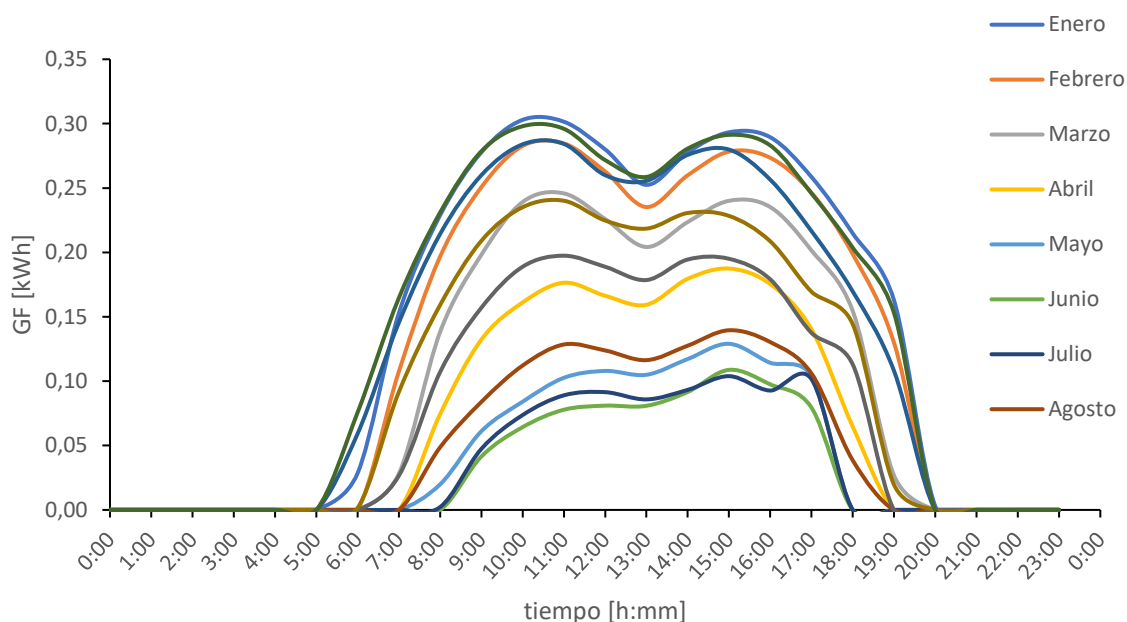


Figura 20. Generación fotovoltaica horaria mensual (GF) para un arreglo de tres paneles JKM260P-60, en configuración de U invertida por mes con datos obtenidos por medio del explotador solar.

Las curvas de generación fotovoltaica compartieron características similares con los perfiles horarios promedio de radiación, de esta forma se identificó que la respuesta geométrica de la respuesta de la radiación solar para la generación fotovoltaica para el panel JKM260P-60. A diferencia de las simulaciones del explorador solar la curva característica para cada una de las orientaciones de los paneles presentó una forma parabólica de mayor vértice.

La Figura 21 reveló un máximo de 0.10 kWh para los datos observados a diferencia de lo entregado por la simulación del explorador en donde su valor máximo se encontró cercano a los 0.04 kWh.

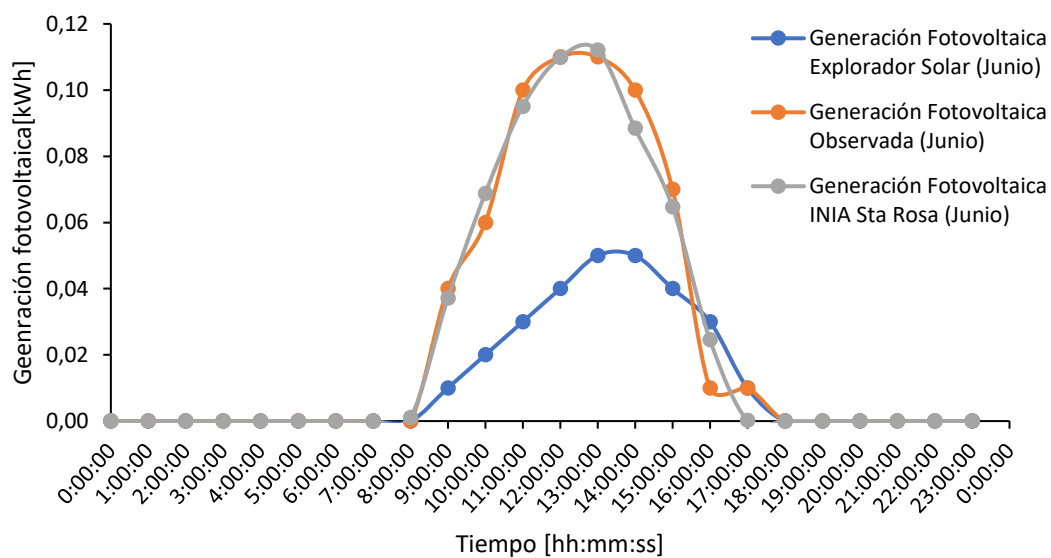


Figura 21. Generación fotovoltaica para el panel con acimut 0° e inclinación 0° para el mes de junio del 2022.

Los perfiles de generación fotovoltaica de igual forma compartieron características geométricas similares entre sí. Además de compartir características geométricas con los resultados del perfil de radiación solar diaria tanto para la orientación con acimut 90° (Figura 22) como para la orientación con acimut 270° (Figura 23).

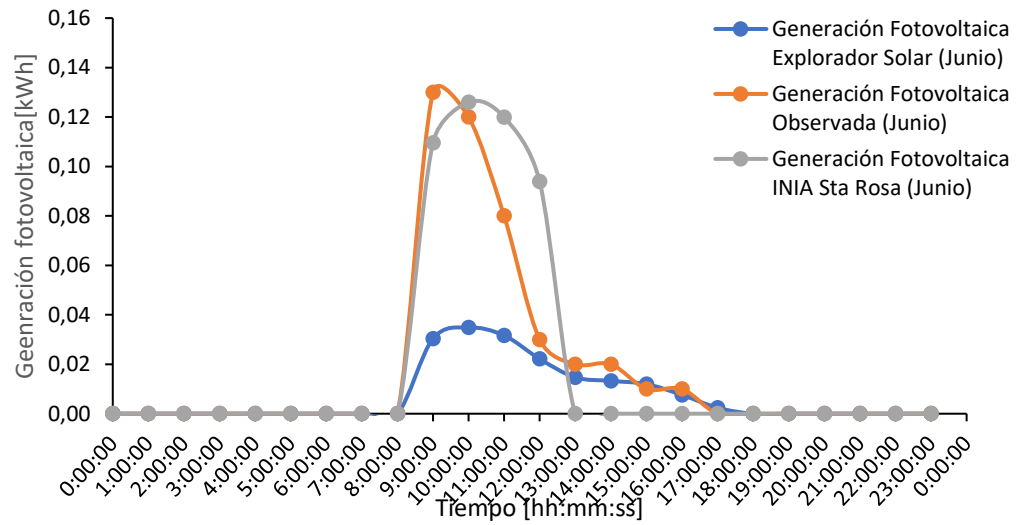


Figura 22. Generación fotovoltaica para el panel con acimut 90° e inclinación 90° para el mes de junio del 2022.

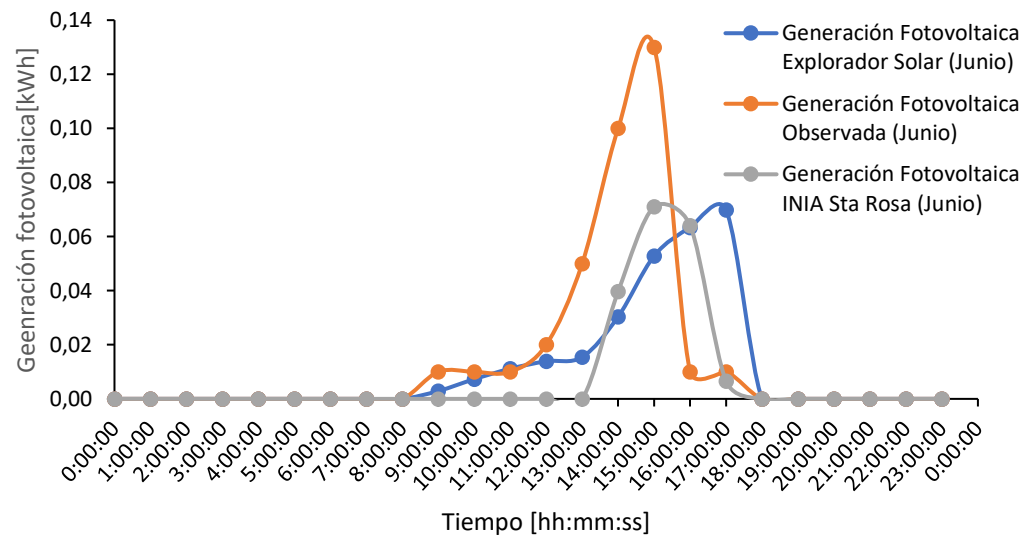


Figura 23. Generación fotovoltaica para el panel con acimut 270° e inclinación 90° para el mes de junio del 2022.

La combinación de las Figura 21, Figura 22 y Figura 23 dio como resultado la Figura 24. En el caso de los datos observados se obtuvo la forma característica, no obstante, esta curva correspondiente a la de datos

observados en terreno presentó similitudes geométricas con los perfiles de generación fotovoltaica correspondiente a los meses de verano. Esto producto de las condiciones de medición de día despejado a diferencia de las simulaciones del explorador solar en donde se consideró los efectos de la nubosidad.

