

# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

## FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

### ANÁLISIS DE SISTEMAS HÍBRIDOS DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA Y RECOLECCIÓN DE AGUA LLUVIA PARA APLICACIONES AGROINDUSTRIALES

### DISEÑO Y EVALUACIÓN DE ESTRUCTURAS DE SOPORTE DE PANELES FOTOVOLTAICOS QUE MEJOREN LA CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA EN LA CIUDAD DE QUITO.

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA EN  
MÉCANICA

NATHALY DANIELA AGUILAR MACÍAS

[nathaly.aguilar01@epn.edu.ec](mailto:nathaly.aguilar01@epn.edu.ec)

DIRECTOR: SANTIAGO DAVID VACA JIMÉNEZ

[santiago.vaca@epn.edu.ec](mailto:santiago.vaca@epn.edu.ec)

DMQ, agosto 2023

## **CERTIFICACIONES**

Yo, Nathaly Daniela Aguilar Macías declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



---

**NATHALY DANIELA AGUILAR MACÍAS**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Nathaly Daniela Aguilar Macías, bajo mi supervisión.

---

**SANTIAGO DAVID VACA JIMÉNEZ**  
**DIRECTOR**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

Nathaly Daniela Aguilar Macías

Santiago David Vaca Jiménez

## **DEDICATORIA**

Este trabajo va dedicado a mi familia que todos los años de carrera han sabido brindarme el apoyo necesario para no desistir aun cuando las condiciones parecían llevarme en otra dirección, por todo el amor, paciencia y ánimos que he recibido; también para mis compañeros que sin su apoyo nada de esto hubiera sido posible, cada día ha sido un arduo trabajo en darnos la mano uno al otro para alcanzar un meta más en nuestras vidas; y por ultimo pero no menos importante a mi pareja y amigos cercanos, por que han sido los encargados de levantarme cada que sentía que había caído, siendo ellos quienes me han permitido no olvidar todo el camino que he recorrido y lo mucho que se avecina en mi futuro.

## **AGRADECIMIENTO**

Los agradecimientos de este trabajo van dirigidos directamente a mi tutor, ha sido un año lleno de aprendizaje y paciencia, en el cual se ha logrado desarrollar un trabajo que inició siendo abierto y me llevó a enfocar mi atención en un tema de interés general, porque el trabajo es para y por todo el país, siendo un aporte de lo que en un futuro desempeñaré, siendo únicamente posible a mi tutor Santiago Vaca.

Y de igual forma a todos mis profesores del área de energía, que a lo largo de la carrera me han dado no solo conocimiento, sino que han permitido desarrollar mi criterio en lo que hoy me apasiona de mi carrera.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES .....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	II
DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTO .....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	V
RESUMEN.....	VI
ABSTRACT .....	VII
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	1
1.1 Objetivo general.....	2
1.2 Objetivos específicos .....	2
1.3 Alcance .....	2
1.4 Marco teórico .....	3
Energía solar fotovoltaica y su pérdida de eficiencia por temperatura.....	3
Sistemas Agrivoltaicos.....	4
Temperatura del agua de riego.....	5
Sistemas híbridos de generación de electricidad y captación de agua lluvias.....	5
2 METODOLOGÍA .....	6
2.1 Fase experimental.....	7
2.2 Fase Analítica .....	10
3 RESULTADOS, DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	13
3.1 Resultados.....	13
Resultados de la parte experimental.....	13
Resultados de la parte analítica.....	16
3.2 Discusión de resultados .....	19
3.3 Conclusiones .....	20
3.4 Recomendaciones .....	21
4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	22
5 ANEXOS.....	24
ANEXO I.....	25
ANEXO II.....	26

## RESUMEN

La economía del Ecuador tiene una alta dependencia del sector agrícola. Sin embargo, la mayoría de producción agrícola actual no llega a niveles de rendimiento altos. Un requisito fundamental para aumentar estos rendimientos es el riego. Estudios han determinado que el riego con agua caliente tiene mejores beneficios para la planta. Además, el bombeo de agua de riego también consume grandes cantidades de energía. Este proyecto busca diseñar y analizar un sistema híbrido que permita capturar el agua requerida por el cultivo de la precipitación, y usar un sistema fotovoltaico que permita suplir la demanda energética de bombeo y calor para el riego de este.

Para el diseño del sistema fue necesario considerar al sistema de paneles fotovoltaicos y el de captación de agua lluvia de manera conjunta. Esto se realizó en dos fases: la experimental, en la cual se definió un módulo que permitió tomar valores de temperatura de agua, y temperatura superficial de un solo panel; y la analítica, en la cual luego de obtener los resultados experimentales se realiza una aproximación del sistema en función a un área agrícola específica, para acomodar un arreglo de paneles.

Los resultados indicaron que el agua podría llegar a calentarse hasta 31°C durante las horas más soleadas del día. Esta ganancia de temperatura está dentro del rango que la literatura ha sugerido para mejorar el rendimiento de los cultivos. En este sentido, el diseño planteado, que usa energía renovable y agua de lluvia capturada, podría ser beneficioso para cultivos de sombra.

**PALABRAS CLAVE:** agrivoltaica, renovables, fotovoltaicas, captación de agua lluvia.

## ABSTRACT

Ecuador's economy has a strong reliance on the agricultural sector. However, most of the current agricultural production doesn't achieve high yield levels. A fundamental requirement to increase these yields is irrigation. Studies have determined that irrigation with warm water provides better benefits for the plants. Moreover, the pumping of irrigation water also consumes significant amounts of energy. This project aims to design and analyze a hybrid system that enables capturing the water required for cultivation from precipitation and utilizing a photovoltaic system to meet the energy demand for both pumping and heating the irrigation water.

For the system design, it was necessary to consider the photovoltaic panel system and rainwater harvesting system together. This was carried out in two phases: the experimental phase, in which a module was defined to measure water temperature and surface temperature of a single panel; and the analytical phase, in which, based on the experimental results, an approximation of the system was developed for a specific agricultural area to accommodate a panel array.

The results indicated that the water could be heated up to 31°C during the sunniest hours of the day. This temperature gain falls within the range that literature has suggested for improving crop performance. In this regard, the proposed design, which employs renewable energy and captured rainwater, could be beneficial for shade crops.

**KEYWORDS:** agrivoltaics, renewable, photovoltaic, rain-water-harvesting.

# 1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

El uso de energías renovables está en constante crecimiento a nivel mundial, con el fin de disminuir la dependencia de energías convencionales, ya que estas últimas se encuentran limitadas en ciertas áreas del mundo, por lo cual se ha generado conflictos energéticos al manipularla con fines políticos y económicos, desarrollando problemas en áreas industriales, siendo la agroalimentaria una de ellas, por lo cual estas han encontrado en fuentes energéticas naturales como el sol, aire y tierra, la solución para generar independencia del petróleo, gas o carbón de manera parcial, adicionándose en la última década sistemas de energías renovables.

En Ecuador existe gran demanda en cuanto a producción agrícola debido a la variedad de ecosistemas presentes en el país y la facilidad de producción de alimentos varios, siendo así que la industria agrícola representa una de las industrias que mayor requerimiento energético tiene en el país, en mayor parte este requerimiento energético proviene especialmente del petróleo, el cual corresponde a una fuente energética no renovable, tanto para el funcionamiento de sistemas de producción como son el bombeo de agua o manejo de maquinaria, como para el transporte de los productos finales a las diferentes áreas del país (*Vista de Uso de Las Energías Renovables En La Agroindustria En Ecuador. | Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, n.d.) ,siendo las nuevas alternativas de fuentes energéticas renovables, provenientes de la naturaleza, la solución para problemas ambientales que presenta el petróleo, como el alto índice de gases de efecto invernadero; y económicos con es la constante manipulación económica que se tiene de los derivados del petróleo.

