

Evaluación de sistemas de control de variables físicas energizados con un sistema fotovoltaico aislado para invernaderos en Tucumán

Assessment of physical variable control systems powered by an isolated photovoltaic system for greenhouses in Tucumán

Presentación: 23/10/2025

José René Rivadeneira

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Tucumán, Centro de Ingeniería Ambiental (CEDIA), Argentina.
jrenerivadeneira@yahoo.com.ar

Resumen

El presente trabajo se propone evaluar factibilidad técnica de incorporar sistemas pasivos y activos automatizados para el control de variables ambientales en el interior un invernadero, para la estación de mayor radiación y amplitud térmica, localizado en la ciudad de San Miguel de Tucumán. La relevancia de la propuesta es que el mismo se encontrará alimentado con energía generada a partir de un sistema fotovoltaico aislado. En ese sentido, se delimitarán parámetros constructivos, efectuando el cálculo de la demanda energética y autogeneración, como así también, su representación gráfica en un diagrama de flujo (flujograma) que permitirá visibilizar el control de las variables físicas en un invernáculo propuesto. Las proyecciones planteadas se orientan a mostrar a través de un estudio de caso cómo la gestión eficiente que permita alcanzar la autonomía energética en un supuesto de recursos renovables.

Palabras Claves: Sistema Fotovoltaico Aislado, Eficiencia Energética.

Abstract

This paper aims to evaluate the technical feasibility of incorporating automated passive and active systems to control environmental variables inside a greenhouse for the season with the highest radiation and thermal amplitude, located in the city of San Miguel de Tucumán. The relevance of the proposal is that it will be powered by energy generated from an isolated system. Therefore, construction parameters will be defined calculating energy demand and self-generation, as well as their graphic representation in a flowchart that will visualize the control of physical variables in a proposed greenhouse. The proposed projections are intended to demonstrate, through a case study, how efficient management can achieve energy autonomy in a scenario where renewable resources are used.

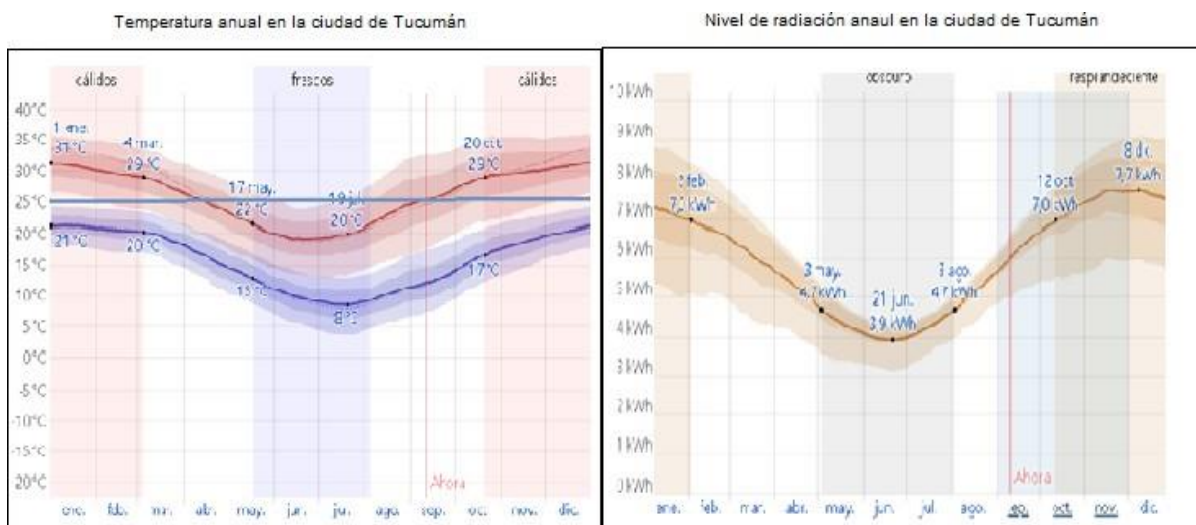
Keywords: Isolated Photovoltaic System, Energy Efficiency

INTRODUCCIÓN

Se propone en el presente trabajo, establecer el criterio constructivo de un sistema de control (activo y pasivo) de variables ambientales para un invernadero ubicado en la ciudad de San Miguel de Tucumán, alimentado a través de un sistema de generación fotovoltaica aislada. El mismo considerará la hipótesis del desarrollo del cultivo de pimiento y se encontrará orientado a mantener, en umbrales óptimos la radiación y la temperatura, evitando con ello el estrés hídrico y térmico de la plantación.

