Sistema autónomo de aprovechamiento de energía solar térmica y fotovoltaica para contrarrestar heladas en cultivos agrícolas. Municipio de Saboya Boyacá.

UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Autor
John Jairo Villamil Preciado
Cod. 20191375037

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
Facultad Tecnológica
Ingeniería en Mecánica

Bogotá D.C. Junio, 2021

Sistema autónomo de aprovechamiento de energía solar térmica y fotovoltaica para contrarrestar heladas en cultivos agrícolas. Municipio de Saboya Boyacá.

UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Autor
John Jairo Villamil Preciado
Cod. 20191375037

Modalidad
Investigación

Presentado para optar al título de:
Ingeniero Mecánico

Director
Germán Arturo López Martínez
UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Facultad Tecnológica
Ingeniería Mecánica

Bogotá D.C. Junio, 2021

Contenido

Contenido de figuras iii
Contenido de tablas v
Contenido de Anexos vi
Abreviaturas y Siglas vii
Resumen xi
Palabras clave xi
1. Planteamiento del problema 1
2. Justificación 2
3. Objetivos 3
3.1 Objetivo general 3
3.2 Objetivos específicos 3
4. Marco de referencia 4
4.1. Antecedentes 4
4.1.1. Transferencia de calor 6
4.1.2. Calor sensible y calor latente 7
4.1.3. Helada 7
4.1.4. Estufa 8
4.1.5. Colector solar 9
4.1.6. Panel fotovoltaico 9
4.1.7. Energía solar y aprovechamiento 10
4.2. Marco legal 10
5. Caracterización del municipio de Saboya Boyacá 11
5.1. Riesgos ambientales 11
5.1.1. Clima 12
5.1.2. Temperatura 12
5.1.3. Nubosidad 12
5.1.4. Precipitaciones y lluvia 13
5.1.5. Sol y energía solar 14
5.2. Condiciones climáticas en época de heladas 15
5.3. Recurso hídrico 16
5.4. Radiación solar 17
6. Propuesta de diseño 18
6.1.1. Propuesta 1 Sistema agua caliente en tubería y calentamiento de aire por convección libre. 18
6.1.2. Propuesta 2 Sistema agua caliente en tubería y calentamiento de aire con ventilador de hélices. 19

6.1.3. Propuesta 3 Sistema agua caliente e intercambiador de calor de tubos con aleta. 20
6.1.4. Propuesta 4 Sistema de riego con agua caliente. 20
6.2. Selección de propuesta 21
7. Diseño de detalle 23
7.1.1. Esquema de distribución de válvulas 23
7.1.2. Diámetro efectivo de mojado y distanciamiento entre válvulas 23
7.2.1. Cálculo de bomba 25
7.2.2. Cálculo de $\boldsymbol{hL}$ 27
7.3.1. Cálculo de $\boldsymbol{ha}$ 30
7.4.1. Potencia de la bomba 31
7.4.2. Cálculo NPSH 34
7.5.1. Cálculo paneles 38
7.5.2. Cantidad de paneles con sistema automatizado. 44
7.5.3. Descripción del sistema automatizado 44
7.5.4. Consumo W-h con 25 electroválvulas 45
7.5.5. Consumo W-h con 10 electroválvulas 45
7.6.1. Dimensionamiento de colectores solares 47
7.7. Cantidad de energía transferida 51
7.7.1. Q Por convección 51
7.7.2. Q por radiación 52
7.8. Ángulo de inclinación para paneles y colectores 53
7.9. Esquema de distribución del sistema de riego 53
8. Relación costo beneficio 54
8.2. Retorno de inversión 55
9. Análisis de resultados 57
10. Redacción de artículo y selección de revista 58
Conclusiones 59
11. Referencias 61
12. Anexos 64

Contenido de figuras

Figura 1 Diagrama de bloques (Fabián Andrés Salamanca-Figueroa, 2017). 4
Figura 2 Sistema de control para mitigar heladas (Montoya, 2013). 4
Figura 3 Sistema de camellones (Gómez, 2010). 5
Figura 4 Sistema de estufas (Hydro Environment, 2020). 6
Figura 5 Sistema anti heladas mediante riego (Hydro Environment, 2020). 6
Figura 6 Transferencia de calor (Yunus A. Cengel, 2011). 7
Figura 7 Transferencia de calor ambiente-planta (B.V. Karlekar). 8
Figura 8 (Fascal estufas californianas, s.f.). 8
Figura 9 Colector solar parabólico (Leal, 2011). 9
Figura 10 Ubicación municipio de Saboya (Duffo, s.f.). 11
Figura 11 Temperatura promedio (Weather Spark, s.f.). 12
Figura 12 Nubosidad de Saboya (Weather Spark, s.f.). 13
Figura 13 Precipitaciones (Weather Spark, s.f.). 13
Figura 14 Precipitaciones (Weather Spark, s.f.). 14
Figura 15 Luz día (Weather Spark, s.f.). 14
Figura 16 Energía solar (Weather Spark, s.f.). 15
Figura 17 Energía solar periodo de heladas (Weather Spark, s.f.). 15
Figura 18 Temperatura periodo de heladas (Weather Spark, s.f.). 16
Figura 19 Mapa de radiación solar multianual (UPME, 2005). 17
Figura 20 Propuesta 1. Sistema Agua caliente en tubería y calentamiento de aire por convección libre. (Elaboración propia). 19
Figura 21 Propuesta 2. Sistema Agua caliente en tubería y calentamiento de aire con ventilador de hélices. (Elaboración propia). 19
Figura 22 Propuesta 3. Sistema Agua caliente e intercambiador de calor de tubos con aleta. (Elaboración propia). 20
Figura 23 Propuesta 4. Sistema de riego con agua caliente. (Elaboración propia). 20
Figura 24 Disposición de marcos (Tarjuelo, 1991) 23
Figura 25 Disposición aspersores (Elaboración propia). 25
Figura 26 Dimensiones generales Sist de riego. (Elaboración propia). 26

Figura 27 Selección Bomba (Pearl). 32
Figura 28 Q vs H bomba (Pearl). 33
Figura 29 Eficiencia y NPSH bomba (Pearl). 33
Figura 30 Características técnicas de bomba (Pearl). 34
Figura 31 Selección de bomba vertical (IHM). 36
Figura 32 NPSH bomba vertical (IHM). 37
Figura 33 Información técnica bomba vertical (IHM). 37
Figura 34 Ficha técnica paneles (Solar Risen). 40
Figura 35Automatización sist. de riego (Elaboración propia). 44
Figura 36 Disposición aspersores con automatización (Elaboración propia). 46
Figura 37Montaje natural o de termosifón con intercambiador (López, Energía solar térmica). ..48
Figura 38 Disposición de elementos sistema anti helada (Elaboración propia). 53