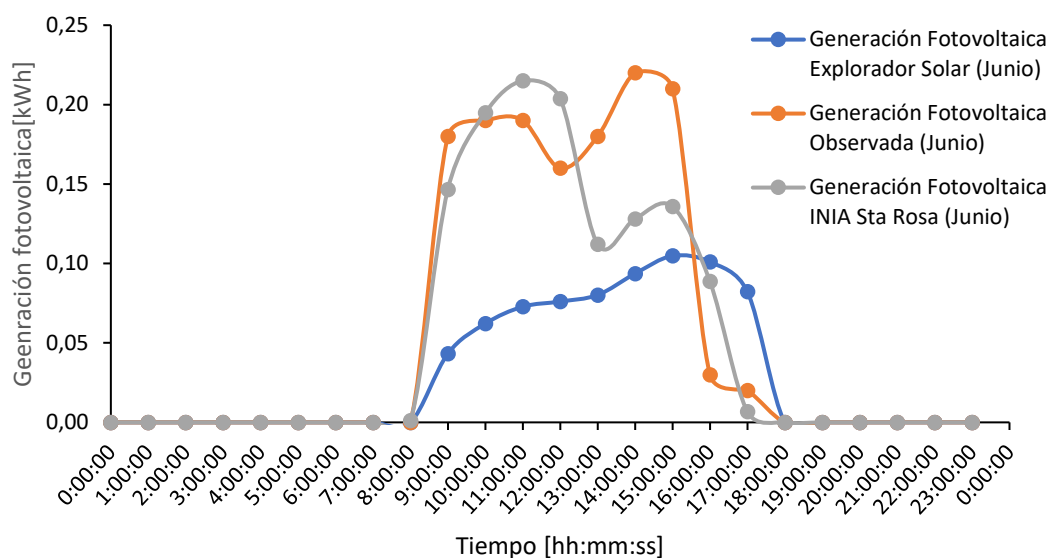


Figura 24. Generación fotovoltaica para el arreglo de paneles en geometría de U invertida para el mes de junio del 2022.

En la Figura 25, Figura 26, Figura 27 y Figura 28 se observó la generación fotovoltaica extrapolada a la cantidad de paneles máxima por cara de la cámara de refrigeración de esta forma se obtuvieron generación fotovoltaica máximas mayores.

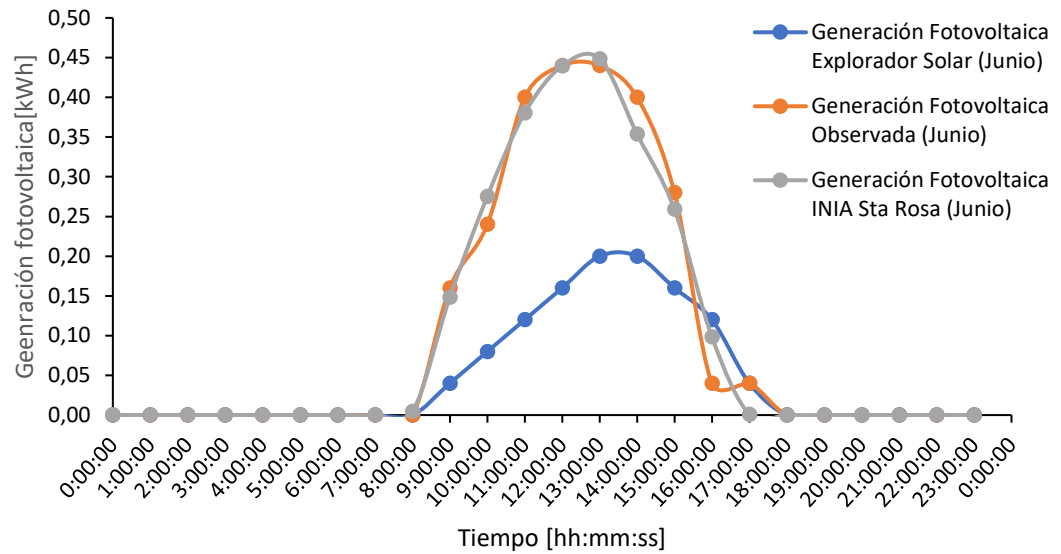


Figura 25. Generación fotovoltaica para cuatro paneles con acimut 0° e inclinación 0° para el mes de junio del 2022.

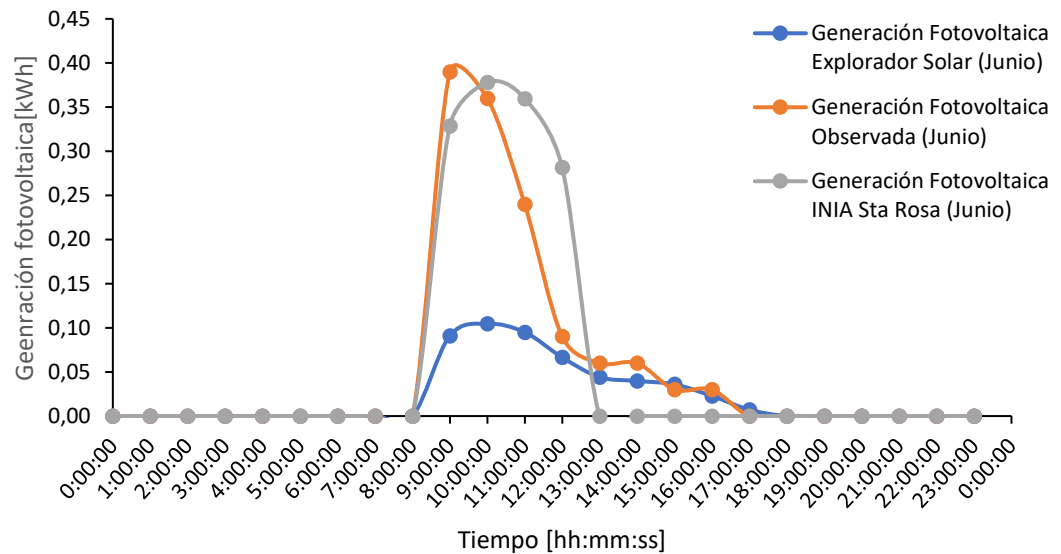


Figura 26. Generación fotovoltaica para tres paneles con acimut 90° e inclinación 90° para el mes de junio del 2022.

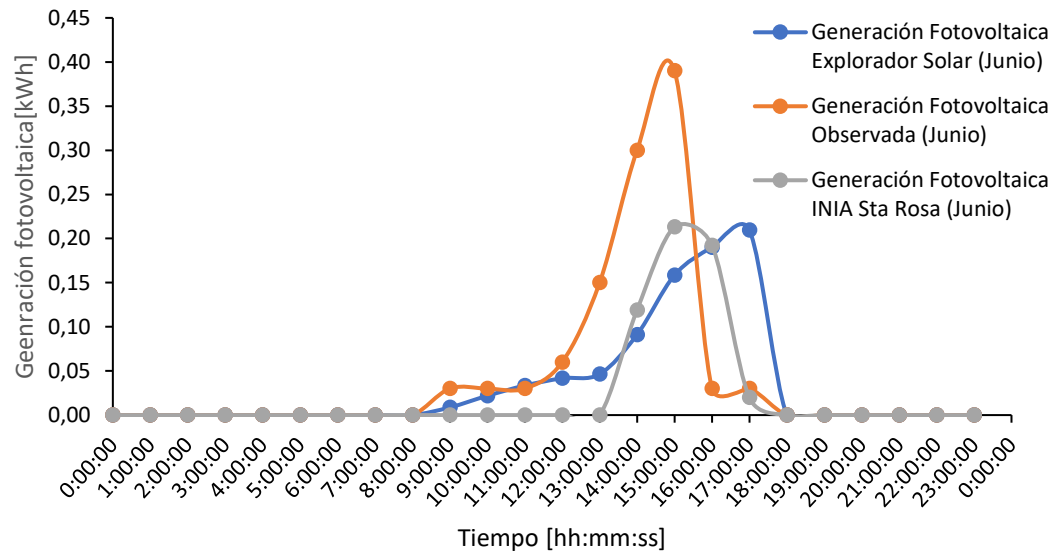


Figura 27. Generación fotovoltaica para tres paneles con acimut 270° e inclinación 90° para el mes de junio del 2022.

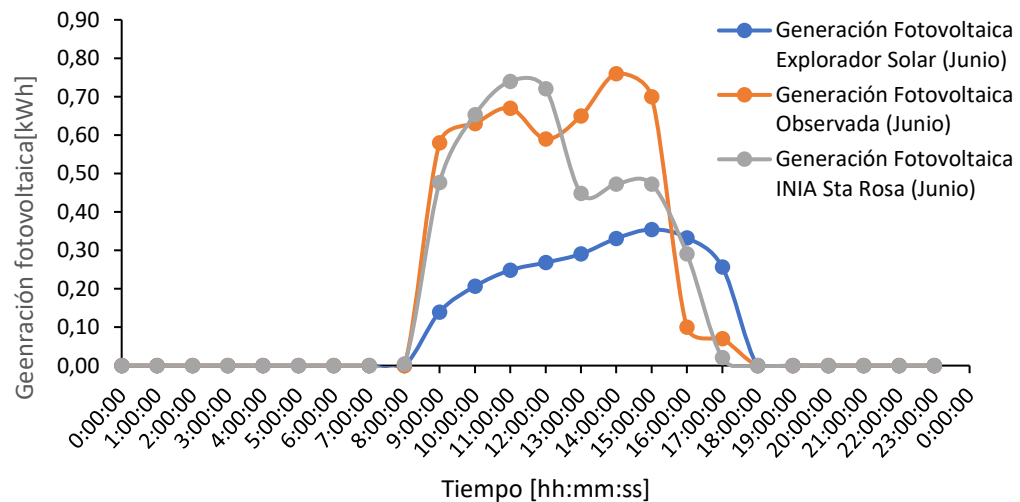


Figura 28. Generación fotovoltaica para el arreglo de paneles en geometría de U invertida para el mes de junio del 2022.

