

**Propuesta de un sistema anti heladas con energía solar.
Proposal for an anti-frost system with solar energy.**

John Villamil¹, Germán López²

Estudiante Universidad Distrital¹, Colombia; Docente, Universidad Distrital², Colombia
jjvillamilp@correo.udistrital.edu.co¹; galopezm@udistrital.edu.co²

RESUMEN: las heladas a lo largo del tiempo han generado grandes pérdidas en el sector agrario, por lo que se han buscado soluciones para combatirlos de las cuales han surgido los sistemas activos y pasivos con el fin de mitigar dicho fenómeno, a partir de la adaptación de estos a energía solar térmica y fotovoltaica se da una solución sostenible y de baja contaminación. Por medio de una matriz de selección junto con el planteamiento de una serie de propuestas que cuenta con criterios relevantes según el autor, se seleccionó la más idónea según su calificación, posteriormente se realizó el análisis matemático buscando dimensionar el tamaño de los componentes como paneles, colectores entre otros a partir de ecuaciones establecidas por autores expertos en las áreas de energía solar y demás con el fin de identificar sus respectivas variables dando dimensionamiento a la propuesta seleccionada.

Palabras clave: Frosts over time have generated great losses in the agricultural sector, so solutions have been sought to combat them, from which active and passive systems have emerged in order to mitigate this phenomenon, based on the adaptation of these Solar thermal and photovoltaic energy provides a sustainable and low-pollution solution. By means of a selection matrix together with the proposal of a series of proposals that have relevant criteria according to the author, the most suitable was selected according to its qualification, later the mathematical analysis was carried out seeking to size the size of the components as panels, collectors among others from equations established by expert authors in the areas of solar energy and others in order to identify their respective variables by sizing the selected proposal.

Keywords: Frost, Photovoltaic panel, Solar collector, Solar energy, System.

Introducción.

A lo largo del tiempo las heladas han sido un fenómeno que ha venido afectando cultivos y por ende la economía del campesino, para lo cual se han venido buscando alternativas para combatir dicho fenómeno, dentro de los cuales están: el riego por aspersión, implementación de calentadores, entre otros. Para cuantificar el daño producido por una helada se establece que para el año 2020 cerca de 67000 hectáreas de pastos y cultivos se perdieron afectando a 30000 productores en las regiones de Boyacá y Cundinamarca (Tovar, 2020).

Para el periodo comprendido entre finales de diciembre y comienzos de marzo se establece el fenómeno denominado helada, desarrollándose en alturas a partir de los 2500 msnm, siendo el altiplano Cundiboyacense, cordillera oriental, altiplanos de Tuquerres e Ipiales en Nariño propenso a este, otro de los factores a tener en cuenta es cuando la temperatura alcanza valores de 0°C o inferiores a un nivel de 2 metros sobre el nivel del suelo (IDEAM, 2012).

Dentro de los tipos de helada se encuentran las de tipo advectiva la cual se presenta cuando grandes masas de aire frío con temperaturas de 0°C o menores provenientes de las regiones polares, invaden los cultivos durante grandes periodos de tiempo enfriando las plantas causando daños dependiendo de la naturaleza y estado de estas. Las heladas por radiación ocurren cuando se cede calor por irradiación del suelo aumentando en gran magnitud cuanto menores sean los obstáculos atmosféricos, a partir de esto se pueden encontrar las heladas blancas que generalmente se presentan cuando el aire esta húmedo con la presencia del rocío, creando cristales en las superficies de las plantas; cuando el agua alcanza temperatura de congelamiento y el aire es muy seco, antes de formarse el rocío se presenta la helada negra (Consejo Municipal de Gestión de Riesgos de Desastres , 2012)

A lo largo del tiempo se han desarrollado métodos de protección para prevenir daños en los cultivos, estos pueden ser ejecutados en periodos de largo tiempo como lo son las metodologías pasivas, que suelen tener beneficios al momento de presentarse la helada; Los métodos activos demandan de gran cantidad energía o trabajo e incluyen preparación durante el día, dentro de protección se encuentran los sistemas de riego, ventiladores, estufas o calentadores los cuales remplazan la pérdida de energía durante la noche (snyder & Melo-Abreu, 2010).

A partir de la adaptación de sistemas activos existentes a energía solar se establece una solución para esta problemática, trayendo como beneficio la disminución en la contaminación como lo es para el caso de las estufas y la conexión a zonas donde no se cuente con redes eléctricas convencionales pudiendo abarcar más área para el cultivo.

Para el manejo de este fenómeno se presentan métodos pasivos los cuales se basan en la anticipación o preparación del terreno antes de que ocurra la helada. Mediante la implementación de recubrimientos sobre el cultivo (mantas térmicas) se busca controlar el descenso de las temperaturas en las horas de la madrugada para evitar el daño o la pérdida de los cultivos, para este sistema fue necesario la implementación de una manta térmica de propileno permeable sobre una base plegable (Zanek, Valenzuela, & Czepulis, 2014).

Otro de los métodos pasivos que se encuentran para contrarrestar las heladas es el suministro de agua al cultivo mediante goteo, aspersión o camellones, se hace con el fin de aprovechar las calorías presentes en el líquido formando de esta manera una capa protectora a la hoja o proporcionar de humedad el suelo para que este mantenga una temperatura estable a lo largo de la madrugada. Es necesario tener en cuenta la altura de aplicación y la hora de la misma con el fin de garantizar una efectiva protección en cultivo (Renzo, 2018).