Contenido de tablas

Tabla 1 Propuesta 1, ventajas y desventajas. 21
Tabla 2 Propuesta 2, ventajas y desventajas. 21
Tabla 3 Propuesta 3, ventajas y desventajas. 21
Tabla 4 Propuesta 4, ventajas y desventajas. 22
Tabla 5 Matriz de selección. 22
Tabla 6 Valores de K succión (Elaboración propia) 29
Tabla 7 Valores K descarga (Elaboración propia) 30
Tabla 8 Número total de módulos (Elaboración propia) 40
Tabla 9 PPG y EG total (Elaboración propia) 41
Tabla 10 Profundidad de descarga máxima (López) 42
Tabla 11 Profundidad de descarga diaria (López) 42
Tabla 12 Valor CB y relación Pf diaria (Elaboración propia) 42
Tabla 13 Energía de consumo diario automatización (Elaboración propia). 45
Tabla 14 Energía de consumo diario con 10 electroválvulas (Elaboración propia) 45
Tabla 15 Cantidad de paneles con 10 electroválvulas (Elaboración propia) 46
Tabla 16 Dimensionamiento de banco de baterías con 10 electroválvulas (Elaboración propia) .. 47
Tabla 17 Valores tipos de producción en l/m^2-día según temperatura ambiente (López, Energía solar térmica) 49
Tabla 18 Numero de colectores con diferentes Su (Elaboración propia) 51
Tabla 19 Costo de materiales (Elaboración Propia) 54

Contenido de Anexos

Anexo A. Ficha técnica aspersor 64
Anexo B. Especificaciones aspersor 65
Anexo C. Ficha técnica bomba multietapa. 66
Anexo D. Curva característica de bomba multietapa. 67
Anexo E. Selección de bomba centrifuga. 68
Anexo F. Curvas características bomba centrifuga. 69
Anexo G. Ficha técnica paneles solares. 70
Anexo H. Ficha técnica colector solar. 71
Anexo I. Ficha técnica tanque de almacenamiento de agua. 72
Anexo J. Artículo científico. 73

Abreviaturas y Siglas

$D.efectivo$	Diámetro efectivo
D_{mojado}	Diámetro de mojado
P	Presión
γ	Peso específico
Z	Elevación según el punto
v	Velocidad del fluido.
g	Gravedad.
ha	Carga total sobre la bomba.
hL	Perdidas de energía por fricción en las tuberías o perdidas menores.
Q	Caudal
A	Área de la tubería
v	Velocidad del fluido
D	Diámetro de la tubería
R_e	Numero de Reynolds
ρ	Densidad del fluido
η	Viscosidad Dinámica
ε	Aspereza o rugosidad del material
f	Factor de fricción de Darcy
L	Longitud de tramo
K	coeficiente de resistencia
P_a	Potencia que se agrega al fluido
e_M	Eficiencia mecánica
P_I	Potencia de entrada a la bomba

$NPSH_R$	Carga de succión neta requerida
$NPSH_A$	Carga de succión neta positiva disponible
h_{sp}	Carga de presión estática (absoluta) sobre fluido en el almacenamiento
h_s	Diferencia de elevación desde el nivel del fluido del depósito a la línea central de la entrada de succión de la bomba
h_f	Perdida de carga en la tubería de succión, debido a fricción y perdidas menores
h_{vp}	Carga de presión de vapor del líquido a temperatura de bombeo
P_{sp}	Presión estática (absoluta) sobre el fluido en el depósito
P_{vp}	Presión de vapor (absoluta) del líquido a temperatura a la temperatura que se bombea
E_d	Energía que consume en un día (W/h)
E_{CC}	Energía en CC total consumida por todos los equipos en un día (W/h)
E_{CA}	Energía en CA total (110 o 220) consumida por los equipos en un día (W/h)
η_{Conv}	Eficiencia del convertidor (%).
HSP	Hora solar pico
I_α	Irradiancia sobre una superficie inclinada un ángulo α
C_d	Carga de consumo diaria
E_d	Energía que se consume en un día
V_{tr}	Tensión en los bornes del banco de baterías
N_T	Número total de módulos
N_P	Numero de módulos en paralelo
N_S	Numero de módulos en serie
ipm	Intensidad a potencia máxima
V_M	Tensión del modulo

P_{PG}	potencia pico total
E_G	Energía generada por los módulos
P_{PM}	Potencia pico por modulo
C_B	Capacidad del banco de baterías
Pf	Profundidad de descarga
$N_{bat\ serie}$	Numero de baterías en serie
V_{bat}	Tensión en el banco de baterías
$N_{bat\ paralelo}$	Numero de baterías en paralelo
C_{bat}	Capacidad de batería
ACS	Agua caliente sanitaria
N_{bat}	Numero de baterías del banco
M	Consumo total diario ACS
I	Consumo Individual ACS
N	Numero de objetos del proyecto especifico
X	Volumen de agua a temperatura ambiente
Y	Volumen de agua a temperatura Ts
Ts	Temperatura de salida
Ta	Temperatura ambiente
A	Superficie captador
C	Producción de ACS
Su	Superficie útil del colector, suministrada por el fabricante
Q_{Conv}	Razón de transferencia de calor por convección
h	Coeficiente de transferencia de calor por convección
$A_{Superficie}$	Área de la superficie

T_S	Temperatura de la superficie
T_∞	Temperatura de los alrededores
Q_{rad}	Razón de transferencia de calor por radiación
ε	Emisividad de la superficie
σ	Constante de Stefan Boltzmann
B/C	Relación costo beneficio
VAI	Valor actual de los ingresos totales
VAC	Valor actual de los costos de inversión o costos totales

Resumen

Las heladas han venido presentando grandes pérdidas para los campesinos en cultivos a lo largo de la historia, este proyecto estableció una solución a este fenómeno en la región de Saboya donde el sector primario de la industria es la fuente económica principal. Mediante la adaptación de sistemas activos a aplicaciones solares (térmica, fotovoltaica) se buscó dar una solución eficiente, con base en las metodologías propuestas en libros como "Transferencia de calor y masa" de Yanus A. Cengel", "Mecanica de fluidos" de Rober Mott, textos para el cálculo de paneles y colectores solares entre otros.

Mediante una breve retroalimentación de las consecuencias causadas por las heladas y métodos ya empleados (activos, pasivos) como lo son: hélices, estufas, sistemas de riego, camellones entre otros para contrarrestar el fenómeno, se dio una noción más clara del problema ya mencionado. A partir de la implementación de una matriz de selección se escogió el sistema adecuado dentro de cuatro propuestos, dependiendo los criterios establecidos que se consideran de mayor relevancia, calificándose de 1 a 4 siendo 1 lo menos conveniente y 4 lo más conveniente

Con el dimensionamiento de potencia de accesorios eléctricos como bombas o ventilador según el sistema seleccionado, además de componentes adicionales como electroválvulas, relés, temporizadores u otro objeto necesario, se determinó la cantidad de baterías y paneles fotovoltaicos que se deben implementar para el adecuado funcionamiento del sistema; adicionalmente los colectores solares así como el tanque de almacenamiento de fluido son un factor importante debido a que se desea elevar la temperatura del líquido para garantizar mayor protección a los cultivos.

A partir de la relación costo beneficio, se efectuó una aproximación al valor del proyecto, con lo que se estableció un porcentaje de ganancia, posterior a esto el cálculo de retorno de inversión permitió determinar el tiempo de está aportando a la decisión de viabilidad para la implementación del sistema por parte del agricultor.

Palabras clave

Heladas, sistemas activos, sistemas pasivos, colector, energía, fenómeno.