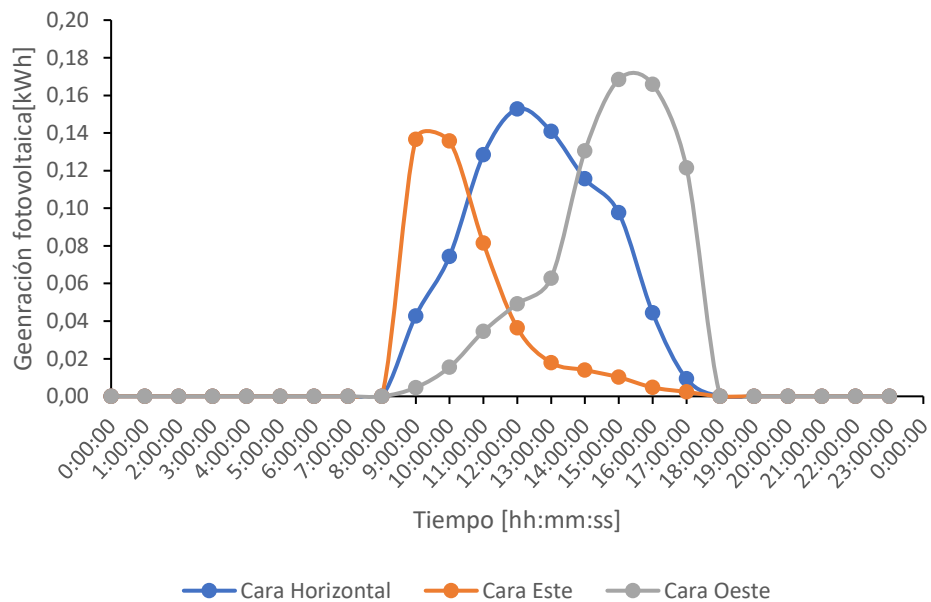


Figura 29. Fusión de datos para la generación fotovoltaica correspondientes a los meses de mayo y junio para el 2022 por cara de la cámara de refrigeración.

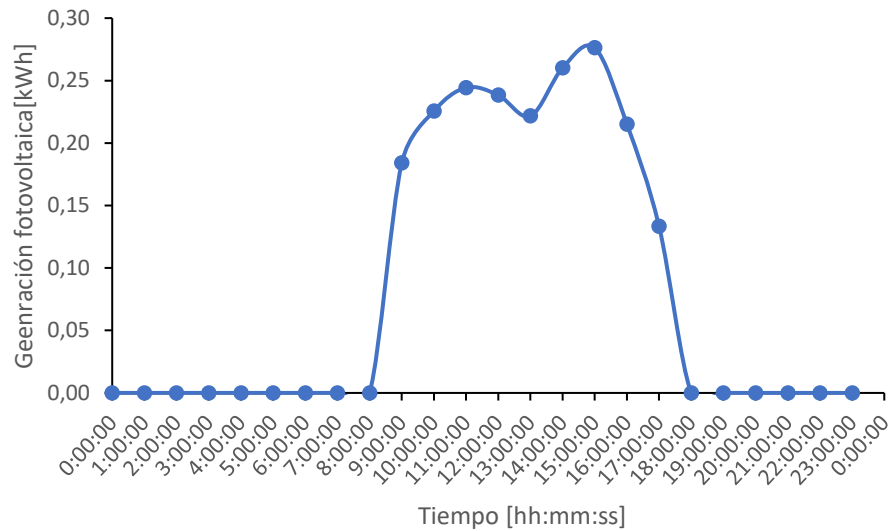


Figura 30. Fusión de datos para la generación fotovoltaica correspondientes a los meses de mayo y junio para el 2022 para el arreglo de la cámara de refrigeración.

Las Figura 25, Figura 26, Figura 27 y Figura 28 revelaron la generación fotovoltaica para las tres ubicaciones del panel y para el arreglo completo (con

geometría de U invertida). En estas figuras se observó un desfase en la generación máxima (que se relaciona con el medio día solar).

El máximo error porcentual se observó a las 11:00 para el explorador con acimut 0° e inclinación 0° obteniéndose un 59% de error.

En el caso de la variación en la evolución de los errores para el panel con acimut 90° e inclinación 90° se presentan significativos efectos de la nubosidad generación errores porcentuales superior al 300% para las 9:00 horas.

En ausencia de nubosidad las generaciones máximas correspondieron a 0,15 kWh lo que se observó en las Figura 29.

Al combinar los resultados de las tres orientaciones se observó que la curva genera un valle a las 13:00 horas con máximos de generación a las 11:00 horas y a las 16:00 horas. La disminución de la generación fotovoltaica a las 13:00 horas producto de la incidencia perpendicular de la radiación en el plano horizontal genero el funcionamiento solo del panel con acimut 0° e inclinación 0° en el medio día solar los paneles con inclinación 90° no perciben la suficiente radiación solar directa para aportar con generación eléctrica.

Si bien el instrumento E-1000 capturo información de los paneles verticales para todo el día, durante la mañana los efectos del sombreado en el panel con acimut 90° generaron resultados fuera de rango en inclinación y radiación solar, capturando solo la radiación reflejada en terreno y la radiación difusa de

la atmosfera. A pesar de la baja radiación solar (y en consecuencia una baja generación fotovoltaica) esta variable no es nula.

La presencia de nubosidad no solo genero bajo niveles de generación fotovoltaica, además de lo anterior se observó en la Figura 28 que para la generación de la mañana la curva es convexa. Por otro lado, para la generación de la tarde para un cielo completamente despejado se obtuvo una curva de generación solar cóncava.

Los valores de generación fotovoltaica obtenidos en terreno son superiores a los obtenidos por medio del modelo del explorador solar, esto es producto de los efectos de la nubosidad considerados en el modelo del explorador solar.

En el momento de realizar el procedimiento experimental el día se encontraba despejado (solo con nubosidad parcial durante el mañana previo a las 10:00 horas), lo que baja la magnitud de la generación fotovoltaica observada, presentando valores máximos aproximados de 0,06 kWh de generación (tanto para los datos del explorador solar como para los datos de la estación Santa Rosa y como para los datos observados de generación fotovoltaica).

En ausencia total de nubes los máximos observados figuran entorno a los 0,16 kWh para un el panel con acimut 0° e inclinación 0° y el panel con acimut 270° e inclinación 90° (en el caso del panel con acimut 90° e inclinación 90° los efectos de sombras y generaron resultados de energía de aproximadamente 0,02 kWh).

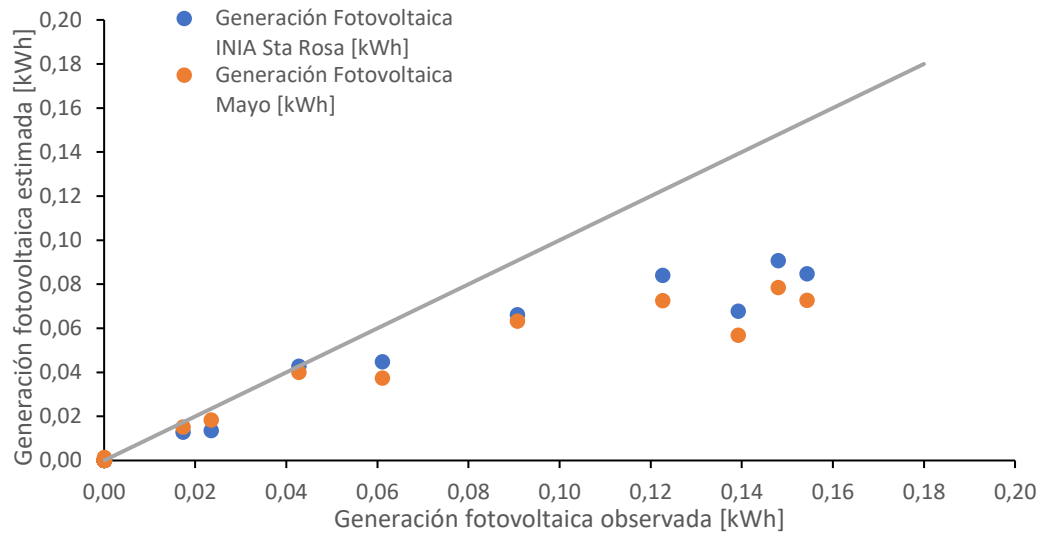


Figura 31. Relación 1:1 para generación fotovoltaica del panel con acimut 0° e inclinación 0° .

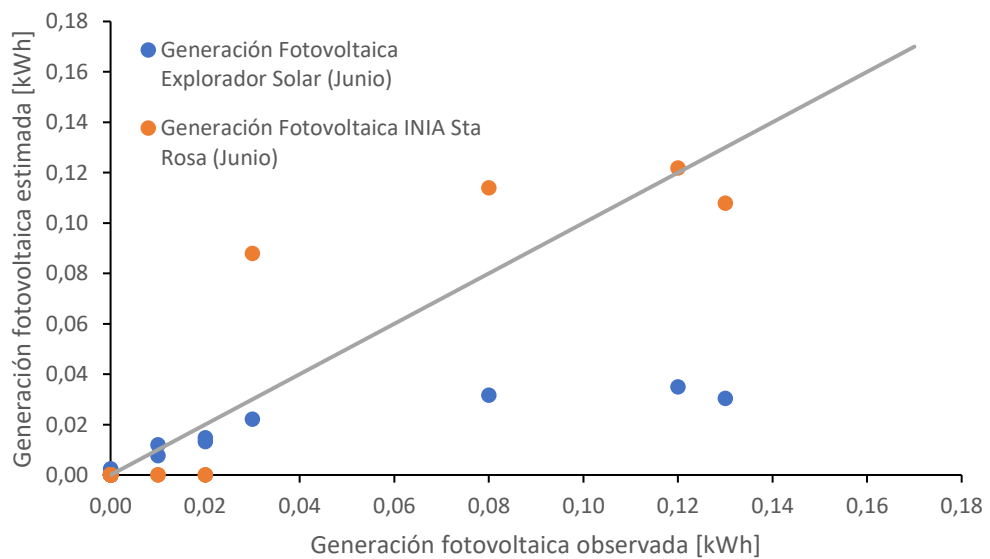


Figura 32. Relación 1:1 para generación fotovoltaica del panel con acimut 0° e inclinación 0° .