En ese sentido, es que, el objetivo general es determinar la factibilidad técnica de la implementación de un sistema de generación de energía eléctrica fotovoltaica, como única fuente de energía para alimentar el mecanismo, que permita controlar las variables físicas de un invernáculo tipo techo de arco rebajado localizado en San Miguel de Tucumán, el que estará destinado al cultivo de pimientos. Se considera el hecho, de que, el lugar de emplazamiento se clasifica en la zona bioclimática IIb con clima cálido (Norma IRAM 11.603-2.012) y, éste evidencia altos niveles de radiación y temperatura. En los siguientes diagramas -gráfico 1- permiten visibilizar los niveles de temperatura y radiación para la ciudad en análisis.

Niveles medios de temperatura y radiación anual para la ciudad de San Miguel de Tucumán



En relación con los antecedentes, se destaca el trabajo de Salazar Aguilar (2.020), quien a través de la implementación de la plataforma de código abierto Arduino, ha diseñado un sistema de monitoreo de variables ambientales como temperatura, humedad del suelo, humedad relativa, luminosidad con lo que ha establecido las condiciones para su control. Sin embargo, dicho estudio presenta la limitación de centrarse en el monitoreo sin intervenir en el control, es decir, sin proponer estrategias de acondicionamiento.

Por otra parte, Martínez Castellano et al. (2.014) ha propuesto una metodología para la selección de los componentes del sistema fotovoltaico de un invernadero, especificando sus posibles componentes. No obstante, presenta la limitación de que se ha limitado a la dimensión del diseño del sistema de energía, sin abordar mecanismos de control de variables ambientales alimentados con ésta.

En ese sentido, el presente trabajo avanza sobre estas investigaciones previas, al proponer un enfoque integral, que no sólo contempla el control automatizado de variables ambientales a través de estrategias activas y pasivas, sino que también prevé el diseño del sistema de generación de energía a través de un sistema fotovoltaico aislado. Resulta relevante, por lo tanto, establecer una estrategia de gestión eficiente del recurso, en miras de transformarlo en energía suficiente para alimentar a los dispositivos que integran el sistema de control automático de variables.

Se plantea la implementación de un sistema fotovoltaico aislado, el que transformará la radiación solar en energía útil, tendiendo a favorecer las condiciones ambientales y, con ello, incidir en mejorar la calidad del cultivo. Se establece como un objetivo particular, establecer criterios técnicos de la automatización del control. Éstos, se encontraran integrados por un sistema pasivo, conformado por ventilación y sombreado, el que se complementará con un activo, compuesto de ventilación forzada y sistema de enfriamiento FOG. Por ello, el análisis *in situs* consistirá en, calcular la capacidad de los dispositivos de generación de energía eléctrica necesaria para alimentar a estos componentes del sistema automático de control, que alcance la autonomía energética, sin requerimiento de otra fuente externa de energía.

METODOLOGÍA PROPUESTA

Se describirán a continuación el diseño constructivo del invernadero propuesto, incluidos el sistema automático de control, así como el dimensionamiento del sistema de generación de energía fotovoltaico aislado. En este sentido, se utilizan herramientas matemáticas pertinentes para dimensionarlo y, con ello, determinar la viabilidad técnica que hagan posible su implementación.

a. DISEÑO CONSTRUCTIVO

Con la finalidad antes mencionada, se sugieren como criterios constructivos del invernadero, el modelo estructural tipo techo de arco rebajado, cuyas dimensiones serían un ancho de 7 m, un largo de 22 m y una altura promedio de 3,5 m, integrado por una cubierta plástica en el techo de PEBD LD con efecto térmico y antigoteo, cuyo espesor es de 150 µm y de 200 µm para las paredes laterales. Respecto a las cuestiones

ambientales a controlar se consideraran, a modo ejemplificativo, los umbrales óptimos del cultivo de pimientos, la elección del cultivo se realiza considerando la versatilidad del mismo en la gastronomía regional y, al hecho de que, durante el invierno no se produce el mismo, disminuyendo su suministro y aumentando su precio al consumidor. Por lo tanto, la consideración propuesta mejoraría las condiciones ambientales en verano, permitiendo el desarrollo del cultivo para su producción fuera de temporada.

En ese sentido, el pimiento se denomina cultivo de frutos, el que ha adquirido un valor de mercado más elevado que otros, por sus exigencias más estrictas de temperatura y radiación. Más aún, presenta como característica que, su desarrollo óptimo, requiere que se produzca un diferencial de temperaturas entre el día y la noche. Así es que, el rango de temperatura óptima diurna es de entre 22°C y 28°C y, el rango para horas nocturna es de entre 16°C y 18°C (Santiago et al 1998). En el gráfico 1, se ha trazado una horizontal en los 25°C con la finalidad de expresar la temperatura media requerida en el día.