1. Planteamiento del problema

Las heladas se presentan para los primeros meses del año (Enero, Febrero y parte de marzo), han generado pérdidas en el campo tanto alimenticias como monetarias, en la regiones de Cundinamarca y Boyacá se han presentado pérdidas de cerca de 67000 hectáreas en cultivos, y pastos afectando aproximadamente 30000 productores en estos departamentos (Tovar, 2020).

Alrededor de este problema actualmente existen varias técnicas para combatirlas, estas están clasificadas en métodos pasivos y activos. Los primeros se refieren al cuidado antes de que se presente dicho fenómeno consta de hacer un cultivo tardío, evitar el arado o decidir el sitio en donde se realizará la plantación. El segundo método es más agresivo el cual consiste en suministrar calor por medio de quemas, suministrar agua por medio de riego o el aprovechamiento del calor generado por el entorno (Agua y fuego contra las heladas, 2018).

El aprovechamiento de la energía solar además de la creciente demanda energética, la contaminación, la futura escasez de energías producidas a partir de fuentes finitas como el petróleo y carbón, en los últimos años han tenido un impacto importante en el medio ambiente así como los mercados internacionales. Las energías renovables dan una gran solución a los problemas mencionados inicialmente, debido a que estas presentan una serie de ventajas como la nula emisión de gases de efecto invernadero, con lo que se puede hacer un uso casi infinito de los recursos. La generación de calor por medio de sistemas de aprovechamiento solar ha sido en los últimos años una fuente innovadora y prometedora para la implementación en diversos ámbitos sociales.

2. Justificación

El problema mencionado inicialmente ha sido un fenómeno que ha estado presente en casi todos los años, regularmente se presenta para los primeros meses afectando gran cantidad de productos alimenticios en la región Cundiboyacense y así mismo el abastecimiento de estos en el país, es así que para el año 2010 se presentaron perdidas y daños en 3.705 hectáreas de papa, 1593 hectáreas de maíz y 235 hectáreas de mora, en el departamento de Boyacá según (Buitrago, 2012).

Con el transcurso del tiempo se han venido implementando soluciones las cuales presentan debilidades, gastos excesivos de recursos, contaminación ambiental o una ineficiente aplicación. Las soluciones presentadas pueden estar en: la aplicación de aire caliente mediante calefactores o ventiladores, radiadores infrarrojos, cortinas de plástico sobre cultivos, aspersión de agua, y calentamiento del aire (Buitrago, 2012).

Estas soluciones tienen diversos inconvenientes, para el caso de la aspersión del agua, el mayor inconveniente que presenta es la gran cantidad de este recurso natural que se desperdicia pudiendo afectar riachuelos o nacimientos, para el caso de los calentadores (ventiladores) su gran desventaja se presenta a las corrientes de aire que pueden haber en el entorno desplazando así el aire caliente suministrado, para el método del aire calentado por medio de quemas existe la problemática de la contaminación debido al tipo de material empleado para la quema.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Establecer el diseño de un sistema de aprovechamiento solar térmico y fotovoltaico para la región de Saboya, teniendo en cuenta el potencial energético solar, con el fin de garantizar un sistema el cual pueda contrarrestar las heladas de cultivos agrícolas; sé considerará un área de una hectárea de cultivo para este análisis, adecuándose a las características climáticas y posición geográfica.

3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar la región a analizar con base a su potencial energético solar estableciendo posibles fortalezas y debilidades de la región.
- Proponer por lo menos dos diseños de sistemas de aprovechamiento con componentes de transferencia de calor, almacenamiento y distribución de este y seleccionar el más eficiente.
- Realizar el diseño de detalle del sistema seleccionado.
- Determinar la relación costo-beneficio del sistema seleccionado.
- Redactar un artículo con base a los principales resultados obtenidos, para someterlo a una revista científica.

4. Marco de referencia

4.1. Antecedentes

Para combatir las heladas se han creado una gran cantidad de sistemas para controlar, predecir, y poner en marcha diversos mecanismos con el fin de mitigar el daño hecho por los descensos de temperatura, a partir de esto se encuentran soluciones tales como controladores permitiendo la detección temprana de las mismas. Es así como el desarrollo de un sistema de detección a partir de la implementación de métodos que se comunican mediante un servidor local conectándose por WI-FI y protocolo MQTT, alertan al usuario a través de dispositivos como celulares y computadores la presencia de este fenómeno (Fabian Andrés Salamanca Figueroa, 2017).

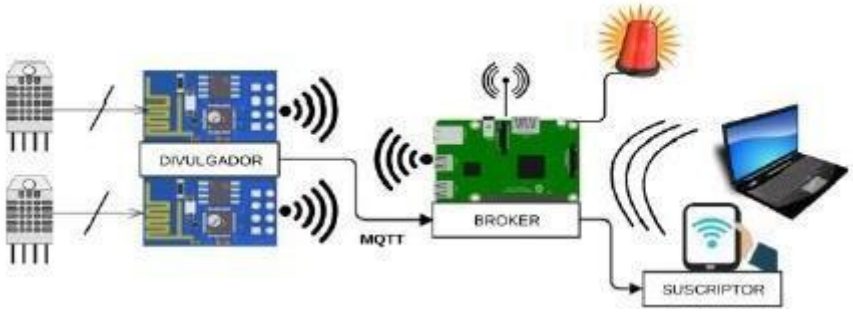


Figura 1 Diagrama de bloques (Fabián Andrés Salamanca-Figueroa, 2017).

A partir de la combinación de control, energía renovable y métodos para contrarrestar las heladas se genera una nueva solución para dicho problema, siendo una mejora tanto en automatización como en la parte energética debido al limitado acceso a la energía eléctrica que pueden presentar ciertos territorios en el campo. Por medio del sistema de control el cual es alimentado con un sistema de energía solar que será el encargado de accionar los aspersores que se activaran cuando la temperatura sea 3°C por encima de la temperatura en la que se presenta la helada, esto con el fin de que plantas o cultivos que sean sensibles no presenten grandes daños (Montoya, 2013).

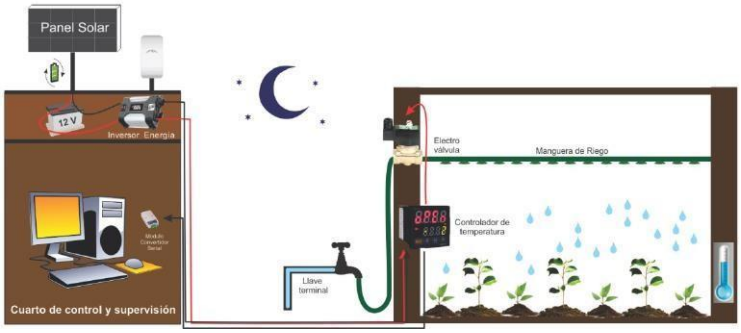


Figura 2 Sistema de control para mitigar heladas (Montoya, 2013).