Es por esto que en la última década se han diseñado sistemas provenientes de fuentes renovables para lo cual se acoge el término agrivoltaico, mediante el cual se busca satisfacer necesidades agrícolas y de producción a través de energía solar, este término busca utilizar la tierra que se encuentra bajo paneles fotovoltaicos con cultivos instaurados en los microclimas que se pueden generar, para lo cual se debe colocar estructuras realizadas en este componente proporcionando de manera óptima el aprovechamiento solar, la captación de agua lluvia y la mejora implementada a través de procesos que garanticen la mejora en eficiencia del sistema agrícola gracias a los microclimas, la captura de carbono natural y el control de polinización requerida en cultivos gracias a la sombra de los paneles y por sistema de calentamiento del agua captada para mejorar propiedades de los cultivos. (Ecoinventos, 2022)

## **1.1 Objetivo general**

Diseñar una estructura híbrida de paneles fotovoltaicos y de captación de agua lluvia, capaz de satisfacer necesidad de recolección, transporte y calentamiento del agua para sistemas de riego de agua caliente para mejorar propiedades de suelos de cultivos, en la ciudad de Quito.

## **1.2 Objetivos específicos**

1. Realizar la revisión de literatura de sistemas de captación de agua y sistemas de paneles solares híbridos utilizados en el área agrícola y sus aplicaciones.
2. Caracterizar el espacio y el requerimiento energético a aplicarse el sistema en el sector norte centro de la ciudad de Quito, donde se colocará el sistema.
3. Realizar el diseño mecánico estructural que cumpla los parámetros técnicos adecuados.
4. Trazar planos que describan y detallen la estructura híbrida de paneles fotovoltaicos que permitan calentamiento, y un sistema de captación de agua lluvia.

## **1.3 Alcance**

El presente proyecto cubrirá el diseño de una estructura de paneles fotovoltaicos, junto con sistema de captación de agua y transporte de la misma a través de los paneles fotovoltaicos con el fin de ser calentada, lo cual se analizará por medio de la realización de un experimento en el cual se simule este mecanismo. Posteriormente, se diseñará el sistema completo en un área específica en la ciudad de Quito, siendo este diseño la culminación del proyecto.

Todo esto se realizará a través de cuatro fases:

1. Fase de investigación y recolección de bibliografía
2. Fase de diseño y experimentación de un sistema micro.
3. Fase de implementación del experimento a través de un protocolo.
4. Fase de pruebas y análisis en un sistema macro de los resultados obtenidos.

## 1.4 Marco teórico

### Energía solar fotovoltaica y su pérdida de eficiencia por temperatura

En la actualidad, el crecimiento de las energías renovables se ha dado como solución a los actuales problemas climáticos. Entre estas tecnologías, el uso de la energía solar ha sido la de mayor relevancia en muchos países debido a la disponibilidad de radiación solar que se tiene en el planeta y la reducción en los precios de la energía fotovoltaica (Alvarado et al., n.d.). El informe de IRENA 2022, (Renewable Energy Agency, 2022) muestra que, hasta el año del 2020, la producción de energías renovables a nivel mundial ha ido en aumento, ya que se indica que ha existido un crecimiento de casi el 830% desde el año 2012 al año 2020, denotando la necesidad y el enfoque que se tiene actualmente en las energías renovables, en cuanto a Sudamérica en el año 2012 se tiene producción de energía solar únicamente de 173 GWh, sin embargo para el año de 2020 ese valor subió a 22 126 GWh, destacando producción en Chile y Brasil, enfocándonos más en Ecuador esta producción para el 2020 fue de 38 GWh, en contraste a los 4 GWh iniciando en el año del 2013, siendo una energía en crecimiento, tanto en el país como a nivel mundial. En el Ecuador, las instalaciones de energía solar no son comunes, debido a la relación costo-beneficio que presentan los sistemas fotovoltaicos.

A pesar de la disponibilidad solar, la energía fotovoltaica desde el año 1960 solamente se ha aprovechado en un máximo de 14 % hasta valores que en la actualidad oscilan entre el 17% al 23% de esta energía (Cambio Energetico, 2021), dependiendo del tipo de celda utilizada. Parte de esta baja eficiencia se da debido a las altas temperaturas que alcanza la superficie del panel fotovoltaico cuando está en operación, lo que disminuye la eficiencia de la conversión de energía dentro de sus celdas. Es por esta razón que, actualmente se han buscado sistemas de refrigeración que permitan mantener la temperatura de la superficie del panel y así aumentar su eficiencia (Hanco Apaza et al., n.d.). Una de las opciones que podría ser utilizado para esto, es la aspersion de agua sobre el panel.

Sin embargo, la aplicación de sistemas que requieran de conexión de agua para sistemas aislados, involucra un consumo energético, ya que el agua de red debe ser transportada hasta el punto de necesidad por medio de sistemas de bombeo que requieren de combustibles fósiles para su funcionamiento, hallando en la lluvia una manera fácil de obtención de este recurso, ya que puede ser captada en las áreas requeridas sin necesidad de conectar el sistema a la red o a sistemas de bombeo externos, disminuyendo la energía requerida y de igual manera costes de instalaciones fotovoltaicas con eficiencias mayores debido a la independencia que se adquiere.

Por lo cual, es importante considerar el agua lluvia como fuente para refrigerar sistemas fotovoltaicos, la cual fácilmente puede ser captada en techos propios de los sistemas fotovoltaicos que se encuentren al nivel del sistema de paneles o sobre ellos, sin ser requerida la bomba para transportar el agua hasta el sistema o como mínimo requerir una bomba de menor capacidad ya que la distancia a recorrer es menor

## **Sistemas Agrivoltaicos**

La agricultura industrializada es uno de los sectores con mayor consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero, así como de contaminación de agua y aire y deterioro de vida silvestre (ONU programa para el medio ambiente, 2020). Por lo tanto, los sistemas que combinen la agricultura con las energías renovables han ido tomando terreno a nivel mundial (Schindele et al., 2020), debido a las fuentes de alimentos no pueden ser reducidas o eliminadas en un contexto de crecimiento poblacional.

La actual aplicación más conocida de la energía obtenida por los paneles fotovoltaicas en la agricultura es el accionamiento de bombas que permiten el riego con agua obtenida de pozos. De esta manera, se soluciona el problema del riego de los cultivos y se descarbonizan sistemas que, de otra manera, hubieran requerido de combustibles fósiles. (Campana et al., 2022). Sin embargo, esta aplicación no usa todo el potencial de la instalación de sistemas renovables en la agricultura.

Los sistemas agrivoltaicos nacen del deseo de combinar la generación de energía solar fotovoltaica con la agricultura de una forma más completa. Estos sistemas usan los paneles fotovoltaicos dentro de una estructura que se coloca encima o en las inmediaciones de los campos agrícolas para fines agrícolas o ganaderos (*Un Uso Inclusivo de La Agrivoltaica | Enel Green Power | Enel Green Power, n.d.-a*). Con esto, además del aprovechamiento eléctrico de la energía solar, estos sistemas otorgan la sombra parcial que favorece a algunos cultivos (Marrou et al., 2013), e incluso puede llegar a reducir el uso de agua de riego ya que evita la rápida evaporación del agua en el suelo. También, dependiendo de las estructuras usadas y la disposición de los paneles, se pueden crear microclimas adecuados para ciertos cultivos. Los paneles fotovoltaicos pueden colocarse de manera que se complementen con invernaderos que permiten el paso parcial de la luz solar directa, para no interferir en el proceso natural de la fotosíntesis, y a su vez otorgando la energía eléctrica obtenida del sol para consumo de sistemas de control de temperatura y humedad, que evita el estrés térmico del suelo (*Ahorro de Agua Con Agrivoltaica | Enel Green Power, s.f.*). Todo esto contribuirá a que los cultivos mejoren su productividad.