Asimismo, es necesario que el ambiente presente una humedad relativa de entre 65% y el 70%, para evitar el estrés hídrico. En lo que refiere a la radiación fotosintética activa (PAR), el pimiento exige contar con altos niveles de exposición a la radiación principalmente durante el principio del cultivo y su floración, siendo su rango óptimo medio de entre 6 a 10 MJ/m² diario. De lo que surge que, la radiación de la zona bioclimática de emplazamiento se encuentra entre los valores que resultan favorables, sin embargo, la temperatura media en verano, supera los umbrales máximos desde los meses de septiembre a marzo.

Por este motivo, es que resulta relevante efectuar el control de las variables físicas del invernadero propuesto, en miras de promover a que, la temperatura interior se sitúe en el rango óptimo. En ese sentido, se propone la integración de sistemas pasivos con sistemas activos. Respecto a los primeros, se realizará la consideración de los sistemas de sombreado y ventilación por ventanas laterales y cenitales, en relación al segundo, por ventilación forzada más el sistema de enfriamiento por nebulización o sistema FOG. Entendiendo que, estos tendrán un requerimiento energético, se prevé su alimentación con energía eléctrica, generada partir de un sistema fotovoltaico aislado.

Ahora bien, los sistemas pasivos de control de variables ambientales, son estrategias de diseño, en las que se consideran, la inclusión de elementos constructivos para regular la temperatura, promoviendo un funcionamiento más eficiente. Por un lado, se propone el sombreado, que implica la colocación de una malla de polipropileno al 30%, para disminuir la cantidad de energía radiante que ingresa al invernadero, atravesando la cubierta plástica y, con ello, se disminuye la temperatura interna (Lenschak et al, 2019). Por el otro lado, se prevé la ventilación del invernáculo, lo que además de incidir en la temperatura, lo hace respecto a la humedad relativa del ambiente. Para este análisis, las ventanas de tipo barlovento o de cara al viento (en paredes laterales) y, de tipo cenital (techo), para conformar un “sistema chimenea” que reduce hasta 5°C (Peña et al, 2.002).

En relación a los sistemas activos, estos requieren energía adicional para controlar las magnitudes de las variables (temperatura y humedad), con la finalidad de mantenerlas en rangos óptimos, para lo que se emplean mecanismos con accionamiento eléctrico. En consideración a la ventilación, ésta será de tipo forzada, por ello, se emplearán ventiladores/extractores para realizar la renovación del aire interior del invernadero por el aire exterior. Para este cultivo (plantas consideradas arbustos), los ventiladores deben ser ubicados a una altura de 70 cm del suelo, para evitar la incidencia sobre las plantas (Lenschak et al, 2019) y su instalación, deberá efectuarse con malla anti-insectos. La tasa de renovación del volumen de aire, deber ser, de entre 40 a 60 renovaciones por hora, y la velocidad de ingreso del aire no debe producir grandes variaciones en la presión estática del interior (Lenschak et al, 2019). La determinación del número de ventiladores/extractores (N), requerirá calcular la relación existente entre el caudal total de aire (Q) y la capacidad del caudal del ventilador considerando, esta relación se expresa a continuación:

$$N = \frac{Q}{q} \quad (1)$$

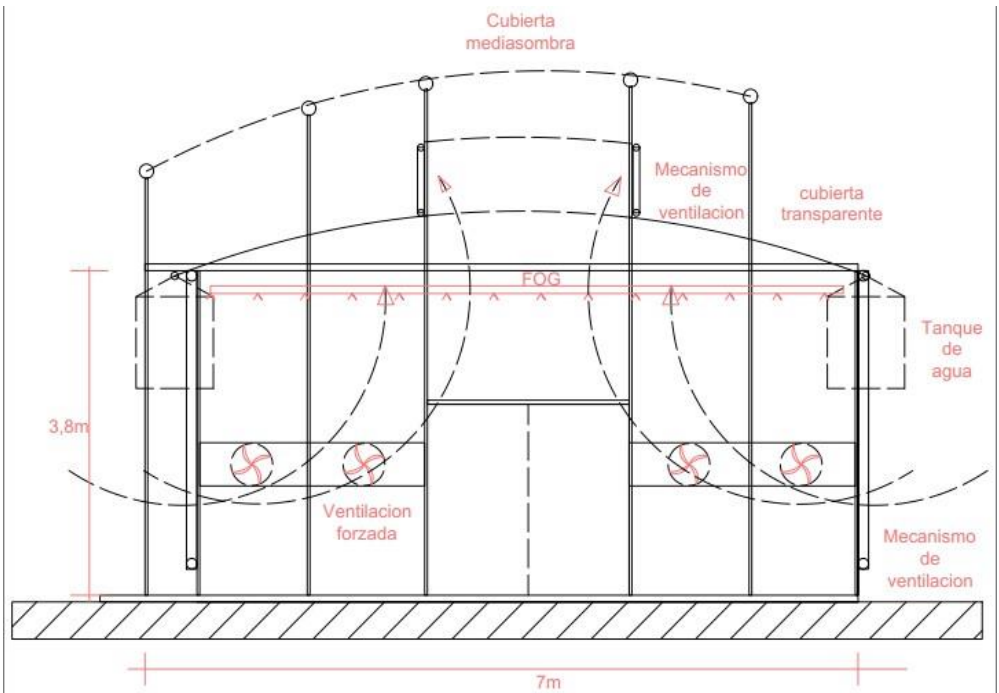
En relación a las características técnicas de relevancia de los forzadores de aire, se propone el modelo