No solo Colombia es afectado por el fenómeno de las heladas, países como Perú también presentan está situación por lo cual también han tomado medidas para controlar el descenso de las temperaturas, a partir de eso lo que se evalúa es el tipo de helada que se presenta al igual de cómo se mencionaba al principio de este documento, hacen uso de las protecciones activas y pasivas. Por

nombrar una de estas protecciones se encuentran: evitar el laboreo del suelo, el riego, aplicación de calor mediante estufas, ventiladores entre otras. Adicionalmente la observación de tecnologías adecuadas, se establece un análisis global de este tipo de soluciones en el cual los gobiernos hacen parte importante en la solución mediante evaluaciones económicas para la determinación de métodos efectivos y los suministros adecuados como termómetros para el caso de realizar aspersión o emplear ventiladores (Gómez, 2010).



Figura 3 Sistema de camellones (Gómez, 2010).

La imagen anteriormente mostrada pertenece al sistema de camellones, el cual consiste en la elaboración de canales alrededor del cultivo, esto con el fin de aprovechar zonas pantanosas e inundables, al momento de presentarse sequías este sistema es efectivo para reglas la plantación además de presentar buenos resultados en las épocas de heladas (Gómez, 2010).

La presencia de heladas en Latinoamérica se ha afrontado de maneras distintas en cada país, México el cual tiene afectaciones con respecto a este fenómeno, aquejando la producción, la economía y al mismo campesino. A partir del problema generado se busca dar una solución la cual sea asequible tanto medioambiental como económicamente, es por eso que nuevamente se realizan análisis y estudios con técnicas activas principalmente en tres (estufas, ventiladores, aspersores) para contrarrestar el fenómeno de las heladas, tenido en cuenta la eficiencia que cada técnica establece sus pros y sus contras de cada una.

De esta manera combinando diversas técnicas se puede establecer una solución adecuada debido a que estando por separado muestran inconvenientes tales como contaminación, costos elevados en la producción de calor o hasta encharcamientos para el caso de los sistemas de riego. Es así como se establece la combinación de cada técnica mezclado lo mejor de cada una y de esta forma se compensarán fallas haciendo un sistema híbrido con gran eficiencia (Netzahualcóyotl SaucedoMartinez, 2020).



Figura 4 Sistema de estufas (Hydro Environment, 2020).



Figura 5 Sistema anti heladas mediante riego (Hydro Environment, 2020).

4.1.1. Transferencia de calor

La transferencia de calor como ciencia explica la transferencia de energía térmica, esta energía se encuentra en todos los entornos, en este sentido la transferencia de calor es necesaria ya que evalúa la razón de esta, para entender esta ciencia es importante tener en cuenta los mecanismos básicos de la transferencia de calor estos son: la conducción, convección y radiación, teniendo así su estudio primordial en la transferencia de energía de las partículas más energéticas adyacentes a las menos energética, luego está la transferencia de calor entre la superficie sólida, gas o líquido que están en movimiento, finalmente está la energía emitida en forma de ondas electromagnéticas (Yunus A. Cengel, 2011).



Figura 6 Transferencia de calor (Yunus A. Cengel, 2011).

4.1.2. Calor sensible y calor latente

Estos dos conceptos radica de la energía interna (U) el cual se encuentra presente en sistemas térmicos, mecánicos, en energías eléctricas, químicas, nuclear entre otras, U tiene su origen a partir de la actividad molecular y de cómo un entorno puede recibir o ceder calor. De otra forma U es la suma de las energías potencial y cinética de las moléculas, de este modo se presenta el calor de dos formas: calor sensible y calor latente, en donde el primero tiene su función o más bien su presencia como la energía interna de un sistema está asociada a la energía cinética de las moléculas. El calor latente hace referencia a la energía agregada durante un proceso, lo cual contribuye a un cambio de fase conllevando a un nivel de energía interna más alto (Yunus A. Cengel, 2011).

4.1.3. Helada

Es un fenómeno que ocurre en terrenos ubicados a más de 2500 msnm cuando la temperatura disminuye a 0°C o menos a 2 metros sobre el nivel del suelo en las horas de la madrugada. Las heladas ocurren ya que en el transcurso del día las temperaturas son elevadas calentando el terreno y las plantas, permitiendo que este almacene energía calórica. En las horas de la madrugada la temperatura del ambiente desciende y por medio de convección y radiación la energía calórica que estaba presente en el suelo se da al entorno afectando de esta manera los cultivos o plantas presentes en el mismo.

Aspectos importantes como lo son: la variación de temperatura con la altura, inversión de la misma, vapor de agua, suelo y vegetación, viento, entre otras son factores que pueden favorecer o no la presencia de las heladas. Es así que para el caso de la altura la temperatura disminuye alrededor de 0.6°C por cada 100m. Una inversión de temperatura ocurre cuando la superficie de la tierra se enfría rápidamente por medio de radiación, el proceso de conducción también se encuentra presente durante el proceso (IDEAM, 2012).

Dentro de los tipos de heladas se encuentran las de advección, las cuales ocurren cuando grandes corrientes de aire frio vienen de regiones polares y se presentan por varios días en la región, suelen presentarse en altitudes altas y medias, las heladas por radiación están presentes en áreas tropicales en alturas cercanas a los 2500 msnm, ocurren debido a balances de energía negativo es decir, cuando en las horas de la noche se pierde gran cantidad de energía ganada durante el día (IDEAM, 2012).

Para tener un mejor dimensionamiento de cómo ocurren las heladas es necesario establecer la relación térmica que existe en el ambiente y la planta, esto se debe básicamente en la interacción de las temperaturas (T), de los "sistemas" y el calor (Q)m, el cual como se mencionó puede estar presente por medio de convección o radiación. Describiendo de esta manera que para un Q dado y con una entalpía (h) menor, mayor se hace la diferencia de temperaturas en la superficie del pasto y del aire. Para una noche tranquila donde h será pequeña, la temperatura del pasto podrá ser baja dando paso así a las heladas blancas (B.V. Karlekar).

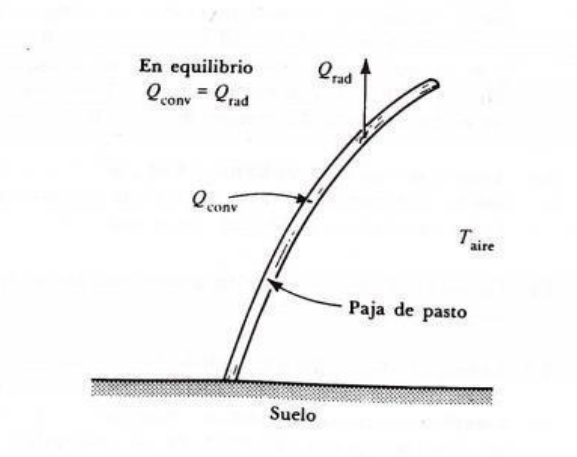


Figura 7 Transferencia de calor ambiente-planta (B.V. Karlekar).

4.1.4. Estufa

Sistema activo para contrarrestar heladas el cual tiene como principio básico la implementación de gasolina u otro combustible que sea capaz de generar calor, a partir de esto lo que busca este sistema es mitigar la pérdida de cultivos por el descenso de la temperatura, buscando así reemplazar las pérdidas de energía. El sistema resulta ser ineficiente debido a que gran parte de la energía calórica generada se pierde en el entorno o genera contaminantes afectando de esta manera el medio ambiente (Snyder & Melo-Abreu, 2010).



Figura 8 (Fascal estufas californianas, s.f.).