En el 2020 en el mundo se tenía un total de 2200 sistemas agrivoltaicos instalados, con capacidades de 2.8 GW(Schindele et al., 2020). La proyección en Europa considera la instalación de un total de 85 GW en sistemas agrivoltaicos. (Hay espacio para la agrivoltaica, s. f.-b)

### **Temperatura del agua de riego**

El agua de riego usualmente está a la temperatura de la fuente o cuerpo de agua de donde se ha obtenido este recurso. Sin embargo, estudios han demostrado que usar agua con temperatura elevada a la media natural, podría ser beneficioso para los cultivos. Por ejemplo, Mir y Martín (2002), muestran que el riego con agua a 29°C mejora la absorción de nutrientes en los cultivos debido a una mejor solubilidad de los nutrientes en comparación a temperaturas menores. Esto conlleva a mejoras en el rendimiento de producción cercanos de entre 20 y 110%. Ellos encontraron que calentando el agua de cultivo entre 25 y 40°C se pueden obtener las siguientes mejoras en los rendimientos: maíz (28%), tomate (31%), fresas (35%) pimientos (41%), brócoli (113%), todo esto sin afectar el ritmo de maduración de los cultivos.(Villar Mir & Carrasco Martín, 2002). Finalmente, se ha discutido también que regar los cultivos con agua caliente puede ayudar en el control de algunos patógenos del suelo, en especial en verano en zonas áridas.

### **Sistemas híbridos de generación de electricidad y captación de agua lluvias**

Con el fin de satisfacer necesidades varias en sistemas completos que actualmente funcionan con combustibles fósiles para generar un único tipo de energía, siendo un punto de actual interés el reducir el uso de esta fuente energética convencional utilizando fuentes de energías renovables, destacando la solar por la gran disponibilidad existente (Quinzo Lucas, 2019), y de igual manera debido a que permite la conversión a energía térmica y eléctrica mediante el uso de la radiación solar, aumentando la eficiencia si estos sistemas se aplican de manera híbrida llegando a valores por encima de los 65%. (Gonzalez Peña, 2019)

Este tipo de sistemas se encuentran juntos en paneles híbridos comerciales, en los cuales se busca aumentar la eficiencia de paneles fotovoltaicos, como reducir espacio para la obtención de ambos tipos de energías, siendo aplicable para uso domestico o a mayor escala (Ecoinventos, 2022). Por otro lado, tenemos diseños modificados de paneles fotovoltaicos, en los cuales se realiza una cámara superior por la que puede ingresar aire o agua a ser calentado, para aplicaciones domésticas o en zonas aisladas.(Cabezas-Maslanczuk et al., 2018)

Debido al avance energías renovables se han ideado sistemas híbridos que permitan generar energías de más de un tipo en un mismo sistema por medio , dentro de los cuales se encuentran en este caso un sistema agrivoltaico que permita la utilización de paneles fotovoltaicos para múltiples actividades agrícolas, lo que otorga energía eléctrica obtenida del sol, por otro lado, al momento de analizar la captación de agua lluvia, la cual obtiene el calor del sol, de igual manera se obtiene energía térmica para cumplir necesidades de riego de cultivos. Teniendo así un sistema híbrido, al satisfacer necesidades eléctricas y térmicas, con recursos obtenidos directamente de la fuente como son la energía solar y el agua lluvia, sin previo transporte por medio de bombas a base de combustibles fósiles.

Un sistema compuesto únicamente por celdas fotovoltaicas puede a su vez permitir la captación de agua lluvia debido a sus condiciones físicas de construcción, por lo cual el agua lluvia simplemente requeriría atravesar el panel para absorber el calor directamente y luego ser transportada o almacenada, en caso de exceso de recurso, para luego ser aprovechada con fines agrícolas y a su vez permitiendo la generación eléctrica propia de un panel fotovoltaico.

Las condiciones en las que es beneficioso la aplicación de un sistema híbrido que combine la captación de agua y el requerimiento de energía eléctrica, haría factible la utilización de agua lluvia para riego y presentarían una mejora en la eficiencia del panel fotovoltaico. Así se puede mejorar más los sistemas agrivoltaicos, aprovechando de calor para riego.

El conjunto de todos los beneficios que se mencionan convierte a estos sistemas híbridos en sostenibles, Se aprovecha mejor la energía solar, se utiliza dicha energía para el consumo energético propio de los cultivos, y se capta y calienta el agua de riego de la lluvia de manera controlada.

## **2 METODOLOGÍA**

El estudio parte de la hipótesis de si se hace pasar agua a través de la superficie superior de un panel fotovoltaico, esta puede calentarse a una temperatura adecuada para usos de la agricultura. Este calentamiento sucede debido al intercambio de calor que existe entre la superficie del panel fotovoltaico, que se encuentra a mayor temperatura debido a la radiación incidente, y el agua que está a una temperatura menor.

Para probar esta hipótesis este estudio utiliza el método experimental y analítico. Por medio de un experimento, a escala, se obtienen datos reales de la ganancia de temperatura del sistema, que servirán para realizar una estimación del calentamiento total del agua en una estructura de invernadero existente de manera analítica.

## **2.1 Fase experimental**

Para el diseño de una estructura híbrida capaz de calentar el agua para riego, se necesita conocer las temperaturas a las que un panel fotovoltaico puede calentar agua lluvia que recorrería por este en diversas condiciones climáticas.

El experimento consiste en colocar un panel fotovoltaico directamente en contacto con un volumen controlado de agua que es esparcida en la parte superior del panel mediante una manguera con perforaciones. Al final del panel, existe un sistema de recolección de agua. Al medir las temperaturas de entrada y de recolección, se determina el delta de temperatura que el agua gana al recorrer el panel. Por otro lado, midiendo la temperatura de la superficie inferior del panel, se estima la disipación de calor del panel debido al paso del agua. Esto requerirá sistemas de soporte, riego, recolección, medición y su definición de variables. A continuación, se describe cada sistema.

### **Sistema de soporte**

El experimento se realiza con un panel fotovoltaico de silicio monocristalino de dimensiones 158x80.8x0.9 cm. Este panel se instalará manera que la parte más extensa esté inclinada para mayor área de circulación, para lo cual se requiere un sistema de agarres que se colocarán en los cuatro lados del panel para permitir su sujeción. El soporte debe permitir la inclinación del panel en un ángulo de 10 a 15°, según recomendaciones para el Ecuador, para el correcto desplazamiento del agua lluvia a través del panel. Se coloca un rango del ángulo de inclinación, debido a que su variación permite controlar la velocidad de desplazamiento del agua. A un ángulo mayor, el agua se desplaza más rápidamente y viceversa. (Energcity S.A., s.f.)

### **Sistema de riego**

El sistema de riego comprende la manguera de aspersión y el reservorio de agua. La manguera tiene un diámetro de ½" y una longitud de 85 cm. Esta tiene perforaciones de 1,5 mm de diámetro cada 1 cm en toda su longitud para asegurar que el agua se riegue de manera uniforme por todo el panel fotovoltaico.

El reservorio de agua se encuentra elevado por encima del punto más alto del panel fotovoltaico para que la caída de agua a través de la manguera sea por gravedad. El sistema de caída de agua será controlado mediante un volumen de 15 litros en un reservorio el cual tiene un diámetro de 29 cm, por lo cual considerando la densidad del agua se tiene una altura por litro de 1,51 cm, la cual se mantendrá colocando un máximo

de 4 litros y luego elevando el reservorio hasta la altura de trabajo para mantener la altura (presión) constante.

Para el control del caudal se mantendrá un tiempo en el que se realizará cada toma de 5 minutos.

El caudal,  $Q$ , es calculado con la Ecuación 1.

$$Q = \frac{V}{t}$$

#### **Ecuación 1. Caudal de agua**

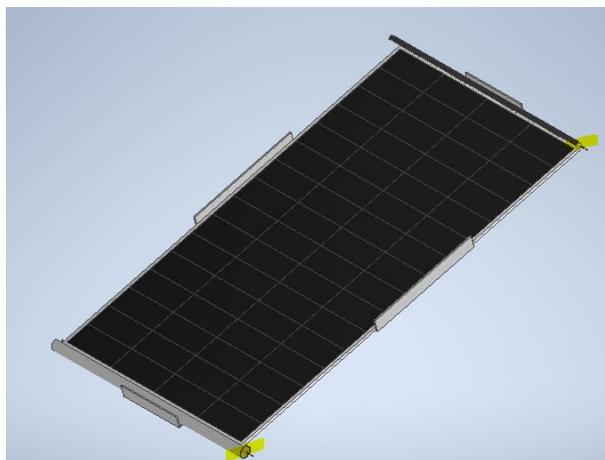
Donde,  $V$  es el volumen de agua y  $t$  es el tiempo en que se desocupa este volumen. Considerando el volumen constante de 15 litros se tiene un caudal de 0,05 l/s.