En el estudio para contrarrestar las heladas también se encuentran métodos activos, los cuales funcionan en el instante que ocurre el descenso de la temperatura o la jornada en la cual está presente el fenómeno. Dentro de los métodos más utilizados se encuentran las estufas, ventiladores, quemas, cubiertas por medio de mantas, entre otros.

Los ventiladores como sistema activo tienen como finalidad mezclar el aire de mayor temperatura con el de menor, permitiendo así la estabilidad térmica evitando el daño por helada, dentro de los dispositivos se encuentran ventiladores de eje horizontal y eje vertical, además de la implementación de helicópteros lo que genera elevados costos y solo es justificado para cultivos con grandes rentabilidades (B, G, & P, 2008)

La implementación de calentadores es una técnica recurrente para la mitigación del fenómeno, estos dispositivos funcionan comúnmente con combustibles fósiles u otro tipo de combustible (biomasa) lo que puede elevar el costo de operación del mecanismo, así mismo se puede presentar contaminación en el entorno debido a los materiales particulados que se emitan en la quema del combustible, este dispositivo cuenta con patentes desde el año 1910 por P.H. Troutman elaboró un recipiente con un reservorio de combustible líquido el cual se alimenta con una cámara de combustión situada en el centro (Lopez, 2016).

Los avances tecnológicos han permitido desarrollar sistemas de detección para heladas, con lo que la activación de la protección se puede hacer de manera más eficiente y temprana evitando pérdidas de cosechas, a partir de un prototipo de monitoreo que muestre las variables atmosféricas (temperatura, humedad) es posible alertar mediante wi-fi la presencia del fenómeno en dispositivos celulares y computadoras mediante protocolos que emulan las

condiciones climáticas adecuadas (Salamanca, Cardenas, & Suarez, 2017).

Teniendo en cuenta las ventajas así como desventajas que puedan tener los sistemas propuestos y eligiendo el más adecuado según sus características, se procede con la consulta de textos especializados en temas de agricultura, energía solar entre otros autores permitiendo establecer un diseño adecuado, con el fin de expandir los estudios referentes a energías renovables consiguiendo avances en el sector agrícola colombiano.

Metodología

En procesos como compras, proveedores, producción y demás técnicas cualitativas se han venido desarrollando metodologías cuantitativas para la mejora y evaluación de metodologías determinadas. Las matrices de priorización o de selección son sistemas que facilitan la toma de decisiones haciéndolas más objetivas y contundentes. A partir de esto se determina una serie de variables las cuales son priorizadas y plasmadas en una matriz con la que se dará un valor numérico dependiendo su importancia con lo que se tendrá un puntaje clasificando las diferentes posibilidades de implementación para luego determinar la de mayor relevancia o beneficiosa (Martín, 2018)

Planteando inicialmente 4 sistemas alimentados por energía solar, para posteriormente emplear una matriz de selección con seis criterios de evaluación dentro de los cuales se encuentra costos de inversión inicial, vida útil, consumo energético (eléctrico y térmico), entre otros; valorados del 1 al 4, siendo 1 lo menos conveniente y 4 lo más conveniente; se selecciona la de mayor puntuación. Estos sistemas analizados son tomados de modelos ya existentes y adaptados para este estudio.

Dentro de los sistemas propuestos se encuentra el sistema de agua caliente en tubería y

calentamiento de aire por convección libre, que consta principalmente de una red de tubería distribuida por el terreno cultivado que será el encargado de transportar fluido portador de calor a una temperatura determinada; permitiendo de esta manera agregar calor como es el caso de las estufas al entorno e impidiendo el daño a las plantas. El sistema constara de paneles fotovoltaicos como fuente de alimentación eléctrica, tanque de almacenamiento para el líquido, bomba y colectores solares tipo termosifón artículo.

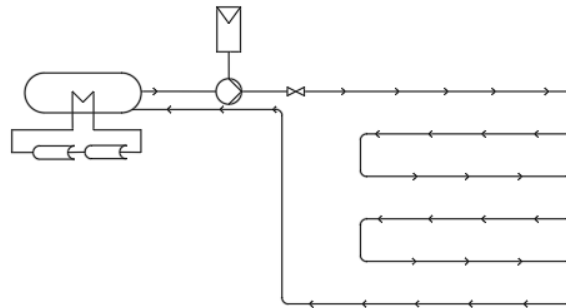


Figura 1 Propuesta 1. Sistema de Agua caliente en tubería y calentamiento de aire por convección libre. (Elaboración propia).

Implementando agua caliente en tubería y calentamiento de aire con ventilador de hélices como segundo sistema propuesto, se adapta el método ya existente para funcionar con energía solar, otro de los cambios que se presenta es la adecuación de tubería alrededor de las hélices con el fin aprovechar el calor de este elemento y combinarlo con el entorno, es decir los cultivos.

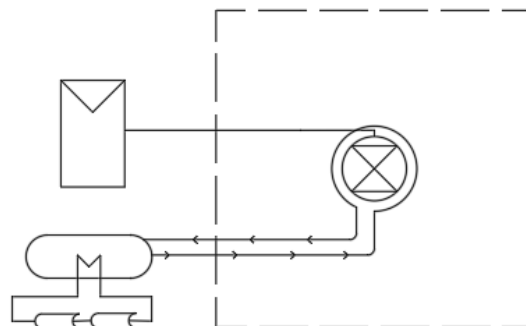


Figura 2 Propuesta 2. Sistema Agua caliente en tubería y calentamiento de aire con ventilador de hélices. (Elaboración propia).