4.1.5. Colector solar

El colector solar es un tipo de intercambiador de calor mediante el cual aprovecha la energía solar para calentar un fluido, este usualmente tiene aplicaciones en usos domésticos o residenciales. Existen variedades de colectores entre los que se encuentran: planos y planos de vacío. Teniendo así sus características principalmente en la capacidad de generar o almacenar energía, siendo el primero mencionado capaz de alcanzar los 100°C, para el segundo mencionado este presenta una mayor capacidad de captación energética alcanzando los 120°C, de esta manera cada colector tiene sus ventajas y desventajas la cuales radican principalmente en costos de cada uno (Fernández, 2008).

Otro tipo de colector solar a analizar es el colector solar parabólico, consta de un radio el cual permite dependiendo de su configuración establecer la concentración de energía a captar, estos tipos de colectores se emplean cuando se necesitan temperaturas de trabajo elevadas, para hacer esto posible se reduce el área de la zona en la cual se produce pérdidas térmicas, a través de la implementación de un sistema óptico el cual se interpone entre la fuente de radiación solar y el sistema absolvedor, permite una mayor colección de energía solar (Leal, 2011).

La imagen presentada a continuación ilustrara el colector solar parabólico.

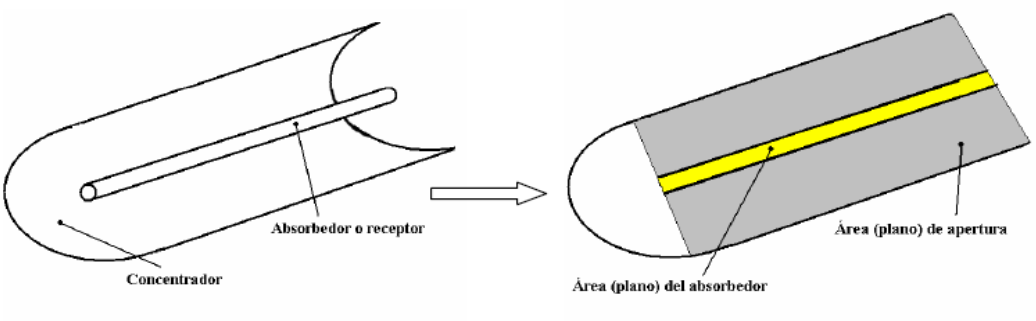


Figura 9 Colector solar parabólico (Leal, 2011).

4.1.6. Panel fotovoltaico

La implementación de módulos fotovoltaicos en la actualidad a representado una gran ventaja debido a la baja contaminación, emisiones casi nulas de CO_2, e instalaciones en diversos campos como el hogar. Los paneles fotovoltaicos son componentes que permiten transformar la radiación solar en energía eléctrica, esto gracias a la implementación de células fotovoltaicas que están fabricadas a partir de materiales semiconductores que están conectadas eléctricamente, las configuraciones para estos componentes pueden estar en paralelo o en serie con el fin de aumentar la potencia o la corriente formando de esta manera el modulo (Ávila, 2017).

Dentro de los sistemas fotovoltaicos se encentran aquellos que son capases de funcionar de manera autónoma, estos pueden tener o no almacenamiento de energía, dependiendo de las necesidades, lo que proporciona una gran ventaja en zonas sin acceso a red eléctricas denominándose sistemas aislados; los sistemas de conexión a la red no necesitan de acumuladores ya que funcionan en horas del día, y se alternan mediante seguimiento a la red eléctrica; los sistemas híbridos están conectados a una fuente secundaria o sistema de generación eléctrico secundarios (Cardona, 2018).

4.1.7. Energía solar y aprovechamiento

El sol como estrella principal de nuestro sistema solar forma parte de la energía del planeta, actuando en la evaporación de agua para el trasporte de la misma y generando lluvias, el ciclo de la fotosíntesis como lo es para el caso de las plantas entre otros. La estrella produce cerca de 3,8 x 10^{23} kW en reacciones nucleares, de las cuales solo llega a la tierra alrededor de 1,73 x 10^{6} kW, siendo suficiente para suplir gran cantidad de actividades (agricultura, demanda energética, etc.). Es así que para los años comprendidos 2012-2016 se presentan el territorio colombiano 46 proyectos relacionados con energía solar generando aproximadamente 589,92 MW (Cardona, 2018).

4.2. Marco legal

Para que las instalaciones de energias renovables no convencionales en el país puedan realizarse de manera adecuada, es necesario cumplir con la siguiente normatividad:

- Resolución MinAmbiente 1283 de 8 agosto de 2016 "Por la cual se establece el procedimiento y requisitos para la expedición de la certificación de beneficio ambiental por nuevas inversiones en proyectos de fuentes no convencionales de energías renovables - FNCER y gestión eficiente de la energía, para obtener los beneficios tributarios de que tratan los artículos 11, 12, 13 y 14 de la Ley 1715 de 2014 y se adoptan otras determinaciones"

- Resolución MinAmbiente 1312 de 11 agosto de 2016 "Por la cual se adoptan los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA, requerido para el trámite de la licencia ambiental de proyectos de uso de fuentes de energía eólica continental y se toman otras determinaciones"

- Ley 1715 de 2014 "Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional."

- Resolución UPME 0281 de 2015 "Por la cual se define el límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala"

- Decreto 1623 de 2015 "Por el cual se modifica y adiciona el Decreto 1073 de 2015, en lo que respecta al establecimiento de los lineamientos de política para la expansión de la cobertura del servicio de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional y en las Zonas No Interconectadas"

- Decreto 2143 de 2015 "Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, 1073 de 2015, en lo relacionado con la definición de los lineamientos para la aplicación de los incentivos establecidos en el Capítulo III de la Ley 1715 de 2014."

La información anterior fue extraída de (Solargreen, s.f.)

5. Caracterización del municipio de Saboya Boyacá

El municipio de Saboya está ubicado al occidente de Boyacá, situado astronómicamente a 5°42´03" latitud norte y 73°63´08" de longitud oeste, limitando con el departamento de Santander al norte, y con los municipio de santa Sofía, Sutamarchán, Chiquinquirá y Briceño estos al este, sur y oeste respectivamente. Caracterizado por su terreno mayormente montañoso, con una extensión de terreno de 251 Km^2 a una altura de 2625 msnm a 82 Km de Tunja y 132 Km de Bogotá contando con una temperatura de 14°C (Beltran, 2013).

Este municipio se caracteriza debido a que su economía proviene mayormente del sector primario en donde el 64% de los cultivos son de papa el 26% maíz y el 10% restante hace parte de la ganadería el cual es destinado para la actividad bovina doble propósito, ovino, porcino y especies menores, para esto cerca del 31,3% del municipio está cubierto en pastos (7723Ha). Su terreno se caracteriza por alternancia de areniscas y lutitas conglomeráticas con recubrimiento de cenizas volcánicas. Gran parte de las laderas son suaves y largas con pendientes ligeramente inclinadas.



Figura 10 Ubicación municipio de Saboya (Duffo, s.f.).