#### **Sistema de recolección**

El agua que se riega por el panel será recolectada al final a través de la colocación de una canaleta, fabricada a partir de un tubo PVC de diámetro de 1 ½", con una apertura en toda la longitud en un ángulo de 90°.

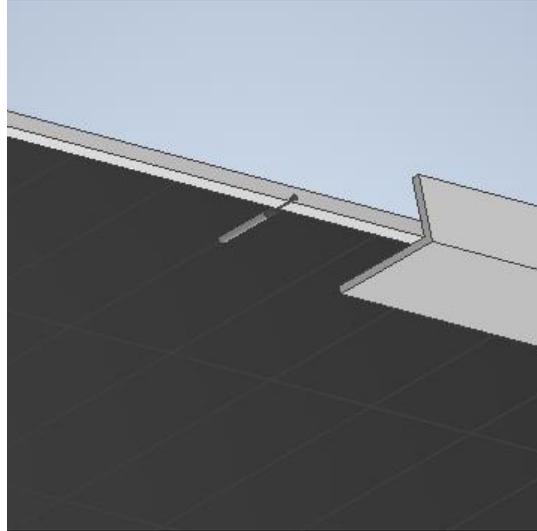
#### **Sistema de medición**

El agua a la entrada por la manguera y a la salida por la canaleta es medida a través de sensores de temperatura Ds18b20. Se coloca un sensor en cada lugar indicado en la Fig.2.1.



**Fig.2.1.** Panel fotovoltaico y los lugares en que fueron colocados los sensores de temperatura del agua (resaltados con color amarillo).

Por otro lado, se colocará un sensor en contacto con el panel en la parte inferior para que se visualice el comportamiento de la temperatura en el panel como se indica en la Fig.2.2.



**Fig. 2.2.** Sensor de temperatura en la parte inferior del panel fotovoltaico.

El sensor se sostiene con una cinta aislante térmica para evitar influencia térmica externa.

Las temperaturas se recolectan a través de un sistema Raspberry PI con el protocolo de 1 Wire. Estos datos servirán para determinar este delta de temperatura bajo las condiciones definidas.

Estos datos serán recolectados cada 3 segundos.

El detalle de programación se detalla en el Anexo 1.

### **Definición de variables**

Las variables por analizar son: la temperatura de entrada, salida de agua y de la superficie del panel, entre sí para determinar el delta que alcanza el panel y el agua de salida.

Esto a su vez tomando mediciones a diferentes horas del día, en total se tomarán datos por 3 días durante 3 horarios diferentes, que serán las 9h30, 11h00 y 12,30. El rango de horas fue seleccionado debido a la locación del sistema el cual tiene una alta exposición solar en el horario de 9h00 a 14h00, posterior a esto recibe sombra.

Todas las condiciones detalladas se mantendrán constantes durante todo el experimento.

Una vez determinadas las temperaturas de entrada, salida y de superficie del panel en cada horario, con valores de temperatura inicial se presentarán gráficas que permitan visualizar el comportamiento del delta de temperatura entre el panel fotovoltaico y el agua de salida.

## 2.2 Fase Analítica

En esta sección realizará una estimación de un sistema híbrido a mayor escala. Para esto se procederá de la siguiente manera:

### **Detalle de caso de estudio a considerar para la extrapolación de los resultados experimentales.**

El caso real corresponde a un área mayor al que se experimenta, seleccionando así un invernadero que se encuentra en las instalaciones de la Escuela Politécnica Nacional, junto al estadio de la universidad.



**Fig. 2.3.** Vista aérea del área donde se encuentra el invernadero sobre el que se realizará el diseño (encerrado de color rojo).

### **Cálculo de área, volumen de captación y diseño estructural.**

Se miden las dimensiones de altura, ancho y profundidad. Con esto se puede determinar el posible espacio a ocupar por los paneles fotovoltaicos. De igual forma, una vez medido el ángulo de incidencia del sol, se determina la dirección en la que se orientarán los paneles y la configuración en la que se los colocará uno con respecto al otro. Para esto es necesario conocer si la cubierta que el invernadero posee es adecuada para el sistema, esto gracias a la inclinación que presente,  $\theta_{cubierta}$ , esto será gracias a las alturas que disponga la cubierta que por medio de la Ecuación 2.

$$\theta_{cubierta} = \tan^{-1} \frac{(A_{viga\ central} - A_{viga\ lateral})}{D_{entre\ vigas}} (A_{viga\ central} - A_{viga\ lateral})$$

**Ecuación 2.** Angulo de inclinación de cubierta del invernadero.

Siendo valores de alturas representados por A y valores de distancia horizontal por D; como  $A_{viga\ central}$ , corresponde a la altura de la viga vertical central de altura única,  $A_{viga\ lateral}$ , la altura de las vigas laterales dando la inclinación adecuada y  $D_{entre\ vigas}$ , la distancia entre la viga lateral y central en la que se realizará el diseño.

Estas estimaciones se realizarán mediante el acercamiento al lugar físico y por otra parte por medio de la herramienta de BING MAPS, (*Bing Maps: Indicaciones, Planificación de Viajes, Cámaras de Tráfico y Mucho Más*, n.d.), del área donde se ubicará el invernadero como se muestra en la Fig.2.3. Esta herramienta tiene la opción de medir una distancia o área, mediante el uso de polígonos definidos por toma de puntos espaciales encima de una imagen satelital. El área del techo del invernadero es estimada usando esta herramienta.

Luego de establecer el tipo de arreglo de paneles en que se dispondrá el sistema total y las condiciones que restringen el mismo, se procederá a presentar un diseño mecánico estructural a través de la herramienta de Inventor. Este render mostrará alturas y longitudes estimadas en función del panel utilizado en el experimento. Con este diseño, se realiza el diseño estructural del sistema de captación de agua lluvia considerando el soporte, impermeabilización y transporte de agua al momento de captarse y luego al aplicarla en el sistema de riego.

Para el cálculo del volumen total de captación de lluvia,  $V_{captado}$ , se utiliza la Ecuación 3., considerando el área del sistema, valor de milímetros de lluvia dependiente de la precipitación en el lugar geográfico y la eficiencia de captación, considerando las condiciones que afectarán a este último.

$$V_{captado} = A_{cubierta} \times Precipitaciones \times \epsilon_{captación}$$

**Ecuación 3.** Volumen total de captación de agua.

Siendo  $A_{cubierta}$ , el área del total de la cubierta de paneles fotovoltaicos, el  $\epsilon_{captación}$  una eficiencia de captación dependiente del área en la que el agua caerá, teniendo en techos valores entre el 75% y 95%, dependiendo de las condiciones como limpieza, mantenimiento, coeficiente de fricción. (Fao, 2013)

El volumen total captado nos ayudará con la selección de tanque adecuado para el sistema, considerando precipitaciones mayores en meses de invierno donde se captará mayor cantidad de agua y permitir el riego en meses de verano.

### **Cálculo del calentamiento de agua, en temperatura.**

Una vez teniendo un diseño y valores reales, se aplicará los resultados obtenidos en el experimento para indicar el delta total entre el total de paneles y el volumen total de agua que se puede obtener y la manera adecuada de realizar el riego con el delta obtenido.

El delta de calentamiento del agua incrementará en proporción a la cantidad de paneles que recorra el agua, como se indicó en la Fig. 2.3. el agua atravesará la longitud más larga del panel, es decir 1.58 m, teniendo un delta total,  $\Delta T_{total}$ , dado por la Ecuación 4.

$$\Delta T_{total} = n \times \Delta T_{experimental}$$

#### **Ecuación 4.** Delta de calentamiento total de agua.

Siendo  $n$  el número total de paneles que atraviesa el agua desde la manguera hasta la canaleta de recolección de agua.