A45T4A de DAVICA, con un motor trifásico, que debe energizarse con una red de 3x380Vca conectado en estrella o con una red de 3x220Vca conectado en triángulo, la frecuencia mínima es de 50 Hz, y la máxima de 60 Hz. Con respecto a la intensidad de corriente es de 0,80 A/1,39 A, la potencia absorbida es de 278/358 W, la potencia de salida es de 158/215 W, la velocidad es de 1350/1490 r/min y el caudal máximo es de 5380/5.940 m³/h.

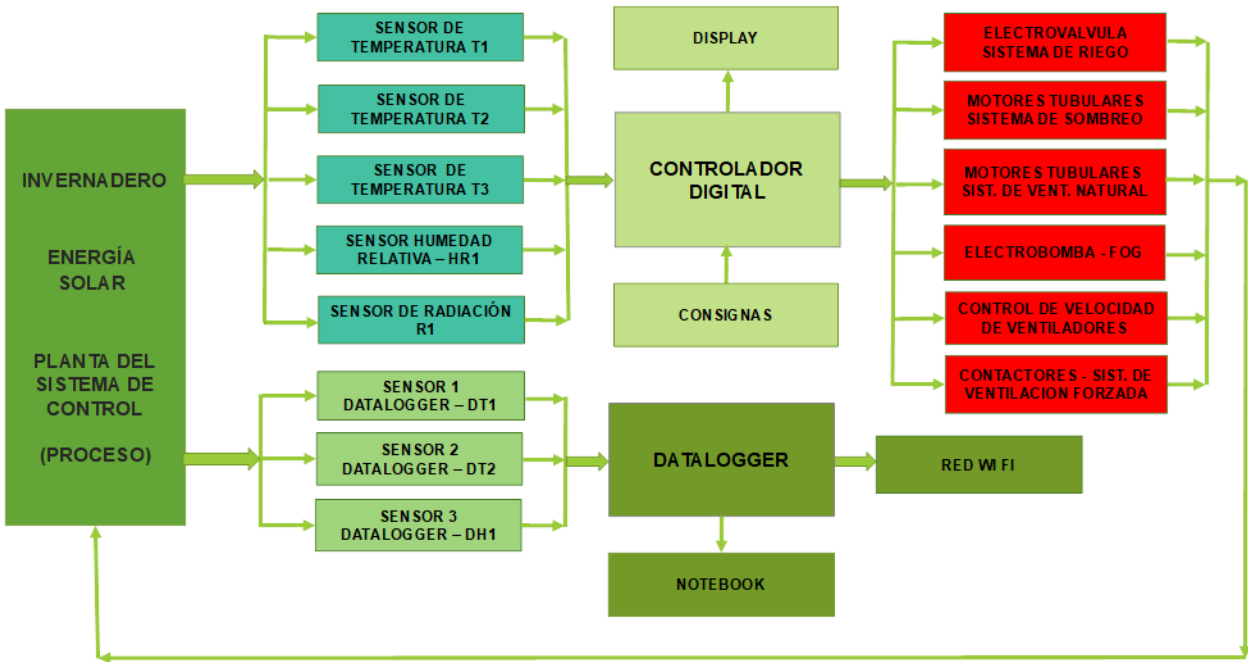
Entre las estrategias activas, se sugiere el sistema de enfriamiento FOG, el que contribuirá a la refrigeración por evaporación de agua en el interior, para lo que emplearía nebulizadores que inyectan micro-gotas en forma de nube de agua, las que al entrar en contacto con el aire, absorben calor hasta evaporarse, produciendo descenso de la temperatura. En relación a las micro-gotas de agua, éstas tienen un diámetro ajustable de 30 a 100 micrones, cuyo reducido tamaño, las hacen mantenerse suspendidas en el aire hasta evaporarse -por la ventana cenital- antes de tomar contacto con el cultivo. Esta estrategia, permite reducir hasta 10°C, recomendándose instalar una boquilla por cada 6 a 8 m² (Lenscak et al, 2019). Por último, al circuito hidráulico que integra al sistema, se le inyecta agua presurizada a través de una bomba de alta presión (40 a 60 kg/cm²).