5.1. Riesgos ambientales

Saboya es característico por su clima húmedo y su ubicación montañosa pero esto no es suficiente para prevenirlo en riesgos, puesto que están latentes en cualquier entorno, uno de ellos es el riesgo de incendio, presentes en pastos secos, viviendas rurales, ubicaciones de gasolineras. En el ámbito rural no solo las viviendas influyen, también lo hace sus mismos habitantes, ya que utilizan fogones de leña al momento de preparar sus alimentos. Las sequías suelen presentarse en este municipio pese a ser una región con un clima frío, esta situación suele ocurrir en los meses de enero y marzo y el periodo de julio y agosto debido a que están comprendidos cómo verano lo cual afecta en gran manera a las áreas urbanas y rurales (Beltran, 2013).

Las heladas y las inundaciones son riesgos presentes en la región, el primero se debe a su presencia para el mes de enero y mediados de febrero; para las zonas que presentan mayor riesgo de inundación se hace énfasis en la población ubicada en las cercanías al río Suarez como es el caso de centro poblado de Garavito al encontrarse ubicado sobre la Riviera de este río (Beltran, 2013).

5.1.1. Clima

La región de Saboya se caracteriza por tener un clima relativamente frío con una temperatura promedio de 14°C haciéndola poseedora de tres tipos de clima característico; superhúmedo (A) en este tipo de clima se encuentra ubicadas las veredas de pantanos, molinos, puente de tierra, Tibista, Escobal, muy húmedo (B4), y sus veredas Merchan, mata de mora, Velandia y monte de luz. Finalmente se encuentra el clima húmedo (B3) donde se ubica una pequeña parte de la vereda de Merchan (Beltran, 2013).

5.1.2. Temperatura

En general la región se caracteriza por tener veranos cortos e inviernos largos, en donde la temperatura varía entre los 6°C a 18°C presentándose rara vez aumentó hasta los 21°C o descensos hasta los 2°C. La temperatura a lo largo de los meses de enero y mediados de marzo en esta época del año el clima es templado (7°C - 18°C), para los meses de junio hasta noviembre se establece una temporada fresca en donde la temperatura promedio más baja es menor a 17°C (Weather Spark, s.f.).

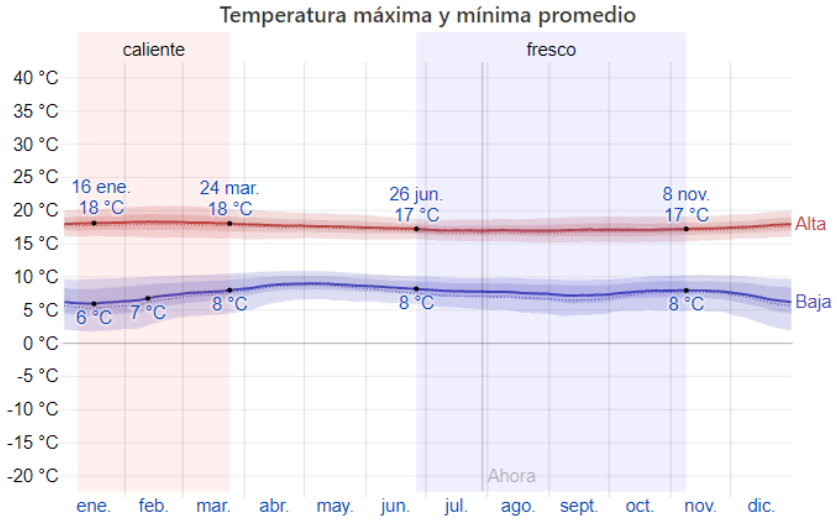


Figura 11 Temperatura promedio (Weather Spark, s.f.).

En la gráfica anterior se establece lo mencionado anteriormente en donde la línea de color rojo establece temperatura máxima y la línea azul establece la tempera mínima correspondientes, es así como la máxima temperatura se registra en el periodo de meses de enero a marzo y la mínima se establece para enero.

5.1.3. Nubosidad

El municipio de Saboya se caracteriza por permanecer la mayor parte del año nublado aunque esto varía dependiendo del mes en que se encuentre. Es así que los meses comprendidos entre el 6 de junio y 18 de septiembre se establecen como la parte despejada; para esta época del año el 24% es parcialmente nublado y el 76% nublado o mayormente nublado. Para los periodos después del 18 de septiembre hasta el 6 de junio los valores corresponden a 93% mayormente nublado y un 7% parcialmente nublado (Weather Spark, s.f.).

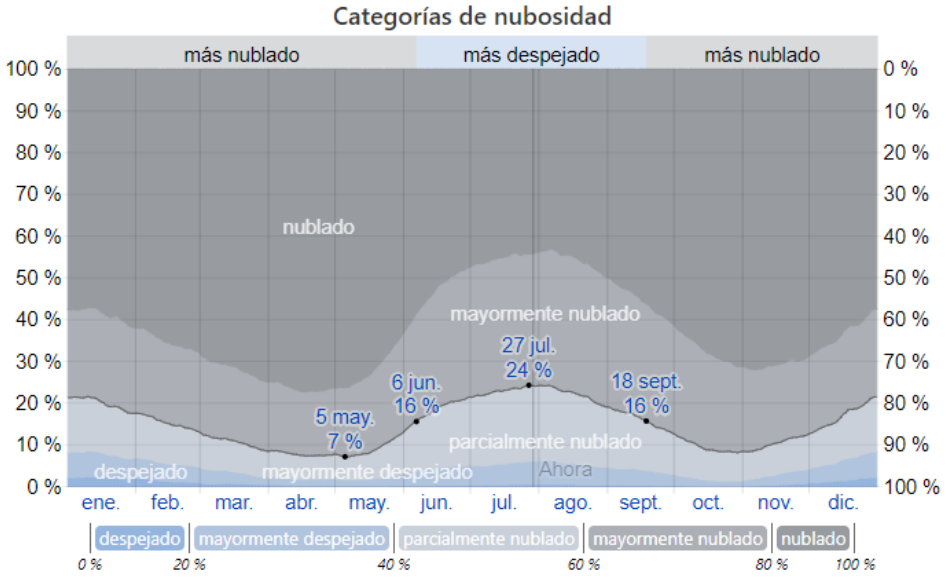


Figura 12 Nubosidad de Saboya (Weather Spark, s.f.).

5.1.4. Precipitaciones y lluvia

El territorio de Saboya presenta variaciones en cuanto a sus precipitaciones, de este modo se establecen los meses en que se presenta mayor probabilidad de estas, siendo abril y octubre con un porcentaje del 80%; es así como la temporada más húmeda se comprende entre los meses de marzo a diciembre con un 54% (Weather Spark, s.f.)

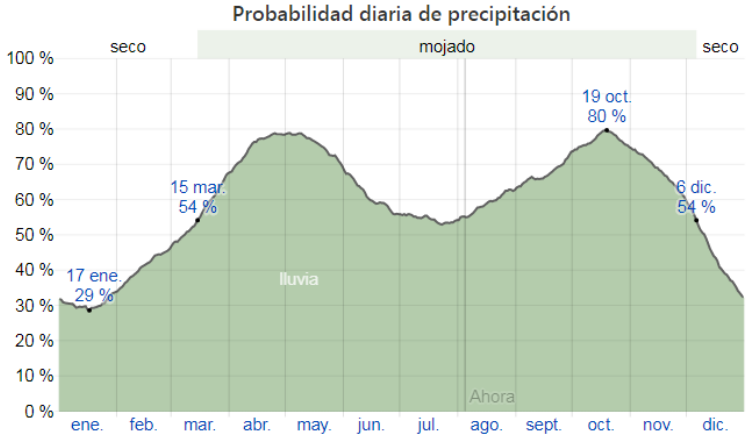


Figura 13 Precipitaciones (Weather Spark, s.f.).