Este delta se realizará con la consideración del calentamiento dado en 5 minutos como se realizó en el experimento junto con el volumen a depositar en los  $n$  paneles, a través de las  $m$  líneas de paneles colocados, habiendo definido  $n$  y siendo  $m$  la cantidad de columnas de paneles del sistema, considerando que los 15 litros se utilizan en un panel, teniendo un volumen de agua requerido,  $V_{requerido}$ , dado en la Ecuación 5.

$$V_{requerido} = 15 \times n \times m [l]$$

#### **Ecuación 5.** Volumen total de agua requerido para el calentamiento del delta planteado

Para luego determinar si el volumen de captación abastece al sistema y analizar la cantidad de veces que se puede repetir el proceso de riego con el calentamiento de agua.

### 3 RESULTADOS, DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El experimento realizado reflejó valores de temperaturas inicial, final y superficial del panel, siendo las dos últimas con las cuales se realiza el análisis del delta de temperatura, existente en el periodo analizado.

#### 3.1 Resultados

##### Resultados de la parte experimental.

El sistema fue instalado como se indicó en la sección 2.1, visualizado en la Fig. 3.1. Siendo el ángulo de inclinación de  $10^\circ$  debido a la consideración de latitud del país de  $0^\circ$ , y basándose en estudios en países vecinos como Colombia, garantizando el aprovechamiento de energía solar de la zona ecuatorial en verano y evitando de igual manera el estancamiento de agua con ángulos menores. (Paternina et al., 2012)

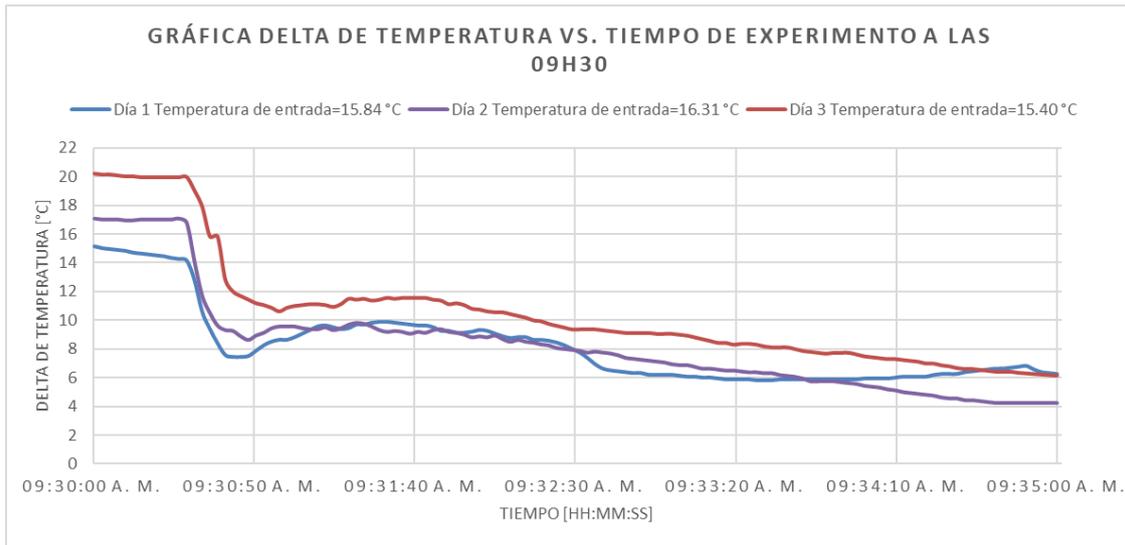


**Figura 3.1.** Sistema de experimentación de calentamiento de agua explicado en la metodología, en funcionamiento.

Las tomas se tomaron correctamente los 3 días, el primer día correspondió a un día soleado totalmente, el segundo día existió altos índices de nubosidad y el tercer día parcialmente nublado.

Por medio de graficas se presenta la interacción del agua a través del panel. Esto se realiza durante los tres horarios seleccionados para visualizar el comportamiento en cada uno de ellos.

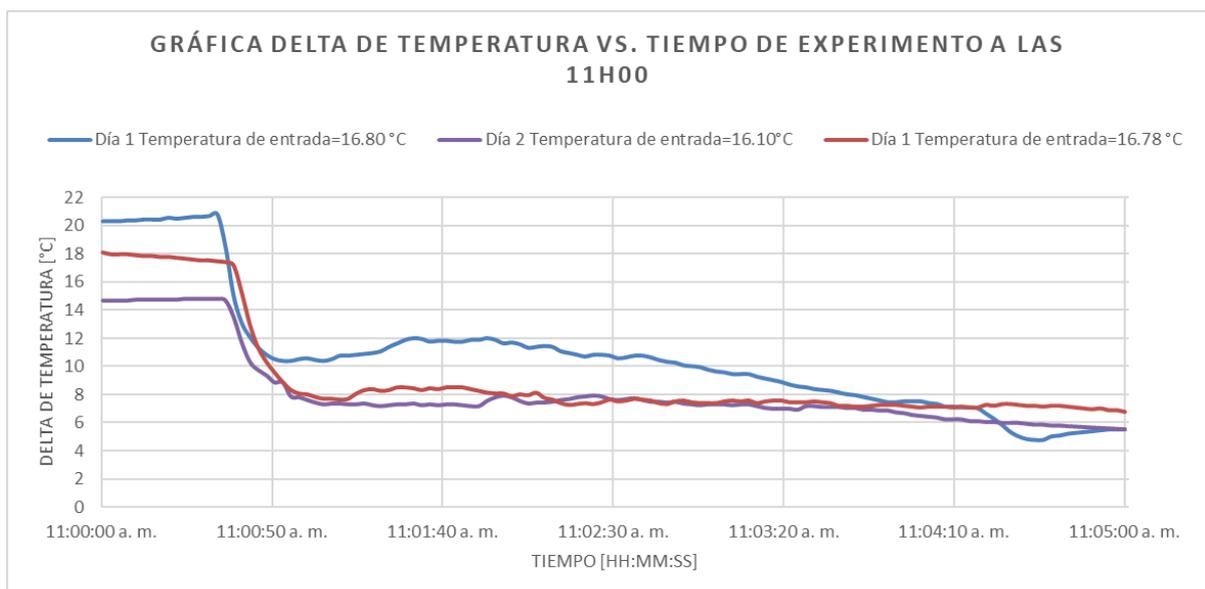
En la Fig. 3.2. se realiza la comparación de los tres días en el horario de las 09h30, con sus respectivos valores de temperatura de entrada.



**Figura 3.2.** Grafica de delta de temperatura entre panel y agua de salida vs. tiempo del experimento realizado a las 09h30, durante los 3 días.

Notando en la Fig.3.2 que el agua inicia con un delta máximo de 20 °C, con un salto brusco a los 50 segundos y teniendo al cabo de cinco minutos un valor mínimo de 4 °C, denotando que la temperatura del panel disminuye significativamente. Y se mantiene el delta casi constante en los últimos 3 minutos.