Implementando colectores solares, Ventiladores, paneles solares y demás componentes que hagan uso eficiente de la energía, se establece el sistema de agua caliente e intercambiador de calor de tubos con aleta, cuya función principal es captar el calor que pasa a través de tubería

para posteriormente distribuirlo por medio de ventiladores en las zonas deseadas. Al igual que los sistemas anteriores, este contará con tanque de almacenamiento, debido a que el fluido tendrá que estar a una temperatura determinada con el fin de lograr la aplicación en el momento de la presencia de la helada.

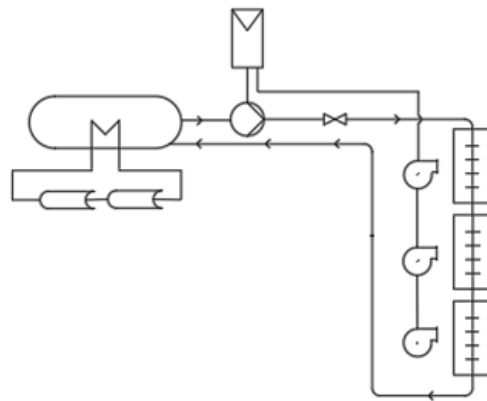


Figura 3 Propuesta 3. Sistema Agua caliente e intercambiador de calor de tubos con aleta. (Elaboración propia).

Finalmente se propone el sistema de riego con agua caliente, el cual está conformado por aspersores, bomba hidráulica, paneles y colectores solares además de un tanque de almacenamiento. Su funcionamiento consta de proporcionar agua a temperatura dada mediante una bomba, la cual será alimentada eléctricamente con paneles fotovoltaicos y colectores solares encargados de elevar la temperatura del fluido durante el día.

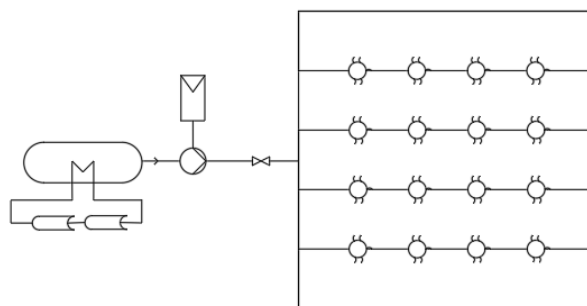


Figura 4 Propuesta 4. Sistema de riego con agua caliente. (Elaboración propia).

La matriz de selección mostrada en la tabla 1 denota los criterios más relevantes para las 4 propuestas hechas, donde los factores a señalar son: el costo de inversión inicial, tiempo de instalación entre otros:

	P 1.	P 2.	P 3.	P 4.
Costo de inv. Inicial	4	2	1	3
Tiempo de instalación	2	4	1	3
Consumo energético eléctrico	1	1	1	4
Consumo energético térmico	3	1	3	4
Mantenimiento	1	3	1	2
Vida útil	2	4	2	4
Total	13	15	9	20

Tabla 1 Matriz de selección (Elaboración propia)

La propuesta que representa mayor calificación es la número 4, “Agua caliente con sistema de riego”, donde su puntaje fue 20, superior a los otros, dentro de los resultados más relevantes, en la matriz de selección fueron, el costo de inversión inicial y el consumo energético eléctrico, en los cuatro sistemas analizados.

En cuanto a los costos de inversión inicial, el sistema 1, requiere mayor cantidad de tubería de tráfico pesado (1100 m aproximadamente) con respecto al sistema 4 (200 m aproximadamente). De acuerdo al consumo eléctrico, el sistema 1 también requiere mayor consumo de este, respecto al sistema 4, debido al tamaño de la bomba para desplazar mayor cantidad de agua debido a la longitud que debe recorrer el fluido.

Resultados

A partir del sistema seleccionado (sistema de riego con agua caliente), se elaboran los cálculos correspondientes para el dimensionamiento de la bomba, distanciamiento entre aspersores, cantidad de paneles y demás componentes que se requieren. Con lo que es necesario recurrir a textos especializados en las áreas de mecánica de fluidos, energía solar, y agricultura.

Para un riego satisfactorio, se debe considerar la adecuada selección de materiales, diámetros de tubería, y distanciamiento entre aspersores. Es por eso que para sistemas de aspersión aéreos

se recomienda que la tubería principal se posicione en el centro del área de cultivo, seguido de la secundaria, la cual tendrá válvulas mariposa en su comienzo, finalmente los laterales o aletas que suelen estar hechos de materiales como polietileno de alta densidad (PEAD) conectados con collarines a la tubería secundaria y presentar diámetros normalmente de 32mm (Tarjuelo, 1991).

Diámetro efectivo de mojado y distanciamiento entre aspersores

En la actualidad existen gran variedad de aspersores que varían desde su configuración, precio y capacidad de consumo, siendo esta última característica la más relevante para zonas con acceso limitado de agua. Dentro de las tecnologías desarrolladas para sistemas de riego más preciso para control de heladas, se ha creado el sistema de presión compensada garantizando una distribución del líquido de forma uniforme empleando bajas velocidades de flujo que van de 8 a 20 litros/hora (TRAXCO, 2018)