La ilustración anterior establece el mes en el cual se presenta mayor cantidad de precipitaciones, siendo así el mes de octubre, más precisamente el 19 de este mes en comparación con los meses de enero y marzo.

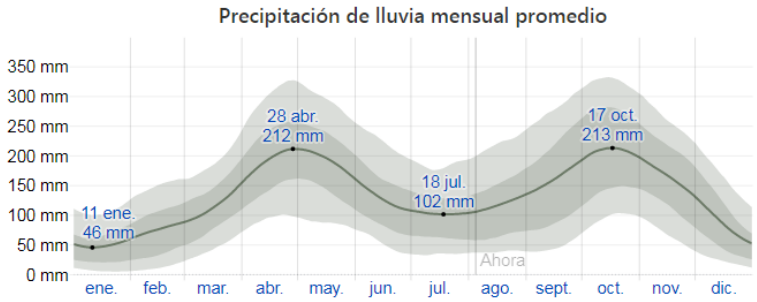


Figura 14 Precipitaciones (Weather Spark, s.f.).

Lo anteriormente mostrado establece el promedio de lluvias mensuales a lo largo del año confirmando de esta manera que el mes de octubre precisamente el día en que se presentó más acumulación de lluvia en milímetros (mm) pertenece al 17 de octubre con 213 mm contrario al 11 de enero que cuenta con un acumulado de 46mm.

5.1.5. Sol y energía solar

Para el aprovechamiento de la energía solar hay que tener en cuenta la duración del día, es por eso la siguiente gráfica muestra la duración anual de la luz natural, dando a conocer el día con más duración y el de menor duración.

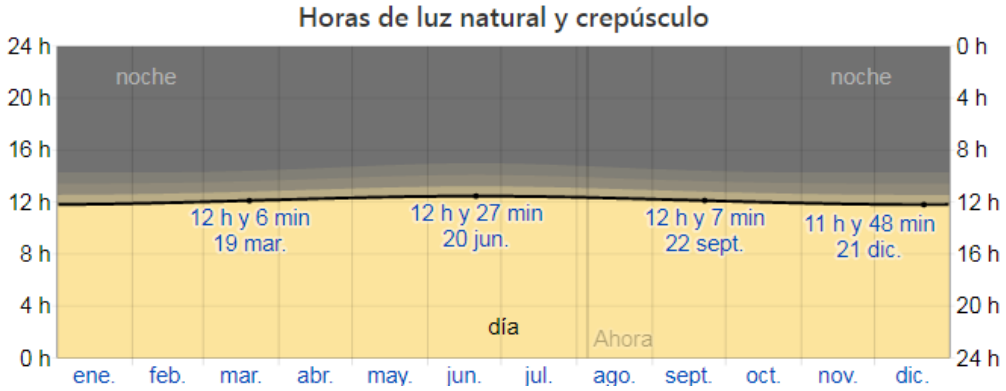


Figura 15 Luz día (Weather Spark, s.f.).

Es así como el día en que se presenta el mayor tiempo de luz natural es el 20 de junio con un total de 12h y 27 min contrario para el 21 de diciembre el cual cuenta con 11h y 48 min.

Para la radiación se establece el estudio de energía solar de onda corta que incide sobre la superficie de la tierra teniendo en cuenta factores tales como: duración del día, absorción de las nubes, además de radiación de onda corta visible y radiación ultravioleta.

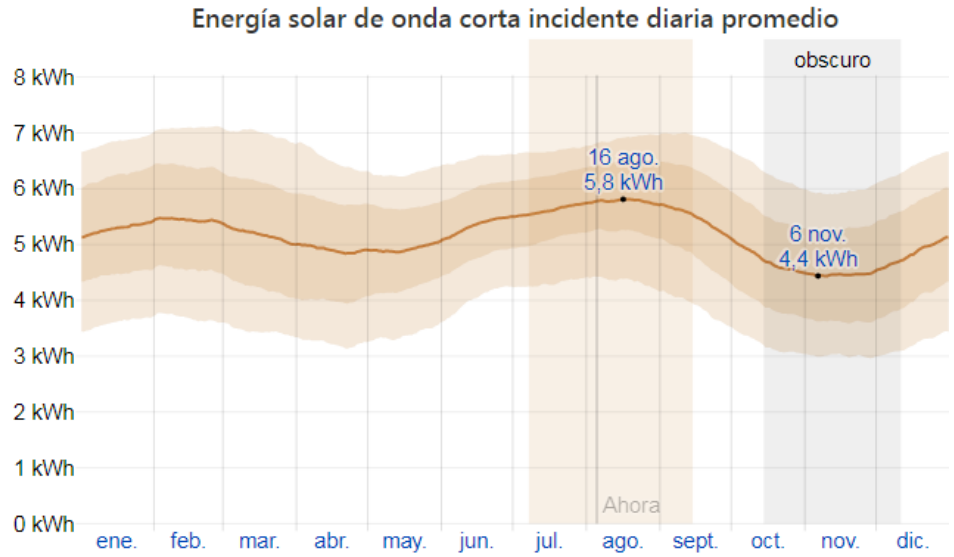


Figura 16 Energía solar (Weather Spark, s.f.).

Teniendo en cuenta lo mencionado para la época en la cual se presentan las heladas (enero-marzo) la energía solar que se obtiene para este periodo es de aproximadamente 5,5Kwh que a diferencia del 16 de agosto tiene un valor de 2,8 Kwh, lo cual no es una gran variación de energía para esta época y para todo el año, a diferencia del periodo comprendido entre octubre y diciembre cuyos valores están por debajo de los 5kwh.

5.2. Condiciones climáticas en época de heladas

El aprovechamiento de energía solar para la época de heladas (enero-marzo) las condiciones climáticas no suelen variar mucho en comparación con los demás meses del año a excepción de las precipitaciones figura 14, ya que para los meses de abril y octubre los valores en estas aumentan, la nubosidad figura 12 por otra parte, presenta un alto porcentaje para los meses comprendidos entre junio y parte de septiembre, estos factores junto con la radiación incidente pueden afectar o no en la captación de energía.

Las siguientes gráficas comprenden el periodo en el que se presentan las heladas, las cuales muestran la cantidad de radiación y las temperaturas máximas y mínimas durante el día.

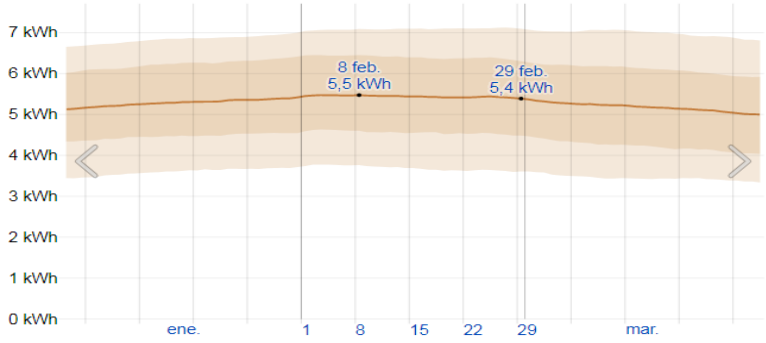


Figura 17 Energía solar periodo de heladas (Weather Spark, s.f.).