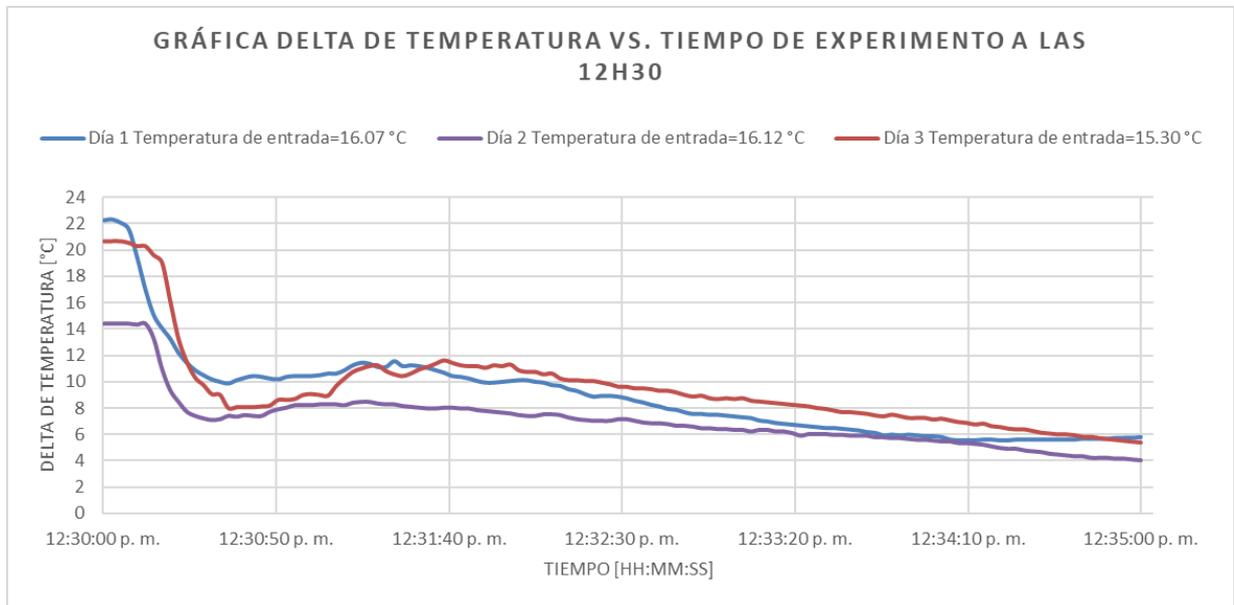
Por otro lado, también se analiza a las 11h00 en la Fig.3.3. con temperaturas de entrada superiores a las 9h30.



**Figura 3.3.** Grafica de delta de temperatura entre panel y agua de salida vs. tiempo del experimento realizado a las 11h00, durante los 3 días.

De igual forma, en la Fig. 3.3. el delta máximo se encuentra en 20°C con un salto brusco a los 50 segundos y con un delta final que se mantiene casi constante en 6°C durante los últimos minutos.

Por último, se analiza el tercer horario, en el que las temperaturas de entrada varían manteniendo rangos de 15-16°C, en la Fig. 3.4



**Figura 3.4.** Grafica de delta de temperatura entre panel y agua de salida vs. tiempo del experimento realizado a las 12h30, durante los 3 días.

Contraria a las demás graficas este denota un delta máximo de 22°C y un valor de 14°C considerando la nubosidad del día, con salto brusco a los 40 segundos y manteniendo un delta constante en valores mínimos de 6 °C.

Con los valores dados en cada horario presentados, se obtiene un promedio de delta final de 5,33 °C, con el cual se trabajará en el siguiente apartado.

## Resultados de la parte analítica

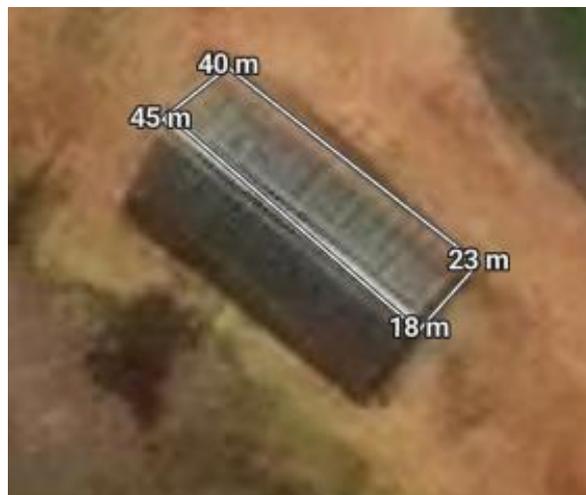
El invernadero y las características de su estructura se presenta en la Fig. 3.5.



**Fig. 3.5.** Vista frontal del invernadero en el que se aplicará el sistema y se colocará el diseño.

El sistema se colocará en el lado izquierdo de la cubierta que se visualiza en la Figura 3.5, ya que la incidencia del sol es mayor en esa área teniendo el aprovechamiento del sol de mañana a tarde, en la temporada de verano (observar la Figura 2.4). Por otro lado, se tomo valores referenciales de altura teniendo en las vigas laterales altura de 3 metros y un total de 3.8 metros en la viga central y una separación de vigas de 4 metros, obteniendo una inclinación de cubierta de  $10.08^\circ$  a través de la ecuación 2. Esta inclinación es adecuada para colocar los paneles, ya que su inclinación es similar a la usada en el experimento.

Por otro lado, el área total se estimo con el programa de Bing Maps, en la Fig.3.6.



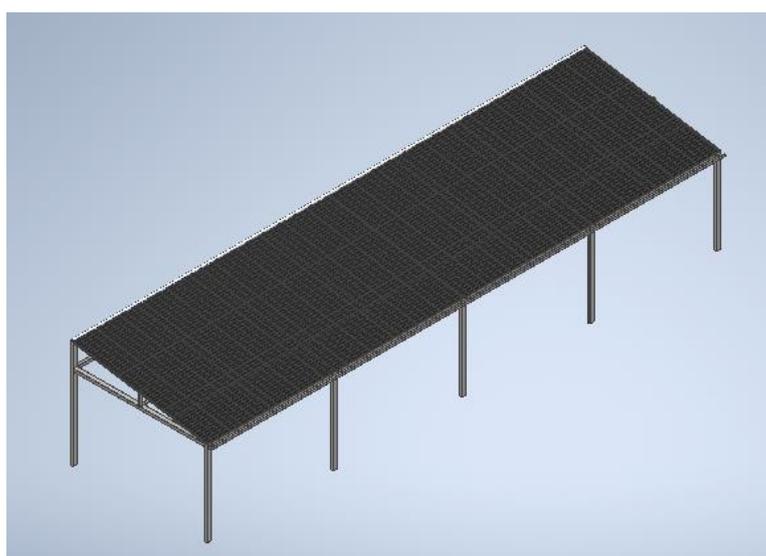
**Fig. 3.6.** Vista aérea del área del invernadero con ayuda de BING MAPS.

Como se visualiza el lugar corresponde a la mitad donde se colocará la estructura de paneles, para dejar la otra mitad libre para el ingreso de la luz solar requerida para la

fotosíntesis de las plantas. La herramienta de Bing Maps indica que el área es de 18x5 m, con un total de 90 m<sup>2</sup> en la cual se dispondrán paneles de área de 1,58x0,8 m, de área de 1,26 m<sup>2</sup> por panel. En definitiva, se tiene espacio para 66 paneles, considerando que estos se saldrán un poco del área actual del panel.

Con esta estimación de paneles y áreas se determina que se colocará 3 filas de paneles junto con las 22 columnas que se disponen en 17,8 metros y 4,74 metros con inclinación de 10°, alcanzando un total de 66 paneles y un área total de 84.37 m<sup>2</sup>.

Ahora con el dimensionamiento dado se realizó el diseño del sistema completo con la herramienta de Inventor, el cual se presenta en la Fig. 3.7.



**Fig. 3.7.** Diseño de paneles fotovoltaicos montados completamente, por 66 paneles a ubicarse en el invernadero.

Los planos de la estructura completa se presentan en los Anexos 2.

Este diseño despondrá de uniones con silicona industrial para evitar filtraciones entre paneles y al final, de igual forma el soporte será con perfil angular en la parte final que limite con el marco de los paneles, para permitir la máxima captación de agua, se colocaran un total de 5 vigas en la estructura y rejilla bajo los paneles que los soporten. La canaleta final se realizará con latón con dimensiones de 8x16cm y teniendo una inclinación de 0.5° para que el agua recorra hasta el lado derecho de la estructura presentada, en el final de la canaleta se colocará un sistema de selección de sección a la que se dirija el agua, cerrando el lado derecho de un mecanismo para que el agua se dirija al reservorio de captación ubicado en la parte baja del invernadero, y por otro lado cerrando el lado izquierdo del mecanismo para que el agua se dirija el sistema de riego, luego de pasar por

el proceso de calentamiento en el que se realizó la experimentación. Por último, el sistema de riego se realizará con manguera de ½" con caudal constante de 0,05 l/s, como se realizó en el experimento, el agua será transportada del reservorio al sistema de calentamiento por medio de una bomba sumergible.