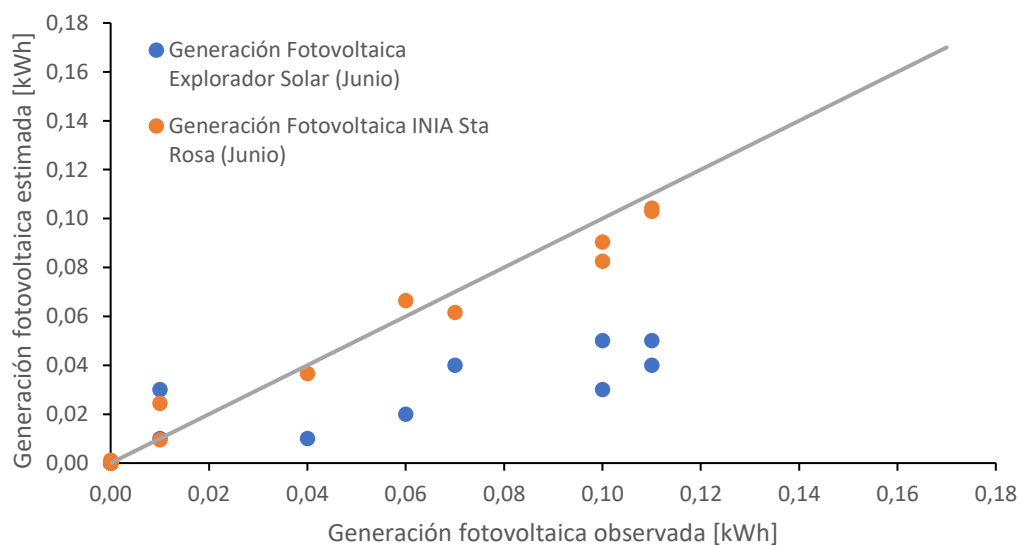


Figura 33. Relación 1:1 para generación fotovoltaica del panel con acimut 90° e inclinación 90°.

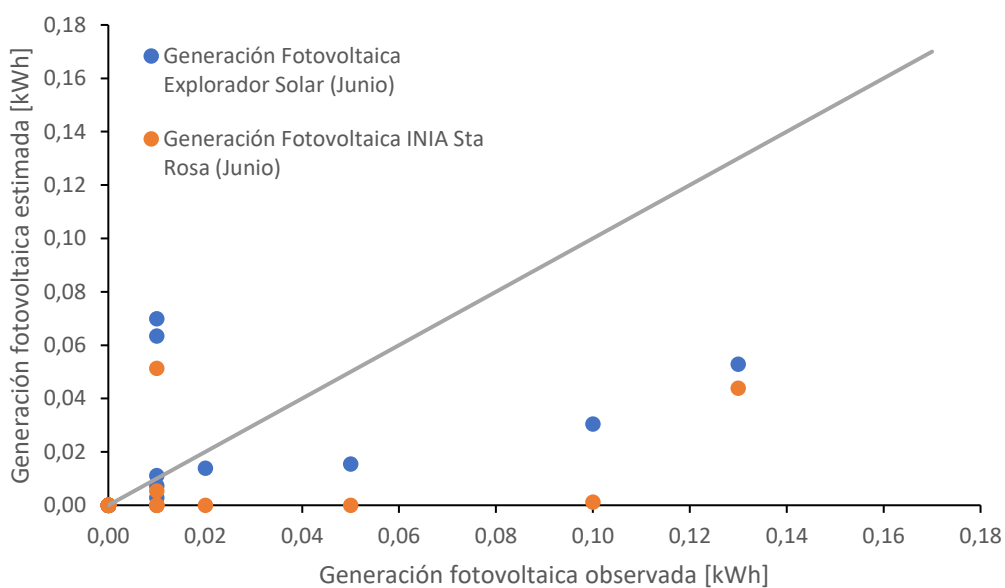


Figura 34. Relación 1:1 para generación fotovoltaica del panel con acimut 270° e inclinación 90°.

La relación 1:1 para el panel horizontal entregó la mejor relación entre los datos observados y los datos estimados producto del funcionamiento del panel a lo largo de todo el día a diferencia de los paneles verticales que presentan

funcionamiento y captura de datos relevantes para la investigación durante medio día (desde el amanecer hasta el mediodía solar para el panel con acimut 90° e inclinación 90° y desde el mediodía solar hasta el atardecer para el panel con acimut 270° e inclinación 90°).

La captura de datos no se realizó hasta la completa puesta de sol, esto producto del sombreamiento de los árboles del sector que generaron sombra sobre el panel orientado hacia la costa, no obstante, la diferencia en tiempo desde la toma del último dato hasta la puesta de sol correspondió a 30 minutos.

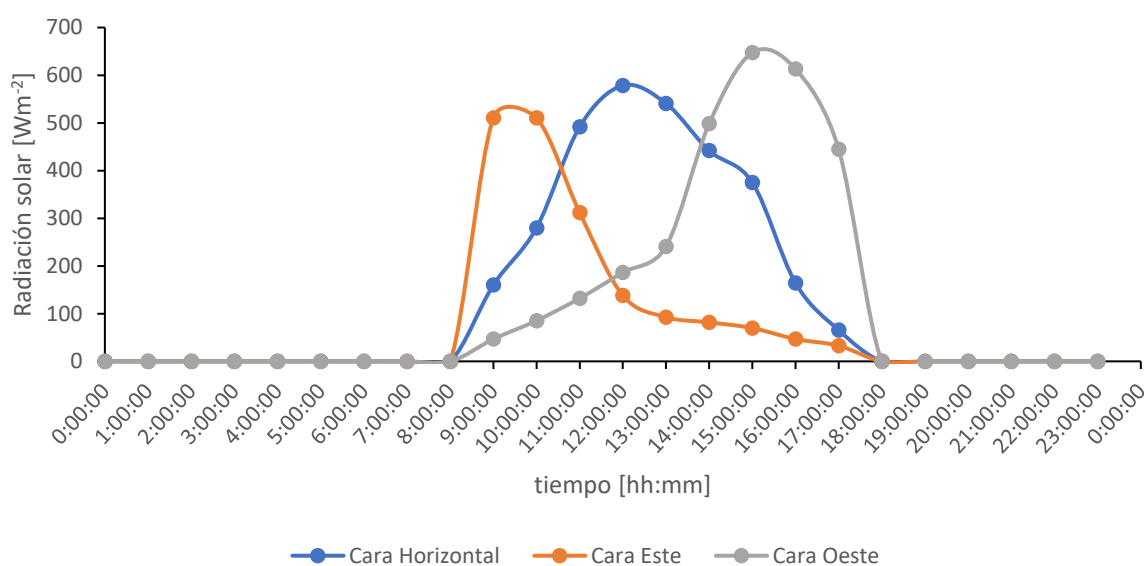


Figura 35. Fusión de datos para la radiación solar correspondientes a los meses de mayo y junio para el 2022 por cara de la cámara de refrigeración.

La validación de la relación entre los datos de radiación y corriente observadas fueron requeridos dado el rango de operación mínimo establecido por el fabricante del trazador de curvas E-1000, esto producto de que en su

instructivo indica no superar inclinaciones a 40° y el rango de operación para la radiación solar inicia en los 600 W m^2 .

La mayor variación de la radiación solar que se observó en la Figura 28 se relaciona con los efectos de la nubosidad parcial para el día seleccionado y la inclinación del panel en estudio.

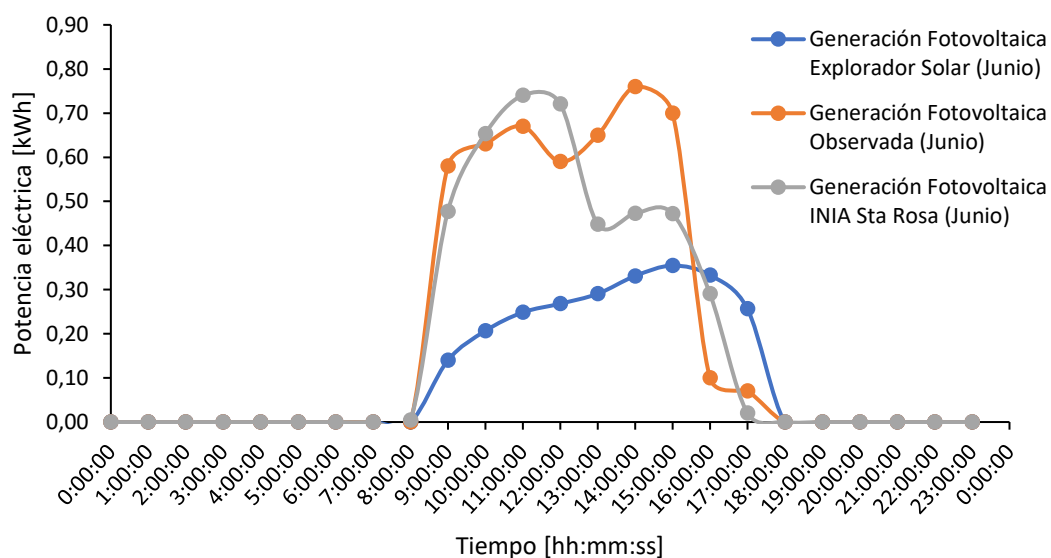


Figura 36. Generación fotovoltaica para el arreglo de diez paneles en geometría de U invertida para el mes de junio del 2022.

La extrapolación de los valores de generación fotovoltaica del panel JKM260P-60 a las dimensiones de la cámara se presentaron en las Figura 27, 28, 29 y 30. En las caras laterales de la cámara se estimó una cantidad de 3 paneles por cara, y en la cara superior (que contiene los paneles con acimut 0° e inclinación 0°) se estimó una cantidad de cuatro paneles, estimado un total de 10 paneles por cámara de refrigeración.

La energía generada por los 10 paneles para un día promedio del mes de mayo corresponde a 5,71 kWh, con una generación promedio horaria de 0.63 kWh h⁻¹.

La generación energética extrapolada satisface los requerimientos de una cámara de refrigeración, dentro de los elementos de la cámara de refrigeración relevantes en consumo eléctrico se tienen la iluminación que consume aproximadamente un 24% de la energía requerida, el compresor que consume 70% de la energía y el evaporador que consume un 6% de la energía total requerida por la cámara de refrigeración.

Los requerimientos energéticos de la cámara son directamente proporcionales a la cantidad de materia que se requiere refrigerar de esta forma las cámaras de mayor tamaño requieren mayor generación fotovoltaica para llevar a cabo su funcionamiento.

Según la investigación de (Vásquez Benavides & Jara Polanco, 2013) los requerimientos energéticos para una cámara de 288 m³ corresponden a 63 kWh día⁻¹. De esta forma al interpolar esta información a las dimensiones de la cámara de esta investigación se obtuvo un requerimiento energético 3,15 kWh día⁻¹ el que es inferior a los 5,71 kWh día⁻¹ generados por el arreglo fotovoltaico.