El adecuado distanciamiento entre aspersores proporciona un riego efectivo para el cultivo, es por eso que para marcos cuadrados se sugieren separaciones del 75% con velocidades de viento menores de 2 Km/h y un diámetro efectivo de 90% para válvulas con una boquilla. Tomando una válvula cuyo diámetro de mojado corresponde a 6 m este valor será proporcionado por el fabricante y boquilla única se tiene entonces:

$$D.efectivo = D_{mojado} * 0.9 \quad (1)$$

$$D.efectivo = 6 m * 0.9 = 5.4 m$$

$$Separaciones = D_{efectivo} * 0.75 \quad (2)$$

$$Separaciones = 5.4 m * 0.75 = 4.05m$$

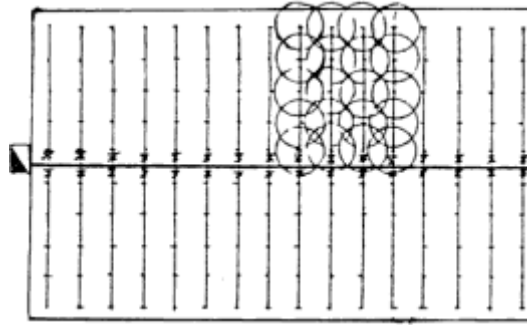


Figura 5 Diámetros efectivos en sistema de riego (Tarjuelo)

En la figura 5 se da el ejemplo para diámetros efectivos en sistemas de riego, los cuales abarcan gran parte de las plantas y permiten cubrir la mayoría de terreno, con este valor se determina que para un lateral de 100 metros la cantidad de aspersores son de 25 unidades y para un área de 1 hectárea corresponde a un total de 625.

Dimensionamiento de bomba

Implementado la ecuación de energía permite determinar el valor de pérdidas y demás factores necesarios para calcular el tamaño de la bomba, es necesario aclarar que no se tendrá en cuenta hR (energía que se remueve del fluido por medio de un dispositivo mecánico), por lo que la ecuación de energía queda:

$$\frac{P_A}{\gamma} + Z_A + \frac{v_A^2}{2g} + ha - hL = \frac{P_B}{\gamma} + Z_B + \frac{v_B^2}{2g} \quad (3)$$

Implementando la ecuación de caudal, con un valor de $15 \text{ m}^3/\text{h}$ debido a la cantidad de aspersores (625) junto con la velocidad de flujo de cada uno (25 l/h) y velocidades de $0,9 \text{ m/s}$, 2 m/s para la succión y descarga se tienen valores de diámetros de $76,77 \text{ mm}$, $51,51 \text{ mm}$ que comercialmente corresponde a tuberías de PVC de $82,04 \text{ mm}$ (3 in aprox) y $55,7 \text{ mm}$ (2 in aprox), con lo que el valor de la velocidad debe ser calculado nuevamente tomando valores de $0,79 \text{ m/s}$ y $1,71 \text{ m/s}$ correspondientemente.

Con los valores de velocidad, diámetros de tubería hallados es posible determinar el número

de Reynolds (Re), cuyos resultados para succión corresponde a 49742,76 y descarga 73266,93 siendo estos flujos turbulentos ya que se considera un flujo de este tipo cuando $Re > 4000$.

Para determinar el valor de f se toma el valor de aspereza para material de tubo extruido siendo este $1,5 \times 10^{-6} m$, para posteriormente calcular la rugosidad relativa (D/ε), siendo $f = 0,021$ en la succión y $f = 0,0195$ para la descarga, con lo que se puede determinar el valor de hL (perdidas por fricción) en la cual se deben tener en cuenta la longitud de la tubería así como las pérdidas por accesorios como se muestran en las siguientes expresiones:

$$hL = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \quad (4)$$

$$hL = K \frac{v^2}{2g} \quad (5)$$

Para determinar el valor de la ecuación (8) en la succión se dispone de una distancia de 5 m, un diámetro interno de tubería de 82,04 mm con un a velocidad de fluido 0,79 m/s. En el caso de la descarga la distancia será de 112 m debido a que la línea principal cuenta con 8 m los laterales 100 m y las líneas secundarias igualmente con 100 m que al dividirlo en 25 que es el número de aletas dan como resultado 4 m, velocidad del agua 1,71 m/s y diámetro interno de tubería de 55,7 mm. Teniendo valores de 0,0402 m y 5,76 m correspondientemente.

Determinando el valor de la ecuación (9) se establece el valor del coeficiente de resistencia (K), que cuenta con el listado de componentes en la succión y descarga tabla 2, tabla 3, otro factor a tener en cuenta es el seccionamiento de la tubería, es decir que el sistema funcionara en bloques de 5 laterales al tiempo con el fin de disminuir las pérdidas reduciendo en gran cantidad la potencia de la bomba.

K para válvulas y acoplamientos			
Accesorio	Cantidad	K	Total
Codo 90°	2	20*f	0,834
V. Compuerta	1	8*f	0,167
V. Verifica t. Gira	1	100*f	2,086
V. pie alcachofa	1	75*f	1,565
Total K			4,7

Tabla 2 Valores de K succión (Elaboración propia)

K para válvulas y acoplamientos			
Accesorio	Cantidad	K	Total
T paso directo	26	20*f	10,15
V. globo	1	340*f	6,64
V. Compuerta	1	8*f	0,156
V. Verifica t. Gira	1	100*f	1,952
Total pérdidas			18,90

Tabla 3 Valores K descarga (Elaboración propia)

El valor de hL para accesorios da como resultado 0,147 m en succión, 2,82 m en la descarga que serán sumados con el valor encontrado en la ecuación (8) y multiplicado por 5 que es el número de aletas que funcionarán al tiempo, para un total de 43,03 m sumando los valores de pérdidas en la succión y descarga.