En cuanto a los datos de captación de agua, con la ecuación 3, con los actuales datos proporcionados de área, y valores obtenidos del INAMHI, (Red de Estaciones Automáticas | INAMHI, s.f.), de los datos históricos meteorológicos, en la estación "La Tola", en cuanto a milímetros de precipitación mensual en el mes de junio de 29 mm y la eficiencia de captación en paneles de 90%, debido a rugosidad de paneles que es casi nula dado que se trata de vidrio, limpieza requerida al ser paneles fotovoltaicas que necesitan que no existan sólidos que cubran la captación de radiación y a la colocación de silicona entre paneles fotovoltaicos y soportes de inclinación para mejorar la fluidez del agua, siendo quizá la razón de la disminución del 10% por posibles fugas o fisuras, por lo que se obtiene:

$$V_{captado} = 84.37 \text{ m}^2 \times 0,025 \text{ m} \times 0.9 = 2.2 \text{ m}^3$$

Esto significa que se puede captar un aproximado de 2 202 litros de agua lluvia durante el mes de junio. Si tomamos como referencia un valor mayor de precipitaciones, durante el mes de marzo (120.9 mm), la captación será de 9 180 litros. Considerando toda la precipitación anual, se puede estimar que se puede captar un total de 65 621 litros de agua lluvia al año.

Ahora se obtendrá el volumen de agua requerido en el sistema con los 66 paneles, para el caudal dado y realizar un calentamiento en 5 minutos, con ayuda de la ecuación 4 se obtiene que se requiere un total de 990 litros para realizar el calentamiento del agua. Siendo posible realizar este proceso 2 veces al día en el mes de junio considerando solo las precipitaciones medias de ese mes, aumentando la cantidad de riegos de ser necesario con el agua que se capta y recolecta de los meses con altos índices de precipitaciones.

El reservorio tendrá un máximo de captación de 30 000 litros, como medio anual, utilizando la otra mitad en el sistema de riego con o sin calentamiento.

Por último, se realiza el cálculo del total del delta de calentamiento existente, gracias a la ecuación 5, dado que se dispone de 3 filas de paneles se tiene que el delta se puede dar de 16 °C aproximadamente.

## 3.2 Discusión de resultados

Lo primero que se debe indicar con respecto a los resultados obtenidos es que el sistema logra alcanzar la temperatura de los estudios analizados por Mir y Martín, ya que el agua lluvia captada se asume a temperatura inicial de red de 15-16 °C en la ciudad de Quito, como se aprecia en las Fig. 3.2, 3.3. y 3.4 siendo esta la temperatura de entrada del agua de red captada para el experimento, alcanzando temperaturas de 31-32°C, considerando el delta de calentamiento que se obtiene en el diseño de 16°C, dada la disposición de paneles, sin considerar pérdidas de calor por transporte del agua.

Estos resultados tienen una implicación importante y es que podrían permitir la disminución de la huella de carbono e hídrica, ya que no se requiere de la toma de agua de red bombeada por sistemas a gasolina siendo la única bomba usada activada por la propia energía eléctrica que generan los paneles fotovoltaicos, y a su vez el disponer de agua de lluvia que puede ser aprovechada de forma controlada para riego en lugar de su uso directo sobre los cultivos.

Considerando que no todos los sistemas agrícolas y climas son iguales, este sistema no puede ser usado para todos los casos. Para determinar si es que este sistema es adecuado para un caso en específico se deberá analizar la cantidad de agua, y temperatura, que requiere cada cultivo y las condiciones climatológicas del lugar.

Por otro lado, este sistema estudiado sugiere que los sistemas fotovoltaicos podrían ser adecuados para convertirse en la superficie óptima de captación de agua lluvia debido a que: i) estos paneles ya requieren de una inclinación, lo que permite mejorar la captación de radiación solar y evitar el estancamiento de agua propio de las lluvias, ii) la cubierta de las celdas es vidrio, lo que significa que no existe fricción o imperfecciones en la superficie de captación de la precipitación (evitando que el agua se estanque en porosidades o imperfecciones), iii) son sistemas escalables, es decir que se puede dar la continuidad que se requiera para la captación mediante el aumento de número de filas y columnas de paneles con la finalidad de aprovechar la mayor área posible.

Por otro lado, los sistemas de captación de agua lluvia tienen necesidades aparte a las de un sistema solar, es necesario mejorar los procesos de mantenimiento, debido a que se pueden acumular sólidos o el agua puede estancarse en puntos muertos, (*Operación y Mantenimiento a Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL) | Instituto Mexicano de Tecnología Del Agua | Gobierno | Gob.Mx, n.d.*) lo que disminuiría la captación solar. Sin embargo, aún cuando esto sea posible la hibridación de estos sistemas puede generar una solución a problemas que disminuyen sus eficiencias independientemente.

Este trabajo solo estudió el aumento de temperatura en el agua de enfriamiento para usarlo como riego. Sin embargo, esta experiencia constituye una base para estudiar el aumento de eficiencia, en cuanto a energía eléctrica, que se puede tener en paneles fotovoltaicos una vez que se controle las altas temperaturas superficiales a las que se encuentran actualmente trabajando. Ese estudio puede manejarse independientemente a la aplicación en cuanto a riego con agua caliente.

### **3.3 Conclusiones**

El diseño estructural presentado cumple con necesidades de captación, transporte y manejo adecuado del agua lluvia para el respectivo calentamiento de agua lluvia para aplicaciones de riego, dado factores de inclinación, área del espacio y ubicación con referencia a la radiación existente en el lugar.

El diseño presentado es algo novedoso porque incluye una serie de sistemas que juntos proveen soluciones que se han estudiado aparte, pero nunca de manera conjunta. Existen proyectos similares que buscan satisfacer necesidades de enfriamiento de paneles fotovoltaicos, o para calentamiento de agua de riego. Sin embargo, no se realiza una aplicación agrícola con este calor, como a su vez la captación de agua no se realiza directamente sobre los paneles.

Como punto relevante a definir es que el sistema es aplicable siempre y cuando se mantengan condiciones de diseño dadas, ya que la variación de inclinación de paneles, de condiciones climáticas y meteorológicas, como el aumento o disminución de área de captación pueden representar pérdidas considerables en las temperaturas y volúmenes obtenidos siendo requerido analizar nuevamente los valores a obtenerse ante las nuevas condiciones.

Se obtuvieron resultados positivos para validar la posible aplicación del diseño del sistema de captación híbrido porque cumple con requerimientos necesarios para satisfacer con el riego diario controlado de agua caliente en la temporada de verano y convierte al sistema en independiente, debido a que el volumen de lluvia almacenado y transportado permite tener disponibilidad de agua necesaria para realizar el calentamiento y por ende permitir el riego con un mínimo de dos veces al día en todo el año como se determina en los resultados siendo junio un mes con bajas precipitaciones y satisfaciendo así con el volumen de calentamiento de todo el sistema.

Las condiciones descritas para el espacio de aplicación, siendo el invernadero ubicado en las instalaciones de la Escuela Politécnica Nacional en la ciudad de Quito, permitió recabar

información de condiciones climáticas y meteorológicas para la aplicación adecuada del sistema para fines agrícolas, siendo posible determinar que en el mes de junio las precipitaciones son bajas, sin embargo con el almacenamiento de meses con altas precipitaciones como marzo y abril, es posible que el sistema de calentamiento funcione adecuadamente en el verano.

### **3.4 Recomendaciones**

Al momento de definir la inclinación adecuada para el sistema de paneles fotovoltaicos es importante revisar valores de latitud en el proyecto a aplicarse, ya que la inclinación óptima para mejor captación de energía solar está por encima de 10° de la latitud del lugar, así como a su vez la estación en la que se aplicará el sistema de calentamiento, para evitar un mal manejo de recursos energéticos.