En la siguiente imagen, se encuentran graficados los sistemas de control de variables ambientales en un plano de la estructura frontal del invernadero de la propuesta.

Plano de la estructura, con vista frontal del invernadero propuesto



Con la finalidad, de graficar el funcionamiento del sistema de control propuesto, se muestra el diagrama de bloque de sus componentes:



b. CALCULO DEL REQUERIMIENTO ENERGÉTICO

En el siguiente acápite se consideran cálculos que determinan la dimensión y capacidad de los elementos que integran el sistema automático de control propuesto.

i. SISTEMA PASIVO: ventanas

El sistema pasivo de ventilación, consiste en el enrollamiento de la cubierta plástica, para lo que, es menester tener en consideración las características del fabricante del servo motor que pliega la ventana, específicamente torque y peso de la estructura. Se propone emplear el servomotor monofásico de 220V Siccba, Modelo: SIC45S-60/10, cuya potencia es de 210W, con una corriente nominal de 0,91A, un torque nominal de 60N.m, peso máximo del mecanismo de 120 Kg y velocidad angular del motor tubular (parte integrante del servomotor) 10r/min.

Para realizar el cálculo de la variable torque, ésta se obtiene aplicando la ecuación sugerida por el fabricante del servomotor:

$$T = D \cdot P \cdot (N \cdot m) \quad (2)$$

Dónde: D es el diámetro del eje que contendrá al servomotor ($63,5 \text{ mm}$), cuya longitud de 22 m, P es el peso de la cubierta más el peso del eje ($26,4\text{kg} = 259 \text{ N}$), T es el torque de 16,45 N.m. Considerando el rozamiento en 5 puntos de apoyo, se obtiene: $T = 41 \text{ N.m}$.

En lo que se refiere a la energía consumida por el mecanismo, es necesario aplicar la siguiente ecuación:

$$E = P \cdot t \text{ (KW.H)} \quad (3)$$

Donde: t es el tiempo para enrollar y desenvolver la cubierta plástica, $t = e/v$ ($3,5\text{m} / 2 \text{ m/min}$), el tiempo total es $2t = 3,5 \text{ min}$, P es la potencia necesaria para accionar a los cuatro (4) servomotores, dos (2) en la ventilación cenital y dos (2) en la ventilación lateral (840W). Por lo que, la energía consumida para accionar a los cuatro (4) mecanismos, será de: $E = 0,049 \text{ KW.H}$ por día.

ii. SISTEMA PASIVO: sombreo de la cubierta

El sistema de sombreo, como estrategia implementada para disminuir la radiación incidente en la cubierta, presenta similitud con el sistema de ventanas, toda vez que, implica la extensión de una malla de polipropileno al 30% sobre la cubierta de la estructura, por las similitudes del mecanismo y peso, se propone el empleo del mismo servomotor, debido a que el peso de la malla más el peso del eje es de 36,3 kg, con un torque de 22N.m, resultado obtenido de aplicar la ecuación (2). Considerando el rozamiento en 5 puntos de apoyo, se obtiene $T = 56,6 \text{ N.m}$.

En relación a la energía consumida, debe de considerarse que la velocidad del motor tubular es de 10 r/min, para éste eje, el que enrollará a razón de 2 m/min, por lo que, el tiempo necesario para recoger la totalidad de la cubierta será de 3,5 min. Si se considera que, la malla se enrollaría y desenrollaría una vez por día, entonces la energía necesaria para los dos motores, se obtendrá de aplicar la ecuación (3):

$$E = P \cdot t \text{ (KW.H)}$$

Dónde: P es la potencia desarrollada por el motor de 210W y t es el tiempo para plegar y enrollar la malla en 7 min. La energía sería de $E = 0,025 \text{ KW.H/día}$.

iii. SISTEMA ACTIVO: ventilación forzada

Se ha propuesto la ventilación del recinto con la instalación de ventiladores/extractores que permitan el intercambio del aire, para efectuar el cálculo de los ventiladores se aplica la ecuación (1) $N = Q/q$, donde N es

el número de ventilador/extractor, Q es el volumen del invernadero en m^3 por el número de renovaciones por hora (40-60), y q es el caudal de aire que puede desplazar un ventilador/extractor instalado en el interior del recinto. Para el caso en análisis, el volumen del invernadero es: $V = 7m \times 22m \times 3,5m = 539m^3$, siendo el caudal necesario $Q = V \times 44 \text{ renov./h} = 23716 m^3/h$.

Por lo tanto, el número de extractores es $N = \frac{Q}{q} = 3,9$, adoptamos 4 ventiladores.