Los perfiles de radiación presentan una mejor coincidencia entre los datos observados en terreno y los observados en la estación Santa Rosa (INIA). Lo anterior tiene como consecuencia una mejor coincidencia en los perfiles de generación fotovoltaica entre los mismos datos de origen.

La presencia de nubosidad afecta significativamente los niveles de radiación solar (y en consecuencia los niveles de generación fotovoltaica estimada y observada) presentando niveles inferiores a los obtenidos mediante el explotador solar.

Además de lo anterior la presencia de nubosidad parcial durante el día de medición afectó la curva de radiación y de generación fotovoltaica. En la Figura 27 se observó que la radiación solar estimada presenta un desfase respecto a los resultados con los datos de origen de la estación Santa Rosa (INIA) y del explorador solar, no obstante esto se produce dado que el nivel de radiación a las 16:00 horas y a las 17:00 horas presentaron valores de un 10% de la radiación esperada (50 Wm^{-2} versus 500 W m^{-2} esperados) de esta forma se concluye que los resultados de los paneles que midieron radiación en presencia de nubosidad están centrados respecto al medio día solar.

Finalmente, la energía generada por los 10 paneles para un día promedio del mes de junio corresponde a 4,75 kWh, con una generación promedio horaria de 0.59 kWh h^{-1} , cumpliendo con los requerimientos energéticos propuestos por (Vásquez Benavides & Jara Polanco, 2013).

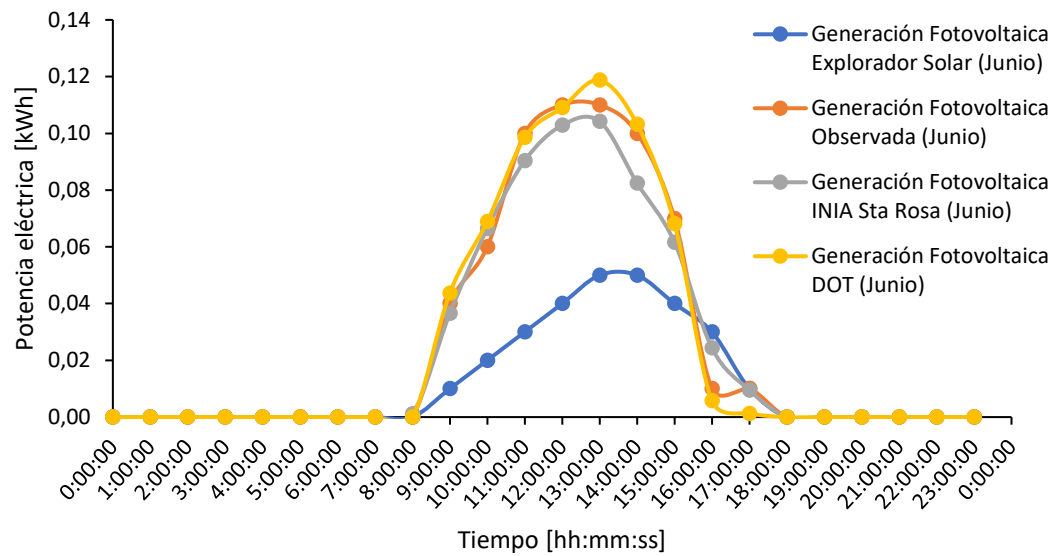


Figura 37. Generación fotovoltaica para un panel con simulación de datos obtenidos en terreno (DOT) para acimut 0° e inclinación 0° .

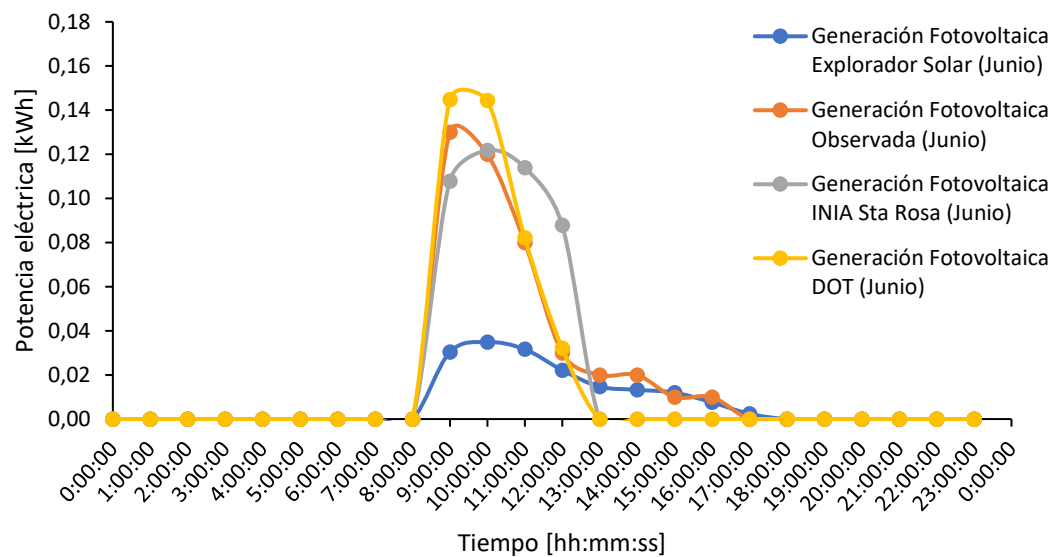


Figura 38. Generación fotovoltaica para un panel con simulación de datos obtenidos en terreno (DOT) para acimut 90° e inclinación 90° .

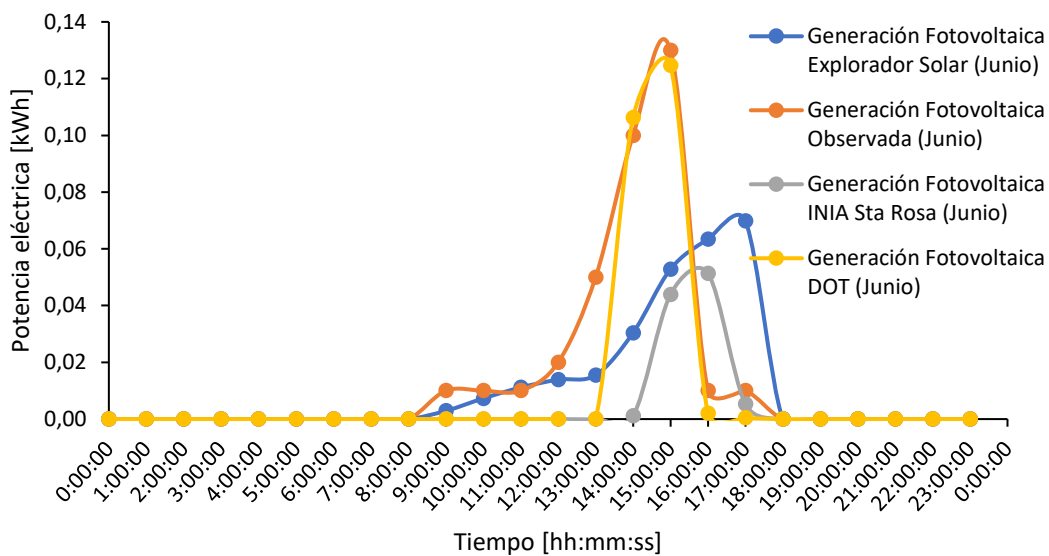


Figura 39. Generación fotovoltaica para un panel con simulación de datos obtenidos en terreno (DOT) para acimut 270° e inclinación 90° .

La simulación de la generación fotovoltaica con los datos obtenidos de la estación meteorológica reveló similitudes con la generación observada para las tres orientaciones del panel.

La Figura 37 reveló rangos de generación fotovoltaica entre 0,00 kWh y 0,11 kWh para la generación fotovoltaica observada y un intervalo entre 0,00 kWh y 0,12 kWh para la generación fotovoltaica DOT en el caso de la orientación con acimut 0° e inclinación 0° .

La Figura 38 expuso intervalos de variación de 0,00 kWh a 0,14 kWh para los datos observados en terreno y un rango de 0,00 kWh a 0,16 kWh para la simulación DOT en la orientación con acimut 90° e inclinación 90° .

Finalmente, en la Figura 39 se identificó un intervalo de variación entre 0,00 kWh y 0,15 kWh para tanto para los valores observados en terreno como para la simulación DOT en la orientación acimut 270° e inclinación 90° .

Las curvas correspondientes a la estimación con datos observados en terreno presentaron similitudes geométricas con la curva de generación fotovoltaica observada en terreno de esta forma las diferencias entre las curvas de la estimación DOT y el explorador solar resultaron similares a las diferencias entre los datos observados en terreno y las estimaciones del explorador solar. Los valores estimados presentaron una diferencia máxima correspondiente a 0,08 kWh (para el acimut 0° e inclinación 0°) con los resultados expuestos por el explorador solar (Figura 37). En el caso correspondiente a acimut 90° e inclinación 90° la diferencia máxima se observó al medio día solar alcanzando un valor de 0,14 kWh (Figura 38). Finalmente, en la orientación correspondiente a acimut 270° e inclinación 90° se identificó una diferencia de aproximadamente 0,10 kWh entre los datos estimados según la información del terreno y el explorador solar (Figura 39).

La Figura 40 y la Figura 41 revelaron niveles de relación 1:1 superiores a los observados en la Figura 31, Figura 32 y Figura 33.

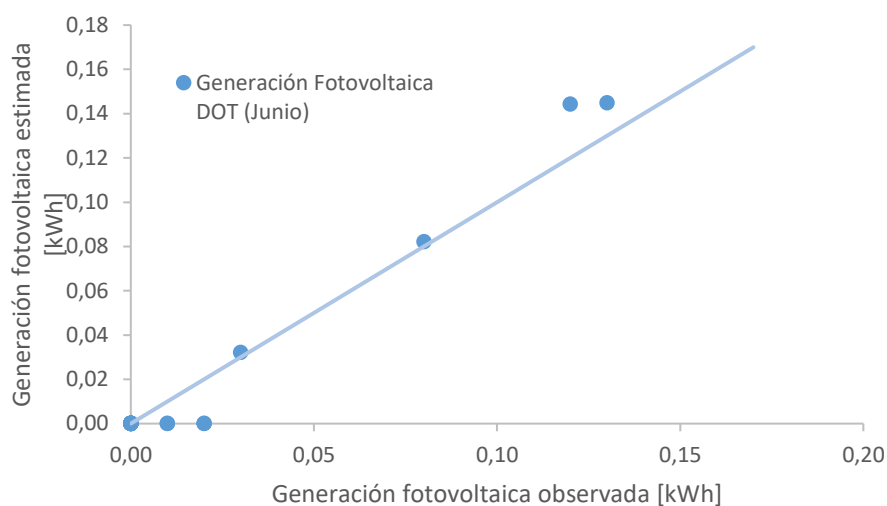


Figura 40. Relación 1:1 para generación fotovoltaica del panel con acimut 0° e inclinación 0° para DOT.