La cantidad de agua de riego depende de cada cultivo y el clima de la zona. En función a esto, el área de captación de agua lluvia para un sistema como el propuesto debe ser definido por cultivo y ubicación

Los valores analizados en este trabajo cumplen con condiciones de calentamiento para uso agrícola únicamente porque un incremento de 16°C no es suficiente para lograr la temperatura usual de los sistemas de calentamiento de agua solar (alrededor de 60°), considerando la temperatura de red para sistemas domésticos.

Los planos que se presenta permiten replicar de manera sencilla, no solo el diseño completo, sino que a su vez el diseño de experimentación para dar la apertura a futuros trabajos para mejorar las condiciones de diseño y por ende evaluar otros resultados.

## 4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahorro de agua con agrivoltaica | Enel Green Power.* (n.d.). Retrieved July 21, 2023, from <https://www.enelgreenpower.com/es/medios/news/2023/07/agrivoltaica-ahorro-agua>
- Alvarado, J., De Guevara, L., Javier, F., & Alejo, S. (n.d.). *DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA AISLADA.*
- Bing Maps: indicaciones, planificación de viajes, cámaras de tráfico y mucho más.* (n.d.). Retrieved August 13, 2023, from <https://www.bing.com/maps/?cp=-0.212389%7E-78.490039&lvl=19.9&style=a>
- Cabezas-Maslanczuk, M. D., Franco-Brazes, J. I., & Fasoli-Tolosa, H. J. (2018). Diseño y evaluación de un panel solar fotovoltaico y térmico para poblaciones dispersas en regiones de gran amplitud térmica. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 19(2), 209–221. <https://doi.org/10.22201/FI.25940732E.2018.19N2.018>
- Cambio Energetico. (2021, June 30). *Paneles solares más eficientes que deberías tener en cuenta.* <https://www.cambioenergetico.com/blog/paneles-solares-eficientes/>
- Campana, P. E., Papic, I., Jakobsson, S., & Yan, J. (2022). Photovoltaic water pumping systems for irrigation: principles and advances. *Solar Energy Advancements in Agriculture and Food Production Systems*, 113–157. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89866-9.00007-9>
- Fao. (2013). *CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe.* [www.rlc.fao.org](http://www.rlc.fao.org)
- Gonzalez Peña, D. (2019). *Optimización del diseño de panel solar híbrido para edificación.* Universidad de Burgos.
- Hanco Apaza, O. E., Luque Alvarez, R., Montoya Portugal, A., Palo Tejada, E., & Vizcardo Cornejo, M. (n.d.). *DISEÑO, CONSTRUCCION Y EVALUACION DE UN SISTEMA SOLAR HIBRIDO FOTOVOLTAICO/ TÉRMICO PARA AUMENTAR LA EFICIENCIA DE UN PANEL SOLAR.*
- Marrou, H., Guilioni, L., Dufour, L., Dupraz, C., & Wery, J. (2013). Microclimate under agrivoltaic systems: Is crop growth rate affected in the partial shade of solar panels? *Agricultural and Forest Meteorology*, 177, 117–132. <https://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2013.04.012>
- ONU programa para el medio ambiente. (2020, July 20). *10 cosas que debes saber sobre la agricultura industrial.* <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/10-cosas-que-debes-saber-sobre-la-agricultura-industrial>
- Operación y mantenimiento a sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) | Instituto Mexicano de Tecnología del Agua | Gobierno | gob.mx.* (n.d.). Retrieved August 19, 2023, from <https://www.gob.mx/imta/documentos/operacion-y-mantenimiento-a-sistemas-de-captacion-de-agua-de-lluvia-scall>

- Orientación e inclinación óptima de los paneles solares.* (n.d.). Retrieved August 13, 2023, from <https://enercitysa.com/blog/orientacion-e-inclinacion-optima-paneles-solares/>
- Paneles solares + Agricultura: un futuro de oportunidades.* (n.d.). Retrieved August 13, 2023, from <https://ecoinventos.com/paneles-solares-agricultura/amp/>
- Ecoinventos. (2022, August 1). *Paneles solares híbridos, la tecnología para generar electricidad y agua caliente con una única instalación.* <https://ecoinventos.com/panel-solar-hibrido/>
- Paternina, M. A., Villalba, L. C. O., Nuñez, J. L. I., & López, R. A. Á. (2012). Diseño de prototipo de sistema solar fotovoltaico optimizando el ángulo de inclinación de los paneles solares. *PROSPECTIVA*, *10*(1), 97–107. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=496250733011>
- Quinzo Lucas, L. F. (2019). *Proyecto para el diseño de un sistema híbrido eólico-fotovoltaico para el complejo deportivo “Cancha Sho” en la Ciudadela Bellavista de la ciudad de Guayaquil.* UNIVERSIDAD CÁTOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL.
- Red de Estaciones Automáticas | INAMHI.* (n.d.). Retrieved August 13, 2023, from <http://186.42.174.236/InamhiEmas/>
- Renewable Energy Agency, I. (2022). *RENEWABLE ENERGY STATISTICS 2022 STATISTIQUES D'ÉNERGIE RENOUVELABLE 2022 ESTADÍSTICAS DE ENERGÍA RENOVABLE 2022 About IRENA.* [www.irena.org](http://www.irena.org)
- Schindele, S., Trommsdorff, M., Schlaak, A., Obergfell, T., Bopp, G., Reise, C., Braun, C., Weselek, A., Bauerle, A., Högy, P., Goetzberger, A., & Weber, E. (2020). Implementation of agrophotovoltaics: Techno-economic analysis of the price-performance ratio and its policy implications. *Applied Energy*, *265*, 114737. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2020.114737>
- Un uso inclusivo de la agrivoltaica | Enel Green Power | Enel Green Power.* (n.d.-a). Retrieved August 16, 2023, from <https://www.enelgreenpower.com/es/medios/news/2022/12/uso-inclusivo-suelo-agrivoltaica>
- Un uso inclusivo de la agrivoltaica | Enel Green Power | Enel Green Power.* (n.d.-b). Retrieved July 21, 2023, from <https://www.enelgreenpower.com/es/medios/news/2022/12/uso-inclusivo-suelo-agrivoltaica>
- Villar Mir, J. M., & Carrasco Martín, I. (2002). Aptitud del agua caliente para su uso en agricultura de riego. *Ingeniería Del Agua*, *9*(2), 163–169. <https://doi.org/10.4995/IA.2002.2613>
- Vista de Uso de las Energías Renovables En La Agroindustria en Ecuador. | Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar.* (n.d.). Retrieved August 13, 2023, from <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/3744/5647>

## **5 ANEXOS**

ANEXO I. Código de programación utilizado en Raspberry Pi, para la toma de medidas de temperaturas a través de protocolo 1 Wire.

ANEXO II. Planos estructurales del diseño propuesto.

## ANEXO I

```
import os
import glob
import time
from datetime import datetime
import logging

os.system('modprobe w1-gpio')
os.system('modprobe w1-therm')

devices=["28-01203c22e49e","28-01203c52e717","28-5bb3151e64ff"]
device_files = [f'/sys/bus/w1/devices/{device}/w1_slave' for device in devices ]

def read_temp(device):
    try:
        with open(device,'r') as f :
            lines = f.readlines()
            if lines[0].strip()[-3:] != 'YES':
                raise Exception("Not data")
            equals_pos = lines[1].find('t=')
            if equals_pos != -1:
                temp_string = lines[1][equals_pos+2:]
                temp_c = float(temp_string) / 1000.0
                return str(temp_c)
    except Exception as e:
        print(e)
        return ''

if __name__=='__main__':
    print("start")
    while True:
        try:
            read_time=datetime.now().strftime("%Y-%m-%d %H:%M:%S")
            temps=[]
            for device in device_files:
                temps.append(read_temp(device))
            with open("/home/pi/Desktop/temps.csv",'a') as file:
                file.write(f'{read_time},{",".join(temps)}\n')
            print(read_time,temps)
        except Exception as e:
            print(e)
            pass
```

## ANEXO II