En la siguiente figura se muestra la representación del sistema de riego mostrada en vista lateral con el fin de establecer la guía para realizar los cálculos de ha despejada de la ecuación (3):

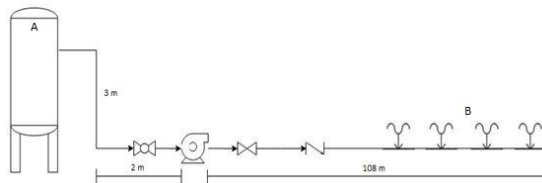


Figura 6 Dimensiones generales Sist de riego. (Elaboración propia)

$$ha = \frac{P_B - P_A}{\gamma} + (Z_B - Z_A) + \frac{v_B^2 - v_A^2}{2g} + hL \quad (6)$$

Se toman valores de P_B al igual que P_A salen o están a la atmosfera haciéndose 0, con lo cual se toman las demás variables calculadas, es así como ha tiene un valor de 41,19 m. Siendo posible dimensionar la bomba así:

$$P_a = ha * \gamma * Q \quad (7)$$

En la ecuación (7) se determina que el valor de la bomba es de 1683,4 w. Debido a perdida internas por fricción y turbulencias en el componente, es necesario generar más energía para impulsar el fluido, para ello emplea la siguiente expresión:

$$e_M = \frac{P_a}{P_I} \quad (8)$$

De la anterior expresión se asume una eficiencia del motor del 70% es decir que P_I (Potencia de entrada a la bomba) tendrá un valor teórico de 2404,92 W o 3,23 hp. Para un valor de potencia comercial se elige con respecto al figura 7 de la marca IHM donde la bomba más adecuada para altura ha 41,19 m y caudal 15 m³/h es la 20A-5 cuya potencia es de 5hp.

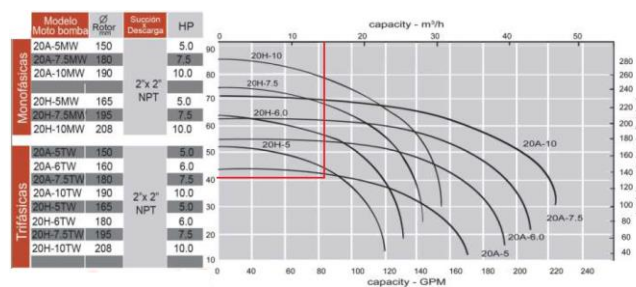


Figura 7 Selección de bomba vertical (IHM)

Es necesario establecer el valor de $NPSH_A$ para garantizar que la bomba no cavite, mediante el cumplimiento de $(NPSH_A) > 1,10 (NPSH_R)$. Para obtener el valor de $NPSH_R$ se consulta el gráfico de curvas de bomba cuyo valor de $NPSH_R$ es de aproximadamente 3 m al calcular $(NPSH_A = h_{sp} \pm h_s - h_f - h_{vp})$ se tiene el resultado de 13,15 m por consiguiente se cumple con $(NPSH_A) > 1,10 (NPSH_R)$, es decir la bomba no cavitara.

Cantidad de paneles fotovoltaicos y banco de baterías

Los paneles fotovoltaicos permiten la transformación de energía solar en energía eléctrica a partir de la captación de fotones. Estos sistemas ayudan a disminuir la contaminación producida por combustibles fósiles, con lo que se ha venido implementando en zonas sin acceso a redes eléctricas.

Estos sistemas pueden ser de tipo aislados, como su nombre lo indica están ubicados en zonas apartadas o con poco acceso a la electricidad, normalmente funcionan durante el día sin necesidad de baterías en aplicaciones como bombeo de agua, para usos nocturnos se suele utilizar acumuladores de energía. Los sistemas de conexión a red, funcionan sin baterías, ya que en horas de poca presencia solar, este es alimentado por la red eléctrica convencional, el cual funciona con sistemas de seguimiento de tensión, por último los sistemas híbridos están apoyados de otras fuentes de energía como la hídrica o eólica (Cardona & Castellanos, 2018)

Debido a que la alimentación eléctrica será por medio de paneles solares, es necesario determinar las piezas eléctricas que se implementaran con las horas totales de uso. Debido a que el accionamiento se hará por bloques, el sistema automatizado resultara útil para accionar de manera remota cada componente. Adicionalmente la configuración de los laterales deberá cambiar con el fin de disminuir la cantidad de electroválvulas figura 8.

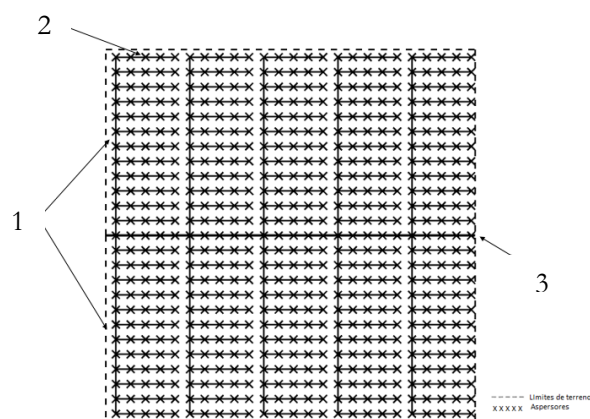


Figura 8 Disposición aspersores con automatización (Elaboración propia)

Donde 1 muestra las líneas secundarias, 2 aletas o laterales, 3 es la línea principal de descarga y x representan los aspersores. Esta nueva disposición no afecta la selección de la bomba por lo que la potencia calculada será útil para esta disposición.

La tabla 4 muestra los valores de consumo de energía para el funcionamiento del sistema de riego con su tiempo de uso, permitiendo el dimensionamiento de la cantidad de paneles y banco de baterías.