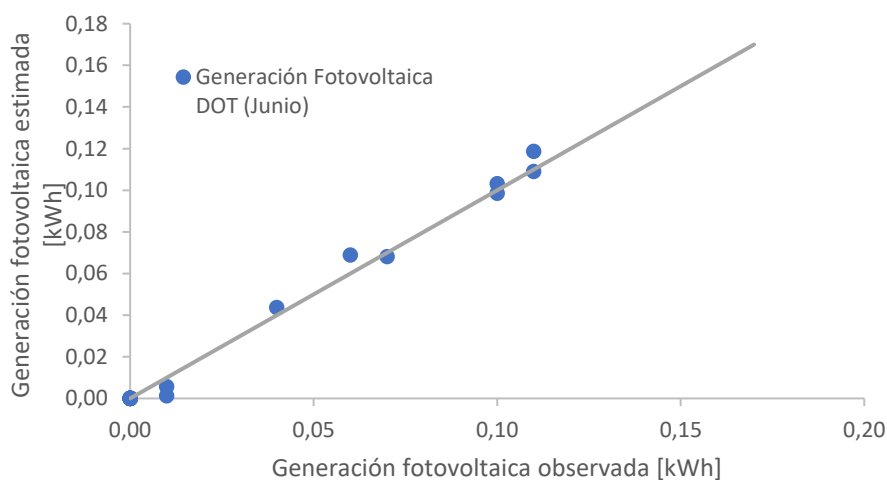


Figura 41. Relación 1:1 para generación fotovoltaica del panel con acimut 90° e inclinación 90° para DOT.

En el caso de la Figura 42 la dispersión en la relación 1:1 se debió al desplazamiento de las curvas respecto al eje de generación fotovoltaica. La nubosidad al finalizar el día de medición genero un máximo absoluto para la radiación a una hora anterior a lo previsto de esta forma las curvas de radiación solar y de generación fotovoltaica según la Figura 39 se observaron desplazadas.

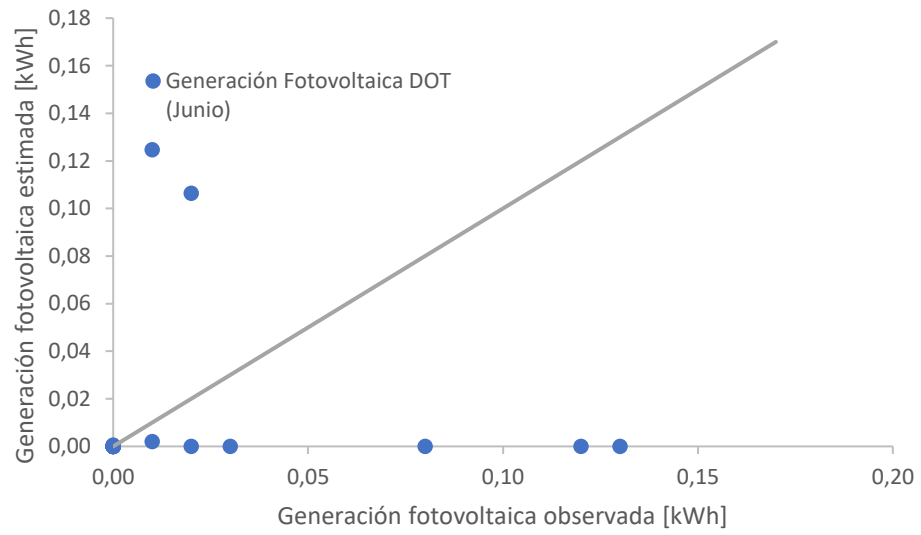


Figura 42. Relación 1:1 para generación fotovoltaica del panel con acimut 270° e inclinación 90° para DOT.

6. Conclusión

En la presente investigación se llevó a cabo el análisis de la generación fotovoltaica contrastando los datos obtenidos en la estación agrometeorológica de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Concepción del campus Chillán con las generaciones obtenidas mediante la plataforma del explorador solar del gobierno de Chile.

Para llevar a cabo las mediciones en terreno se construyó una estructura metálica para sostener un panel solar fotovoltaico modelo JKM260P-60 orientando el panel con acimut 0° , 90° y 270° (con inclinaciones de 0° , 90° y 90° respectivamente).

La evolución de la variable razón radiación solar y razón corriente eléctrica presente un comportamiento similar a lo largo del día de esta forma los cambios en la radiación explican los cambios en la corriente eléctrica y en consecuencia justifican la generación fotovoltaica considerando que los paneles con inclinación 90° se encuentran fuera de razón según las especificaciones del fabricante.

En las Figuras 25, Figuras 26 y Figura 27 correspondientes a la generación fotovoltaica se observó un desfase en la generación fotovoltaica máxima estimada y observada identificando la ubicación del máximo desfasada en comparación con los datos estimados por medio del explorador solar.

La generación fotovoltaica presento un nivel máximo correspondiente a 0,15 kWh para el plano horizontal a las 12:00, este valor de energía se asoció con un valor máximo de error relativo correspondiente a un 53%. El resultado

anterior presenta similitud en la generación fotovoltaica cuando el panel se orientó con acimut 270° e inclinación de 90° presentando una generación máxima de 0,15 kWh a las 16:00 horas.

Las estimaciones con los datos de radiación y temperatura obtenidos en terreno presentaron similitudes geométricas según la Figura 37, Figura 38 y Figura 39. Lo que permitió concluir que el modelo en ausencia de nubosidad permite estimar satisfactoriamente la generación fotovoltaica solo con la información de la radiación solar de la localidad y la temperatura del sector.

Finalmente, los efectos de la nubosidad afectan negativamente la generación fotovoltaica, los resultados obtenidos en terreno al compararlos con los datos estimados con las ecuaciones del modelo del explorador solar se observó una variación porcentual mayor al 50%. En el caso de los datos obtenidos en terreno se consideró como supuesto igualdad en generación fotovoltaica para todos los días de un mes. Respecto al mes de mayo los efectos de la nubosidad bajan significativamente la generación eléctrica lo que es considerado en el explorador solar.

La generación solar fotovoltaica obtenida cumple los requerimientos para una cámara de refrigeración que requiera suplir una demanda energética inferior a $2084 \text{ kWh año}^{-1}$, no obstante, este valor se obtuvo al considerar todos los días del año idénticos en generación fotovoltaica. Al observar los datos de radiación y obtener las generaciones fotovoltaicas se concluyó que la generación fotovoltaica es superior en los meses de primavera verano que en los meses

de otoño invierno de esta forma este escenario pesimista nos entrega un límite inferior de generación fotovoltaica.

7. LITERATURA CITADA

1. Al Garni, H. Z., Awasthi, A., & Wright, D. 2019. Optimal orientation angles for maximizing energy yield for solar PV in Saudi Arabia. [en línea]. *Renewable Energy*. 113: 538-550. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148118312321>>. [Consulta: 28 noviembre 2021].
2. Almeida, R. H., Narvarte, L., & Lorenzo, E. 2018. PV arrays with delta structures for constant irradiance daily profiles. [en línea]. *Sol Energy*. 171: 23-30. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X18306170>>. [Consulta: 21 octubre 2021].
3. Alves, O., Brito, P., Lopes, P., & Reis, P. 2014. Optimization of Energy Consumption in Cold Chambers in the Dairy Industry. [en línea]. *Energy Procedia*. 50: 494-503. <https://www.researchgate.net/publication/275533734_Optimization_of_Energy_Consumption_in_Cold_Chambers_in_the_Dairy_Industry/link/55e81dc708ae65b638996ee9/download>. [Consulta: 7 junio 2022].
4. Babatunde, A. A., Abbasoglu, S., & Senol, M. 2018. Analysis of the impact of dust, tilt angle and orientation on performance of PV Plants. [en línea]. *Renewable and Sustainable Energy Rev.* 90: 1017-1026. <<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1364032118302028?token=D5E9B490576A761F4E40A1CCAD93A8F35C8CAD8B6C7012C986A667EFA7A821A017C4257B2173A44586CAD8D8529632B9&originRegion=us-east-1&originCreation=20211110031802>>. [Consulta: 6 noviembre 2021].

5. Carvalho, M. O., Fradinho, P., Martins, M. J., Magro, A., Raumundo, A., & de Sousa, I. 2018. Paddy rice stored under hermetic conditions: The effect of relative humidity, temperature and storage time in suppressing *Sitophilus zeamais* and impact on rice quality. [en línea]. *J Stored Prod Res.* 80: 21-27. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022474X17303788>>. [Consulta: 10 noviembre 2021].
6. Chatzipanagi, A., Frontini, F., & Virtuani, A. 2016. BIPV-temp: A demonstrative Building Integrated Photovoltaic installation. [en línea]. *Appl Energy.* 173: 1-12. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261916304299>>. [Consulta: 31 octubre 2021].
7. Cruz Torres, D. A. 2013. ADAPTACIÓN A CAMBIO CLIMÁTICO EN EL ÁREA PROTEGIDA SIERRA GORDA, GUANAJUATO. Tesis, Licenciada en Geografía. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS COLEGIO DE GEOGRAFÍA, MÉXICO D.F, MÉXICO.
8. Daffallah, K. O., Benghanem, M., Alamri, S. N., Joraid, A. A., & Al-Mashraqui, A. A. 2017. Experimental evaluation of photovoltaic DC refrigerator under different thermostat settings. [en línea]. *Renewable Energy.* 113: 1150-1159. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148117304615>>. [Consulta: 31 octubre 2021].