El modelo de ventilador propuesto es el A45T4A de DAVICA, cuyo caudal (q) máximo es de 5380/5.940 m^3/h . La potencia eléctrica suministrada para los 4 ventiladores/extractores, será de: $P = 1,432 \text{ KW}$. Ésta energía será provista por un convertidor de frecuencia, el que permitirá controlar la velocidad de los motores de los ventiladores/extractores para regular el flujo de aire y optimizar el consumo energético, como así también, para proveer de un sistema trifásico de 3 x 220Vca.

Considerando que la ventilación requiere de 4 ventiladores/extractores, la potencia máxima necesaria para el convertidor de frecuencia será de 2 Hp. Entre los requerimientos técnicos de éste dispositivo, el mismo podrá ser conectado a una red de tensión monofásica de 220 Vca y deberá disponer de una salida trifásica de 3 x 220 Vca, para alimentar motores trifásicos de hasta 2 Hp con conexión en triángulo. El modelo propuesto que cumple con las especificaciones mencionadas es el FC100-2S-1.5G-JANSON, que además cuenta con un potenciómetro frontal para regular la velocidad y un control de rampa de aceleración y desaceleración.

La energía requerida por el sistema de ventilación forzada, dependerá del tiempo de uso y este tendrá relación con el nivel de radiación incidente y del calor absorbido. Es decir, se considera el rango horario de entre las 13:00 y las 16:00 horas donde se evidencia mayor radiación e incremento de la temperatura. En estas condiciones, se calcula la energía absorbida, haciendo uso de la ecuación (3):

$$E = P \times t (KW.H)$$

Dónde: P es la potencia eléctrica para los 4 ventiladores/extractores, de 1,432 KW y t es el tiempo de funcionamiento de 3hs. Por lo tanto la energía requerida es: $E = 4,296 \text{ KWH/día}$.

iv. SISTEMA ACTIVO: nebulización (FOG)

Con la finalidad de promover el enfriamiento del recinto, se sugiere la implementación de un sistema FOG, en ese sentido, el cálculo del número de boquillas considera el área del invernadero, que es de 154 m^2 , la cantidad de boquillas recomendada es cada 6 m^2 , entonces, serán necesarias 24 unidades, las que podrán instalarse en 3 hileras de 8 boquillas para garantizar la uniformidad de la nebulización. El modelo que se considera, cuenta con un cabezal de pulverización de 5.5 l/ha, presión de trabajo de 3,5 bares (rango recomendado por el fabricante de 3 a 20bar) y permite regular la gota entre 30 y 100 μm . Debe de considerarse que, el sistema requerirá una bomba que inyecte el agua a la presión mínimo requerida, es decir de 3.5 bares (50,8 PSI) en cada boquilla.

Entonces, para calcular el caudal de la bomba se aplica la ecuación:

$$Q = q . N \quad (4)$$

Donde Q es el caudal de la bomba, q , es el caudal de la boquilla (5,5 l/h) y N es el número de boquillas (24 unidades). Entonces, reemplazando tenemos: $Q = 2,2 \text{ l/min}$. Para este requerimiento podría instalarse la electrobomba, modelo Seaflor-80 PSI 12V, cuya potencia desarrollada es de 90 W, alimentada con tensión continuada 12 V, el consumo de corriente es de 7,5 A, el caudal es de 7 l/min, es capaz de ejercer presión de hasta 80 PSI y la energía que consumiría en una hora sería $E = 0.090 \text{ KW.H}$.

c. RESULTADOS

En ésta sección se presentarán los resultados obtenidos, esto nos permitirá obtener la dimension del sistema

de generación fotovoltaico aislado, cuya energía será destinada a la alimentación del sistema automático de control de variables. Para ello, se parte de la estimación de la demanda de energética, obtenida mediante la sumatoria de los consumos eléctricos de los dispositivos que componenen los sistemas pasivos y activos. Ésta etapa, resulta esencial para determinar la capacidad necesaria del sistema fovoltaico en términos de generación y autonomía.

En ese sentido, el cuadro que se presenta a continuación sintetiza los requerimientos energéticos diarios de cada componente, permitiendo establecer la base de cálculo para dimensionar el sistema fotovoltaico y, en consecuencia, la selección de sus componentes más adecuados.