Equipo	Cantidad	Potencia (w)	Uso (h)	W-h
Bomba Vertical	1	3728,5	4	14914
Temporizador	6	2,2	4	52,8
Relé	6	1,5	4	36
Válvula de globo	10	22	4	880
Total				15882,8

Tabla 4 Energía de consumo diario con 10 electroválvulas (Elaboración propia)

$$E_d = \sum E_{CC} + \frac{\sum E_{CA}}{\eta_{Conv}} \quad (9)$$

Con el consumo total de la tabla 4 y empleando la ecuación (9) se determina el valor de energía diaria (E_d) que da como resultado 18685,65 Wh. Asumiendo el valor de V_{tr} (Tensión en los bornes del banco de baterías) de 36 V se determina la carga de consumo diaria con la siguiente expresión:

$$C_d = \frac{E_d}{V_{tr}} \quad (10)$$

Implementado la ecuación (10) se establece el valor de Carga de consumo diaria (C_d). Para calcular el valor de HSP (hora solar pico) es necesario la radiación incidente en la zona siendo esta de 4,5 Wh/m², es decir 4,5 h.

$$N_T = N_P * N_S \quad (11)$$

$$N_P = \frac{C_d}{ipm \times HSP} \quad (12)$$

$$N_S = \frac{V_{tr}}{V_M} \quad (13)$$

A partir de lo mencionado anteriormente para valores de intensidad a potencia máxima (*ipm*) tomada de paneles fotovoltaicos comerciales de 9,7 A , potencia 390 W, tensión del módulo (V_M) 40,25 V y valor de tensión en los bornes del banco de baterías (V_{tr}) 36 V, se tiene de las ecuaciones (11), (12) y (13) un total de 12 paneles fotovoltaicos que serán los encargados de proporcionar energía al banco de baterías.

$$C_B = \frac{C_d * \# \text{ de días de autonomia}}{Pf} \quad (14)$$

Con el fin de encontrar el valor de la ecuación (14) se establece un día de autonomía, para los valores de profundidad de descarga (*Pf*) se toman baterías estacionarias plomo/acido, arranque plomo/acido, sin mantenimiento plomo/acido, alcalina cadmio/níquel del texto (López, Energía solar fotovoltaica).

$$C_B \geq \frac{C_d}{Pf \text{ diaria}} \quad (15)$$

Pf	CB (Ah)	Pf Diaria	CB≥(Cd/Pfdiario)
0,6	865,1	0,2	865,1≥2595,2
0,4	1297,6	0,2	1297,6≥2595,2
0,5	1038,1	0,15	1038,1≥3460,3
1	519,0	1	519≥519

Tabla 5 Dimensionamiento de banco de baterías (Elaboración propia).

$$N_{bat \text{ serie}} = \frac{V_{tr}}{V_{bat}} \quad (16)$$

$$N_{bat \text{ paralelo}} = \frac{C_B}{C_{bat}} \quad (17)$$

La batería que cumple con la relación (15) es la que tiene un pf de 1 es decir cadmio/níquel, asumiendo valores para tensión en el banco de baterías (V_{bat}) de 36 V, Capacidad de batería (C_{bat}) de 90 Ah, el número de baterías en serie ecuación (16), baterías en paralelo (17) corresponden a 1 y 5 respectivamente, para un total de paneles de 5.

La implementación de baterías a lo largo del tiempo ha representado una solución adecuada para el almacenamiento de energía para aplicaciones vehiculares, iluminación entre otras. Actualmente esta tecnología ha tomado gran relevancia en los sistemas fotovoltaicos, permitiendo captar energía para posteriormente ser aplicada para una labor en específico. A pesar de ser un elemento versátil puede presentar en algunos casos poca eficiencia o inestabilidad debido a los componentes con las que se fabrican lo que indica menor vida útil junto con la necesidad de mantenimientos periódicos.

Con el desarrollo de la tecnología se han venido implementando nuevas soluciones para el almacenamiento de energía. Los ultracondensadores como alternativa de acopio eléctrico tienen un impacto positivo para el medio ambiente, presentan gran resistencia a climas severos, rendimiento, desempeño en el almacenamiento de energía, así como resistencia a condiciones severas en la electricidad y el clima, permitiendo optimizaciones fotovoltaicas autónomas. A pesar de ser una buena alternativa, estos elementos solo reportan estudios de mejoramiento estructural en algunas universidades del país (Angulo, Martinez, & López, 2017).

A pesar que los ultracondensadores presentan grandes ventajas, estos no se tuvieron en cuenta por lo mencionado anteriormente, lo que conlleva al aumento de costos y por ende a gran

incertidumbre en su implementación, con lo que las baterías para almacenamiento fotovoltaico convencionales presentan una solución adecuada.

Dimensionamiento de colectores solares

Para aprovechar al máximo la energía solar de la región y garantizar la protección en los cultivos, el dimensionamiento de colectores solares, es necesario mencionar que el tipo de colector a implementar será de termosifón con intercambiador de calor, donde el tanque de almacenamiento se encuentra ubicado encima del nivel superior del este garantizando la circulación natural del agua por diferencia de densidades (López, Energía solar térmica).

Estos dispositivos permiten el aprovechamiento de la radiación electromagnética la cual es transformada en energía térmica, que posteriormente será transmitida por conducción a tuberías de circulación, para proporcionar mediante convección la energía obtenida al fluido. La elaboración de estos sistemas tiene como finalidad la disminución de contaminación, satisfacer la demanda energética, junto con otros factores presentes. Con el fin de aumentar la eficiencia de estos dispositivos se ha optado por el cambio de fluido de trabajo a otros más eficientes como glicol o poseedores de alta conductividad térmica (Chacón & Castañeda, 2020).