9. Díaz de León-Sánchez, F., Pelayo-Zaldívar, C., Rivera-Cabrera, F., Ponce-Valadez, M., Ávila-Alejandre, X., Fernández, F. J., . . . Pérez-Flores, L. J. 2009. Effect of refrigerated storage on aroma and alcohol dehydrogenase activity in tomato fruit. [en línea]. *Postharvest Biol Technol.* 54: 93-100. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925521409001379>>. [Consulta: 31 octubre 2021].
10. Ding, Y., Young, M., Zhao, Y., Traverse, C., Bernard, A., & Lunt, R. R. 2014. Influence of photovoltaic angle-dependence on overall power output for fixed building integrated configurations. [en línea]. *Sol Energy Mater Sol Cells.* 132: 523-527. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927024814005133>>. [Consulta: 20 diciembre 2020].
11. Dobos, A. P. 2014. PVWatts version 5 manual. Reporte Técnico, National Renewable Energy Laboratory.
12. El-Sebaili, A. A., Al-Hazmi, F. S., Al-Ghamdi, A. A., & Yaghnour, S. J. (2010). Global, direct and diffuse solar radiation on horizontal and tilted surfaces in Jeddah, Saudi Arabia. [en línea]. *Appl Energy.* 87: 568-576. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261909002700>>. [Consulta: 20 diciembre 2020].
13. ENTEC SOLAR. (s.f.). E-1000 Smart I-V curve tracer Entec Solar User Manual for E-1000 and E-Sens. Manual de usuario.

14. Esclapés, J., Ferreiro, I., Piera, J., & Teller, J. 2014. A method to evaluate the adaptability of photovoltaic energy on urban façades. [en línea]. Sol Energy. 105: 414-427. <<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0038092X14001467?token=A47688E5C1F53BF752BA75581920BB3EA79CF7049CB4074F4C4BE8FA919ABBBF8EAA69CE60F354BB46FB0CD1C943098A&originRegion=us-east-1&originCreation=20211110030051>>. [Consulta: 8 noviembre 2021].
15. Evans, J. A., Foster, A. M., Huet, J. M., Reinholdt, L., Fikiin, K., Zilio, C., . . . van Sambeek, T. W. 2014. RENDIMIENTO ENERGÉTICO DEL ALMACENAMIENTO EN FRÍO. [en línea]. Frío Calor Aire Acondicionado. 42(471): 3-12. <https://www.researchgate.net/publication/293821021_Rendimiento_energetico_del_almacenamiento_en_frio_Cold_store_energy_performance>. [Consulta: 16 diciembre 2021].
16. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile. 2021. Recurso Solar y datos meteorológicos. Reporte, Universidad de Chile, Departamento de Geofísica, Santiago.
17. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile. 2022. Recurso Solar y datos meteorológicos. UNIVERSIDAD DE CHILE, FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS. fcfm.

18. Forero, N. L., Meza, W., Martínez, M. A., Caicedo, L. M., & Gordillo, G. 2008. Estimación del Valor Medio Mensual del Índice de Claridad Atmosférico (Kt) Para Bogotá, a Partir de Datos de Radiación Solar Global. [en línea] Revista Colombiana de Física. 40(1): 167-169. <https://www.researchgate.net/profile/Nelson_Forero6/publication/283601959_Estimacion_del_valor_medio_mensual_del_indice_de_claridad_atmosferico_Kt_para_Bogota_a_partir_de_datos_de_radiacion_solar_global/links/5c390e3b299bf12be3c140b9/Estimacion-del-valor->>. [Consulta: 20 diciembre 2020].
19. Galán de Vega, R., Arce Rubio, A., Koch Ciobotaru, C., & Lara Peinado, P. 2015. Modelo de cuantificación del potencial fotovoltaico de España [en línea]. <https://www.fundacionayesa.org/wp-content/uploads/2016/08/modelo_cuantificacion_potencial_fotovoltaico_espana_fundacion_ayesa.pdf>. [Consulta: 20 diciembre 2020].
20. Ghirardello, D., Contessa, C., Valentini, N., Zeppa, G., Rolle, L., Gerbi, V., & Botta, R. 2013. Effect of storage conditions on chemical and physical characteristics of hazelnut (*Corylus avellana* L.). [en línea]. Postharvest Biol Technol. 81: 37-43. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925521413000586->>>. [Consulta: 20 diciembre 2020].
21. Guajardo-Panes, R. A., Granados-Ramírez, G. R., Sánchez-Cohen, I., Díaz-Padilla, G., & Barbosa-Moreno, F. 2017. Validación espacial de datos climatológicos y pruebas de homogeneidad: caso Veracruz, México. [en línea]. Tecnología y Ciencias del Agua. 5: 157-177. <<https://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v8n5/2007-2422-tca-8-05-157.pdf>>. [Consulta: 29 octubre 2023].

22. Gupta, B. L., Bhatnagar, M., & Mathur, J. 2014. Optimum sizing of PV panel, battery capacity and insulation thickness for a photovoltaic operated domestic refrigerator. [en línea]. *Sustainable Energy Technol Assess.* 7: 55-67. <<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2213138814000320?token=FC8663C27957F681EBA812764A0455F61165DCDBEE1556BF1FC9283B915D204CA7BF6503E725E8F9019FB1CD4FD8F0C4&originRegion=us-east-1&originCreation=20210830032643>>. [Consulta: 29 agosto 2021].
23. Gwanpua, S. G., Jabbar, A., Zhao, M., Heyes, J. A., & East, A. R. 2017. Investigating the potential of dual temperature storage as a postharvest management practice to mitigate chilling injury in kiwifruit. [en línea]. *Int J Refrig.* 86: 62-72. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140700717305029>>. [Consulta: 12 noviembre 2021].
24. Han, M., Xiong, J., Wang, S., & Yang, Y. 2020. Chinese photovoltaic poverty alleviation: Geographic distribution, economic benefits and emission mitigation. [en línea]. *Energy Policy.* 144: 111685. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421520304146>>. [Consulta: 12 noviembre 2021].
25. Ioan, S., & Calin, S. 2013. Review of solar refrigeration and cooling systems. [en línea]. *Energy Build.* 67: 286-297. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778813005197>>. [Consulta: 12 noviembre 2021].

26. isoterma. 2021. isoterma. Obtenido de cámaras frigoríficas: <https://www.camarasfrigorificas.es/camara-frigorifica-modular-85-sin-suelo/>
27. jinkosolar. (s.f.). Standard Module: JKM260P-60(240W~260W). Ficha Técnica.
28. Kwak, P., Kim, N., Kim, J., Kim, D., Song, K., & Lee, J. 2017. Flexible space solar cell array with radiation shield fabricated by guided-printing of cover glasses. [en línea]. Sol Energy Mater Sol Cells. 169: 210-214. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927024817302374>>. [Consulta: 20 diciembre 2020].
29. Lahnaoui, A., Stenzel, P., & Linssen, J. 2017. Tilt angle and orientation impact on the techno-economic performance of photovoltaic battery systems. [en línea] Energy Procedia. 105: 4312-4320. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217310020>>. [Consulta: 4 noviembre 2021].
30. Lei, H., Guo, W., & Dai, C. 2019. Experimental study of a micro-refrigeration system driven by photovoltaic power generation. [en línea]. Energy Procedia. 158: 516-521. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610219301559>>. [Consulta: 4 noviembre 2021].

31. Li, D., Cheng, Y., Dong, Y., Shang, Z., & Guan, J. 2017. Effects of low temperature conditioning on fruit quality and peel browning spot in 'Huangguan' pears during cold storage. [en línea]. *Postharvest Biol Technol.* 131: 68-73. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925521416305774>>. [Consulta: 30 agosto 2021].
32. Li, T. X., Wang, R. Z., Kiplagat, J. K., & Chen, H. 2010. Experimental study and comparison of thermochemical resorption refrigeration cycle and adsorption refrigeration cycle. [en línea]. *Chem Eng Sci.* 65: 4222-4230., <<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0009250910002617?token=F0730EFCB9EBE58728F73080922C83ED9B397F10F30E1901FCE9C726B7D440993E365D7EBCC5FD7A17A0C484AFF9A4E1&originRegion=us-east-1&originCreation=20211109181839>>. [Consulta: 6 noviembre 2021].
33. Lillo-Bravo, I., Bobadilla, M. A., Moreno-Tejera, S., & Silva-Pérez, M. 2020. A novel storage system for cooling stand-alone photovoltaic installations. [en línea]. *Renewable Energy.* 155: 23-37. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148120304602>>. [Consulta: 20 diciembre 2020].
34. Litjens, G., Worrell, E., & van Sark, W. (4 de July de 2017). Influence of demand patterns on the optimal orientation of photovoltaic systems. [en línea]. *Sol Energy.* 155: 1002-1014. <<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0038092X17305856?token=765861D28D3E996EC15192D3EFB4875784290A1B0B514E59325D9214237EDB449A0C0D799592FF230A2515F81C3CCE7E&originRegion=us-east-1&originCreation=20211109193212>>. [Consulta: 6 noviembre 2021].

35. Mengyao, H., Jiao, X., Siyuan, W., & Yu, Y. (2020). Chinese photovoltaic poverty alleviation: Geographic distribution, economic benefits and emission mitigation. [en línea]. *Energy Policy*. 144: 111685. <<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0301421520304146?token=7753EA2D1EBE7FABEE055D7F985BF44F3B9E4FA879EEB5E10E673A5E0A51EE4A71D33C7B722C854536237AE3414B94DE&originRegion=us-east-1&originCreation=20210828152011>>. [Consulta: 28 agosto 2021].
36. Mertens, K. (2014). *Photovoltaics Fundamentals, Technology and Practice* (1a. ed.). (G. Roth, Trad.). John Wiley & Sons Ltd. Munich
37. Moaleman, A., Kasaeian, A., Aramesh, M., Mahian, O., Sahota, L., & Tiwari, G. N. 2017. Simulation of the performance of a solar concentrating photovoltaic-thermal collector, applied in a combined cooling heating and power generation system. [en línea]. *Energy Convers Manage*. 160: 191-208. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890417312098>>. [Consulta: 4 noviembre 2021].
38. Mokhtara, C., Negrou, B., Settou, N., & Bouferrouk, A. 2021. Optimal design of grid-connected rooftop PV systems: An overview and a new approach with application to educational buildings in arid climates. [en línea]. *Sustainable Energy Technol Assess*. 47: 101468. <<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2213138821004781?token=8BB87D94AD1243ECC6A340795D42C9406EF77D1CEA0488A28C3AF7AB858CA2BA47A071F94E19CE3F409A3E072D7D81A1&originRegion=us-east-1&originCreation=20211110034458>>. [Consulta: 8 noviembre 2021].