Cálculo de la potencia y energía por el sistema

SISTEMAS		POTENCIA CONSUMIDA	ENERGIA CONSUMIDA
PASIVO	VENTANAS DE VENTILACIÓN	P = 840 W	E= 0,049 KW.H día
	SOMBREO DE LA CUBIERTA	P = 210W	E = 0,025 KW.H /día
ACTIVO	VENTILIZACIÓN FORZADA	P = 1432 W	E = 4,296 KW.H /día
	NEBULIZACIÓN (FOG)	P= 90 W (12V).	E = 0,090 KW.H /día
TOTAL MÁXIMO EN USO SIMULTANEO		Pc = 2572 W	Ec = 4,46 KW.H /día

De la información contenida en el cuadro, se deduce que, el funcionamiento del sistema propuesto consume 4,46KW.H/día, con una potencia máxima consumida de 2572W, valor que habrá que sumarle 100W de consumo por 24hs de los sensores y del controlador, 50W del consumo de iluminación general durante 4hs. Por lo que, el consumo total de energía diaria será 7,06KW.H, a lo que resulta necesario adicionar la compensación de las pérdidas de energía sufridas por el sistema, estimado entre el 20 al 25%. Por lo que, la energía estimada surgirá de la siguiente ecuación:

$$Ed = Ec .1.2 = 7,06 W \frac{H}{día} \times 1.2 = 8,472 KW.H/día.$$

(5)

En ese sentido, el sistema fotovoltaico de generación tendrá una dimensión eléctrica dada por los Vatios de pico necesarios, en este caso de 2722W y de la energía a consumir por los dispositivos del sistema, Ed= 8,472KW.H/día. El sistema de generación, se compondrá de paneles fotovoltaicos, baterías de almacenamiento y un inversor con regulador de carga. A continuación se realizan las consideraciones de interés, respecto a la selección de los componentes:

i. PANELES

Estos dispositivos generan energía eléctrica a partir de la incidencia de la luz solar en las celdas (silicio), los del tipo policristalinos, presentan una eficiencia de entre el 15 y el 18% en condiciones STC (irradiación de 1000 W/m² y temperatura de 25°C), con una vida útil de 20 a 25 años. Para calcular el tamaño del sistema Fotovoltaico en vatios máximos (Wp), usamos la ecuación siguiente (Chávez et al 2015):

$$Ar = \frac{Pp \times Ed}{\xi_{panel} \times \xi_{bateria} \times Id} = 1558 Wp$$

(6)

Dónde: Ar es el tamaño del sistema Fotovoltaico en vatios máximos (Wp), Pp es la potencia entregada por el panel solar a instalar (171,5 (Wp/m²), Ed es el consumo de energía eléctrica (8,472 KW.H / día), ξ panel es la eficiencia del panel (17,15%), ξ batería es la eficiencia de la batería (80%), por último, Id es la irradiación media del lugar por día. La media diaria, entre septiembre a diciembre es de (6,8 KW.H / m²).

Para el caso en análisis, se propone paneles fotovoltaicos, modelo SLP320/340 de LOGUS, sus dimensiones físicas son de (1979x1002) mm, potencia máxima es de 340 Wp, potencia máxima (STC) es de171, 5 Wp/m², eficiencia del 17,15%. Para máxima potencia, la tensión es de 37.79 V y la Intensidad de corriente de 9 A, la

intensidad de corriente en cortocircuito es de 9.43 A y el voltaje de circuito abierto de 47 V. Como el tamaño del sistema en vatios máximos es de 1558Wp, para conocer el número de paneles de 340 W es necesario aplicar la ecuación:

$$\text{Número de paneles: } Ar / Pp = 1558 W / 340W = 4,6 = 5 \text{ paneles} \quad (7)$$

Debido a que, se prevé la conexión en paralelo de dos grupos de 3 paneles en serie, será necesario igualar la tensión incrementando el número a 6 paneles.

ii. BATERIAS DE ALMACENAMIENTO

Este componente del sistema de generación, permite almacenar la energía eléctrica generada por los paneles, en la presente propuesta se considera el uso de baterías de ciclo de descarga profunda del tipo gel, compuestas por plomo ácido con una eficiencia alrededor del 90%. El almacenamiento necesario será el equivalente al déficit de energía que permite abastecer durante las horas nocturnas o sin radiación, ésta será de 3,12KW.H, dado que no se requiere energizar el sistema de enfriamiento. Con la finalidad de determinar el tamaño y número de baterías se aplica la siguiente ecuación (Chávez et al 2015):

$$\text{Tamaño} = (Aut \times Ed) / (\xi \text{ batería} \times Desc) = 6933 W.H \quad (8)$$

Donde *Aut* es autonomía sin brillo solar (1día), *Ed* es el consumo de energía en W. H (3120 W.H), ξ *baterías* es la eficiencia de la batería (promedio del 90%) y *Desc* es la descarga de la batería (promedio de 50%).