Ya que se requiere alcanzar una temperatura de aplicación de 10°C en el tanque principal, la tabla para valores de producción de agua caliente sanitaria está comprendida para temperaturas de 45°C a 55°C en la salida. Es necesario la determinación de volúmenes para tanques de agua en donde uno de ellos tendrá una temperatura de 50°C (T_s) y la otra será dada por el ambiente es decir se asume como 4°C (T_a), que posteriormente serán mezclados para así adquirir la temperatura deseada. Por medio de las siguientes ecuaciones se conseguirán dichos valores.

$$X + Y = 62500 \text{ l} \quad (18)$$

$$(X * Ta) + (Y * Ts) = 62500 * 10^{\circ}C \quad (19)$$

Donde X representa el volumen de agua a temperatura ambiente, Y volumen de agua a temperatura de salida, Ta y Ts establecen las temperaturas ambiente y de salida del fluido correspondientemente cuyos valores fueron descritos anteriormente.

El resultado obtenido al implementar las ecuaciones (18) y (19), determina que para el tanque a temperatura Ts será de $Y = 8152,17 \text{ l}$ con respecto a Ta que tendrá un valor para $X = 54347,83 \text{ l}$. Siendo Y el volumen de agua necesario a calentar con lo que se elaboró el dimensionamiento de colectores solares.

A partir del consumo total diario (M) que fue fijado para temperatura Ts se emplean las siguientes ecuaciones:

$$A = \frac{M}{C} \quad (20)$$

$$N = \frac{A}{Su} \quad (21)$$

Con la superficie captadora (A), Producción de agua caliente sanitaria (C) y diversos valores de superficie útil (Su) se obtiene el valor de número de colectores (N) mostrados en la tabla (7).

Superficie útil (m ²)	A (m ²)	N
1,97	102	51,8≈52
2,65	102	38,5≈39
2,81	102	36,3≈37

Tabla 6 Numero de colectores con diferentes Su (Elaboración propia).

Debido a que la orientación y ángulo de inclinación influyen en la captación de energía solar para paneles y colectores, estos deben ser orientados hacia el sur si se encuentra en el

hemisferio norte como lo es en este caso, para el ángulo de inclinación se debe sumar de 10° a 15° la latitud local.

Esquema de distribución para sistema de riego

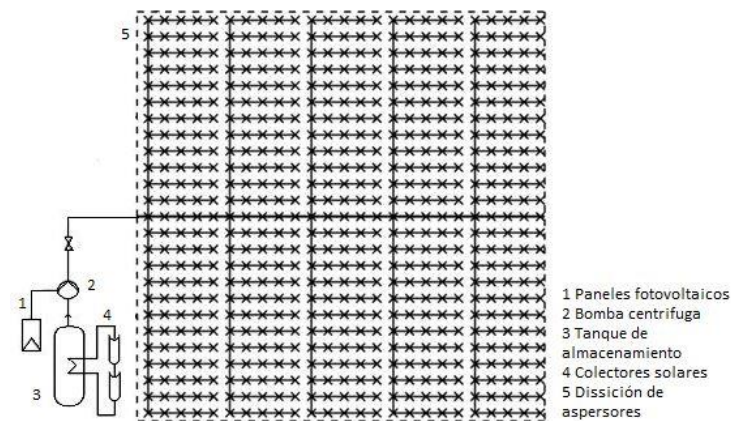


Figura 9 Esquema de distribución sistema de riego (Elaboración propia)

En la figura 9 se establece la disposición de los elementos, como son tanque de almacenamiento, paneles fotovoltaicos, colectores solares, distribución de válvulas en el terreno. Cabe aclarar que se hace de forma tentativa y está dispuesto a cambios según la forma debido a que la mayoría de propiedades no cuenta con áreas simétricas.

Discusión

A partir de los resultados obtenidos en la potencia de la bomba se evidencia que cuanto menor sea la longitud de la tubería, menor será el requerimiento de esta; caso contrario si se tomara el total de los laterales (25), con lo que el valor de la altura (h_a) será de $212,7 m$ aumentado a $16,7 hp$ el valor de (P_I). Debido a que se busca minimizar el costo total en los componentes, el riego establecido en bloques de 5 garantiza la aplicación del fluido constante en cortos lapsos de tiempo.

Si se desea implementar el sistema anti helada para riego convencional, es necesario realizar cálculos adecuados, por lo que es necesario la consulta de libros especializados en el tema,

donde implementan factores como: inclinación de terreno, tipo del mismo, pluviometría, entre otros, permitiendo el doble propósito en el proyecto.

Con los resultados obtenidos de la tabla 5 el número total de paneles no varía con respecto a la potencia de cada uno, lo que indica que el factor económico será clave en la selección, los resultados en la cantidad de estos componentes pueden variar al aumentar o disminuir los accesorios eléctricos utilizados, lo que hace necesario la revisión de los cálculos con cada elemento agregado.

El dimensionamiento del banco de baterías tendrá un cambio significativo al aumentar los días de autonomía, ya que al ampliar a 2 días el valor de C_B da como resultado 1038,1 Ah creciendo en un 100 % la relación (15) para baterías alcalina cadmio/níquel, por lo que también lo hará los demás tipos, siendo posible aumentar la gama de selección dando la posibilidad de reducir costos de estos dispositivos.

Con el fin de aumentar el rendimiento y eficiencia para el almacenamiento de baterías, es necesario generar estudios y avances para nuevos componentes como lo son los ultracondensadores ya que pueden generar grandes ventajas en aplicaciones convencionales, agrícolas, transporte entre otras.