39. Molina Monje, A. 2017. Modelo de Radiación Solar. Reporte, Universidad de Chile, Departamento de Geofísica, Santiago. Chile.
40. Molina Monje, A., & Martínez, F. 2017. Modelo de Generación Fotovoltaica. Universidad de Chile, Departamento de Geofísica, Santiago. Chile.
41. Myeonchan, O., Jin-Young, K., Boyoung, K., Chang-Yeol, Y., Chang Ki, K., Yong-Heack, K., & Hyun-Goo, K. 2020. Tolerance angle concept and formula for practical optimal orientation of photovoltaic panels. [en línea]. *Renewable Energy* 167: 384-394. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148120318486>>. [Consulta: 2 noviembre 2020].
42. Myong, S. Y., Jeon, L. S., & Kwon, S. W. 2013. Superstrate type flexible thin-film Si solar cells using flexible glass substrates. [en línea]. *Thin Solid Films*. 169: 705-709. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040609013018920>>. [Consulta: 20 diciembre 2020].
43. Pamir Aly, S., Ahzi, S., & Barth, N. (2019). Effect of physical and environmental factors on the performance of a photovoltaic panel. [en línea]. *Sol Energy Mater Sol Cells*. 200: 109948 <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927024819302776>>. [Consulta: 20 diciembre 2020].

44. Peng, S., Jie, J., Jingyong, C., Yuhe, G., & Kedong, H. 2020. Dynamic simulation and experimental study of a variable speed photovoltaic DC refrigerator. [en línea]. *Renewable Energy*. 152: 155-164. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148120300525>>. [Consulta: 5 noviembre 2021].
45. Perpiñan Lamigueiro, O. 2018. *Energía Solar Fotovoltaica*. España: creative commons. España.
46. Perpiñán Lamigueiro, Ó., Colmenar Santos, A., & Castro Gil, M. 2012. *Diseño de Sistemas Fotovoltaicos*. España: creative commons. España
47. PHOLTAIC SOLUCIONES FOTOVOLTAICAS. 2021. Análisis de Curva I-V de Módulos y Strings Fotovoltaicos. PHOTOVOLTAIC. (documento de trabajo, <https://www.pholtaic.cl/wp-content/uploads/2021/04/An%C3%A1lisis-de-Curva-I-V-de-M%C3%B3dulos-y-Strings-Fotovoltaicos.pdf>)
48. Quevedo, R., Pedreschi, F., Bastias, J. M., & Díaz, O. 2015. Correlation of the fractal enzymatic browning rate with the temperature in mushroom, pear and apple slices. [en línea]. *LWT Food Sci Technol*. 65: 406-413. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643815301468>>. [Consulta: 30 agosto 2021].
49. Ren, F.-r., Tian, Z., Liu, J., & Shen, Y.-t. 2020. Analysis of CO2 emission reduction contribution and efficiency of China's solar photovoltaic industry: Based on Input-output perspective. [en línea]. *Energy*. 199: 117493. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544220306009>>. [Consulta: 30 agosto 2021].

50. Reynaud, C. A., Clerc, R., Balthazar Lechêne, P., Hébert, M., Cazier, A., & Arias, A. C. 2019. Evaluation of indoor photovoltaic power production under directional and diffuse lighting conditions. [en línea]. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. 200: 110010. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927024819303393>>. [Consulta: 20 diciembre 2020].
51. Rhythm, S., & Rangan, B. 2016. Impact of Solar Panel Orientation on Large Scale Rooftop Solar Photovoltaic Scenario for Mumbai. [en línea]. *Energy Procedia*. 90: 401-411. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610216314175>>. [Consulta: 3 noviembre 2021].
52. Sánchez, E., & Izard, J. 2014. Performance of photovoltaics in non-optimal orientations: An experimental study. [en línea]. *Energy and Buildings*. 87: 211-219. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778814009669>>. [Consulta: 31 octubre 2021].
53. Sreenath, S., Sudhakar, K., & Yusop, A. F. 2021. Effect of PV material, texturing, orientation and tracking on glare impact: A simulation study from an Indian airport. [en línea]. *Cleaner Engineering and Technology*. 4: 100236 <<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2666790821001968?token=EFC74B71AF24201FFBC0CD1BE48B3792755A7207B6FC2EE10BAC86D41B66511774DCBDF9E02728B489DB26E471739659&originRegion=us-east-1&originCreation=20211110044734>>. [Consulta: 5 noviembre 2021].

54. Sun, H., Kiang, H. C., En Rong, T. S., Chen, T., & Reindl, T. 2021. Comprehensive feasibility assessment of building integrated photovoltaics (BIPV) on building surfaces in high-density urban environments. [en línea]. Sol Energy. 225: 734-746. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X21006290>>. [Consulta: 13 noviembre 2021].
55. Terehovics, E., Soloha, R., Veidenbergs, I., & Blumberga, D. 2018. Analysis of fish refrigeration electricity consumption. [en línea]. Energy Procedia. 147: 649-653. <<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1876610218302418?token=A4560B7C5615630110C6F628F81C46124D0781DFB5C7AB5EAC11D56E2B95ABE444D1AE4BC2740C2DE60CA9A87DD2D1DE&originRegion=us-east-1&originCreation=20220616035040>>. [Consulta: 31 mayo 2022].
56. Tirawat, D., Flick, D., Mérendet, V., Derens, E., & Laguerre, O. 2016. Combination of fogging and refrigeration for white asparagus preservation on vegetable stalls. [en línea]. Postharvest Biol Technol. 124: 8-17. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925521416303957>>. [Consulta: 30 agosto 2021].
57. Vargas Gil, G. M., Aguiar Cunhar, R. B., Di Santo, S. G., Machado Monaro, R., Fragoso Costa, F., & Sguarezi Filho, A. J. 2020. Photovoltaic energy in South America: Current state and grid regulation for large-scale and distributed photovoltaic systems. [en línea]. Renewable Energy. 162: 1307-1320. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148120312593>>. [Consulta: 20 diciembre 2020].

58. Vásquez Benavides, J. L., & Jara Polanco, J. N. 2013. Cálculo de una cámara de frío para conservación de huelo, hortalizas y frutas congeladas. Tesis para optar a título, Ingeniero de Ejecución en Mecánica. Universidad del Bío-Bío. Departamento de Ingeniería Mecánica. Concepción. Chile.
59. Vera-Dávila, A. G., Delgado Ariza, J. C., & Sepúlveda Mora, B. S. 2018. Validación del modelo matemático de un panel solar empleando la herramienta Simulink de Matlab. [en línea]. Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación. 8(2): 343-356. <<https://doi.org/10.19053/20278306.v8.n2.2018.7972>>. [Consulta: 30 agosto 2021].
60. Wang, J., Zhou, X., Zhou, Q., Cheng, C., Wei, B., & Ji, S. 2017. Low temperatura conditioning alleviates peel browning by modulating energy and lipid metabolisms of 'Nanguo' pears during shelf affter cold. [en línea]. Postharvest Biol Technol. 131. 10-15: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925521417300467>>. [Consulta: 30 agosto 2021].
61. Wang, Y., Li, M., Du, W., Ji, X., & Xu, L. 2018. Experimental investigation of a solar-powered adsorption refrigeration system with the enhancing desorption. [en línea]. Energy Convers Manage. 155: 253-261. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890417309974>>. [Consulta: 29 octubre 2021].

62. Wenwen, G., Li, K., Tintai, C., Chunying, L., Qunzhi, Z., Zhongzhu, Q., . . . Saffa, B. R. 2020. Energy performance of photovoltaic (PV) windows under typical climates of China in terms of transmittance and orientation. [en línea]. Energy. 213: 1-11. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544220319010>>. [Consulta: 1 noviembre 2021].
63. Xu, S., Li, J., Baldwin, E. A., Plotto, A., Roskopf, E., Hong, J. C., & Bai, J. 2017. Electronic tongue discrimination of four tomato cultivars harvested at six maturities and exposed to blanching and refrigeration treatments. [en línea]. Postharvest Biol Technol. 136: 42-49. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925521417306798>>. [Consulta: 1 noviembre 2021].
64. Yang, Q., Zhang, Z., Rao, J., Sun, Z., Ma, Q., & Dong, X. 2013. Low-temperature conditioning induces chilling tolerance in “Hayward”kiwifruit by enhancing antioxidant enzyme activity and regulating endogenous hormones levels. [en línea]. Science of Food and Agriculture. XCIII(15): 3691-3699. <<https://doi.org/10.1002/jsfa.6195>>. [Consulta: 8 noviembre 2021].
65. Yu, Z., Yang, Z., Teixeira da Silva, J. A., Luo, J., & Duan, J. 2018. Influence of low temperature on physiology and bioactivity of postharvest *Dendrobium officinale* stems. [en línea]. Postharvest Biol Technol. 148: 97-106. <<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.10.014>>. [Consulta: 8 noviembre 2021].

66. Zhao, H., Shu, C., Fan, X., Cao, J., & Jiang, W. 2018. Near-freezing temperature storage prolongs storage period and improves quality and antioxidant capacity of nectarines. [en línea]. *Scientia Horticulture*. 228: 196-203. <<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.032>>. [Consulta: 30 agosto 2021].

67. Zhao, J. M., Bronlund, J. E., & East, A. R. 2015. EFFECT OF COOLING RATE ON KIWIFRUIT FIRMNESS AND ROT INCIDENCE IN SUBSEQUENT STORAGE. [en línea]. *ISHS Acta Horticulture*. <<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1079.38>>. [Consulta: 30 agosto 2021].

68. Zhao, M. J. 2017. Development of a Mathematical Model for 'Hayward' Kiwifruit Softening in the Supply Chain. Tesis doctoral, Massey University. <<https://mro.massey.ac.nz/server/api/core/bitstreams/18d1bd14-24a3-4e17-bed8-52e859dfc9fa/content> >. [Consulta: 9 noviembre 2021].