Ahora, para determinar el número de baterías de 150 AH x 12V se aplica la ecuación:

$$N^{\circ} \text{ de Baterías} = \text{Tamaño} / (AH \times V) = 3,8 \quad (9)$$

Por lo que, el sistema podrá ser respaldado con 4 baterías de gel 150 AH x 12V.

iii. INVERSOR CON REGULADOR DE CARGA

Por otro lado, el sistema debe integrarse con un inversor con regulador de carga, este dispositivo es el que convierte la corriente continua (CC) generada en los paneles solares en corriente alterna (CA) o normalizada, que permite alimentar a los dispositivos de control, además, permite mantener la carga de las baterías. La determinación de éste dispositivo, exige considerar la potencia máxima a consumir, en el caso analizado es de $P_c = 2722 W$ para lo que se podría emplear el inversor, modelo SPF 3000TL HVM-48 de Growatt, Offgrid. Entre los datos técnico de interés encontramos: energía diaria de 10 KW.H, potencia de 3000VA, tensión de entrada mínima de 60Vdc y máxima de 145Vdc, tensión de salida senoidal pura de 220/230Vca +/- 5% y una tensión de carga de baterías de 48Vdc.

Como se ha indicado en el acápite i. PANELES, se conectarán dos grupos en paralelo, cada grupo formado por 3 paneles solares de 320/340W conectados en serie, de tal modo que el conjunto entregue tensión continua de 114Vdc. Además, se conectarán las 4 baterías de 150AH x 12V en serie para formar una unidad de 48V con capacidad de 150 A.H.

CONCLUSIÓN

Para concluir resulta necesario destacar que, desarrollar el cultivo de pimiento en Tucumán, exige el control de las variables ambientales, como la radiación solar incidente y la temperatura, esto, en miras de prevenir el estrés hídrico y térmico del cultivo. Por eso, en el presente trabajo se ha propuesto determinar la factibilidad técnica de implementar de manera integrada, estrategias pasivas y activas para el control de las variables físicas en el interior de un invernadero con cultivo de pimiento, entendiendo que mantener los umbrales máximos y mínimos mejoraría el rendimiento productivo.

Más aún, se han establecido los parámetros más relevantes del diseño de un sistema de generación

fotovoltaico para alimentar el sistema de control de variables. Todo esto, constituye una innovación respecto a los antecedentes revisados. Así es que, desde una perspectiva práctica, el sistema propuesto, permite generar las condiciones ambientales óptimas para el cultivo de pimiento mediante una única inversión inicial, sin requerir gastos energéticos para su funcionamiento. Esto constituye una estrategia concreta de sostenibilidad ambiental y gestión eficiente de la energía, al transformar la desventaja de radiación excesiva, en ventaja competitiva.

No obstante, el estudio presenta como limitación que se limitó al análisis técnico, por lo que, resultaría necesario simular los valores para realizar sus validaciones previa a la implementación, con el fin de verificar que la cantidad de paneles fotovoltaicos calculados para la generación de la energía resultarían suficientes. Asimismo, esto permitiría constatar la capacidad del sistema de respaldo propuesto.

BIBLIOGRAFÍA

<https://es.weatherspark.com/> (Acceso: septiembre 2.025)

Salazar Aguilar, N. (2.020) Diseño de un sistema inteligente para el control automatizado de invernaderos. Instituto de Investigaciones en ciencias básicas y aplicas de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Tesis de Maestría.

Chávez, I & Sotomayor, N (2.015) Control de Luz y temperatura en invernadero. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/27557509> Control de luz y temperatura de un invernadero

Informe climatológico (2.025) disponible en: <https://es.weatherspark.com/>

ENARGAS (2.012) *Norma IRAM 11.603: clasificación bioclimática de la Argentina*. Disponible en https://www.enargas.gob.ar/secciones/zona-fria/mapa_bioambiental.pdf

Lenscak, D & Iglesias, B (2019). *Invernaderos: tecnología apropiada en las regiones productivas del territorio nacional argentino (del paralelo 23 al 54)*. INTA Ediciones. Disponible en: https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/136656/mod_resource/content/1/inta-invernaderos.pdf

Martinez Castellanos, T; Romantchik E.; Betanzos Castillo, F.; Contreras Magaña E.; Martinez Elizondo, R. y Poblano Ortiz E. (2.014) Metodología para la selección de sistemas fotovoltaicos a invernaderos y su aplicación. Ingeniería agrícola y biosistemas, 6 (1), pp. 15-30.

Peña, A., Pérez García, F., Valera Martínez, D. L., Pérez, J., & Ayuso Muñoz, J. (2002). Análisis de cimentaciones a tracción en invernaderos y aproximación al cálculo de las mismas mediante elementos finitos.

Santiago, J; Mendoza, M & Borrego, Fernando (1998) *Evaluación de tomate (Lycopersicon esculentum, Mill) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos*. Agronomy Mesoamerican. Pp. 59-65 (Santiago, et al 1998)