Para la selección del colector solar se debe tener en cuenta: aplicación, tipo, montaje, y región de estudio debido a que afectara el rendimiento en el sistema o elevara los costos del proyecto; es de aclarar que si se desea implementar los cálculos para vivienda u otro tipo doméstico, la metodología cambiara.

Debido a que los cálculos se realizaron de forma teórica, es apropiado efectuar estudios de campo para evitar fallas como la inclinación de terreno la cual influye en la potencia de la bomba, zonas de instalación de paneles y baterías que se pueden ver afectados en el ángulo necesario de inclinación para la captación de energía solar, disposición del mismo entre otras con el fin de corregir errores y garantizar al máximo la instalación del sistema.

Conclusiones

Se encuentra posible la adaptación de sistemas convencionales a energías renovables, permitiendo minimizar la contaminación que se produce así como la dependencia a energía eléctrica convencional y consumo de combustibles fósiles. Es de aclarar que se debe tener una buena manipulación de las baterías y posterior disposición en centros de acopio adecuados al finalizar la vida útil de estos elementos; adicionalmente estos proyectos pueden ser ubicados en zonas alejadas permitiendo abarcar mayor área de cultivo.

El dimensionamiento de la bomba muestra que para un caudal de $15 \text{ m}^3/h$ y una altura h_a de 41,19 una bomba vertical es suficiente, caso contrario si se manejara el mismo caudal pero diferente altura, es decir, tomando la totalidad de los laterales, lo que conlleva al aumento de pérdidas, lo que hace necesario la selección de dispositivos especiales como bombas multietapa que representan un mayor gasto monetario.

Para la correcta captación de energía de los paneles se debe garantizar el adecuado posicionamiento en el terreno, orientación y ángulo de inclinación, garantizando una estructura o terreno ideal para esto, cabe aclarar que para cada región el ángulo variara lo que hace necesario la revisión de cálculos en el dimensionamientos de estos componentes.

La cantidad de colectores solares puede variar dependiendo la región y el volumen de agua a implementar, por lo que se hace necesario evaluar nuevamente los factores necesarios para el dimensionamiento, si se desea emplear otra configuración de colector hay que tener los costos adicionales que traerían junto con los gastos adicionales.

Este trabajo presenta una gran contribución e innovación en el campo puesto que aprovecha el recurso energético que presentan algunas regiones en el país (Saboya Boyacá), además de una transición a energías renovables que aportan a la tecnificación, desarrollo y autonomía para la prevención de heladas, con lo que deja abierta la posibilidad de innovar en nuevas configuraciones o diseños que puedan optimizar el recurso hídrico o sistemas de prevención para el fenómeno.

Referencias

- Angulo, A., Martínez, F., & López, G. (2017). *Almacenamiento de energía usando ultracondensadores en sistemas fotovoltaicos autónomos*. Bogotá: Visión electrónica .
- B, L. M., G, A. I., & P, L. (2008). Control de heladas en la agricultura . *Inia tierra adentro*.
- Cardona, S. R., & Castellanos, A. (2018). *Propuesta de un sistema solar fotovoltaico en el centro experimental de la Universidad Distrital "EL tibar"*. Bogota.
- Chacón, N. L., & Castañeda, P. D. (2020). Medida de la eficiencia de un colector solar de placa plana, mediante un montaje experimental desarrollado con instrumentación virtual. *Tecnura* .
- Consejo Municipal de Gestión de Riesgos de Desastres . (2012). *Plan municipal de gestión de riesgos de desastres* . Saboya Boyaca .
- IDEAM. (2012). *Actualización nota técnica heladas 2012*.
- López, G. (s.f.). *Energía solar fotovoltaica*.
- López, G. (s.f.). *Energía solar térmica*.
- Lopez, M. M. (2016). *Diseño y construcción de un sistema de calefacción para huertas manzaneras mientado por pellets de aserrin*. Chihuahua.

- Martín, J. (29 de 08 de 2018). *Cerem*. Obtenido de ¿Que es y como hacer una matriz de priorización?: <https://www.cerembs.co/blog/que-es-y-como-hacer-una-matriz-de-priorizacion>
- Mott, R. L. (2006). *Mecánica de fluidos* . Pearson educación .
- Renzo, R. c. (2018). *Optimización de la tecnica del riego pasivo para el control de los efectos de las heladas por modelamiento y simulación*. Huancayo Peru.
- Salamanca, F. A., Cardenas, C. C., & Suarez, W. A. (2017). *Prototipo de monitoreo y alarma para la detección de heladas blancas en sectores rurales de sogamoso*. Sogamoso.
- snyder, R. L., & Melo-Abreu, J. P. (2010). *Protección contra las heladas: fundamentos, práctica y economía* .
- Tarjuelo, J. M. (1991). *El riego por aspersión: diseño y funcionamiento*. Ediciones de la universidad de Castilla- La mancha .
- Tovar, M. A. (2020). *Propuesta para la protección del cultivo de papa criolla (solanum phureja) durante la temporada de heldas en la finca "Los papiros" del municipio de tabio, Cundinamarca*. Bogotá.
- TRAXCO. (3 de Abril de 2018). *Pulsar Netafim para ombatir las heladas* . Obtenido de <https://www.traxco.es/blog/productos-nuevos/pulsar-netafim>
- Zanek, C., Valenzuela, O., & Czepulis, J. (2014). *Uso de manta termica para el control de heladas durante el periodo inicial de un cultivo de pimiento bajo invernadero* . San pedro Argentina .