En el periodo de enero a marzo la cantidad de energía solar generada tiene un valor máximo de 5,5 KWh y un valor mínimo cercano a los 5 KWh, en comparación con los valores expresados en la figura 16 los valores no varían en gran medida al valor máximo mostrado en la figura.

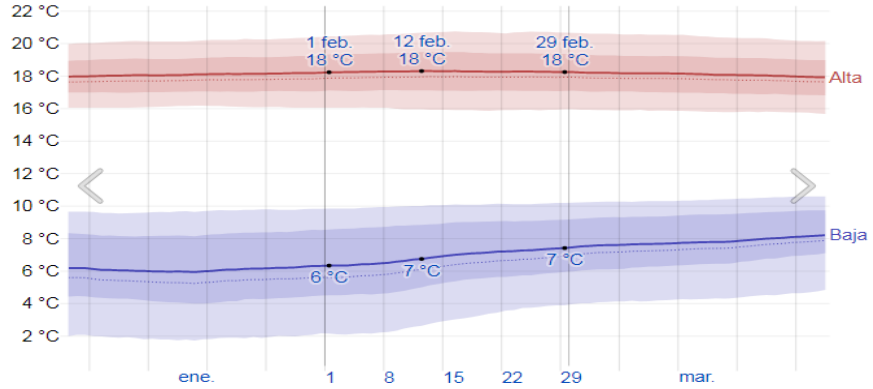


Figura 18 Temperatura periodo de heladas (Weather Spark, s.f.).

En comparación con la figura 11 la temperatura máxima durante el año se mantiene en un rango de entre en 17 y 18°C, a diferencia de la temperatura mínima en donde el periodo comprendido de enero-marzo varía entre más o menos 6-7°C permitiendo la presencia de las heladas, en comparación con el resto del año donde la mínima se encuentra alrededor de los 8°C.

5.3. Recurso hídrico

La mayor parte del recurso hídrico en la región proviene de precipitaciones esto determinado a partir de estimaciones hechas en las cuencas hidrográficas ubicadas en el municipio, permitiendo suplir las necesidades de la población. Factores como altas pendientes de los causes, distancias cortas de los mismos, perpendicularidad de los causes con el rio Suarez, malas prácticas agrícolas efectuadas en la región junto con la eliminación de la vegetación nativa en los páramos hace que la evacuación de líquido superficial y volúmenes aprovechables disminuya (CMGRD, 2012).

5.4. Radiación solar

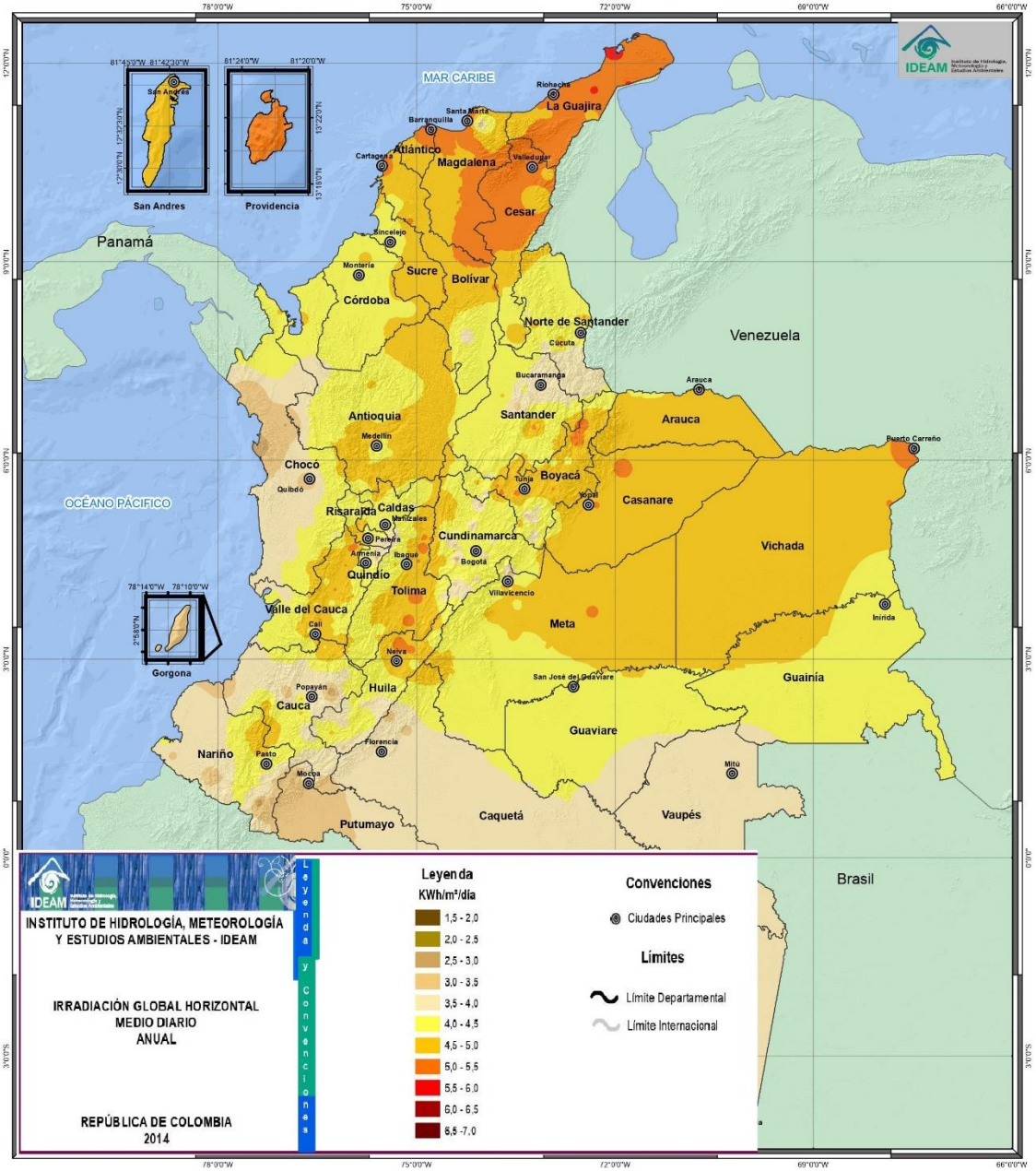


Figura 19 Mapa de radiación solar multianual (IDEAM, 2014).

En la figura anterior se establece el promedio anual diario de radiación solar en Colombia para el año 2014, los valores de dicha radiación están identificados con colores y valores numéricos los cuales varían del marrón a vino tinto y 1,5 a 7,0 (KWh/m^2) respectivamente. Para la región de interés (Boyacá) los valores de radiación predominante esta entre 4,5-5,0 (KWh/m^2), se observa también valores de radiación de 3,5-4,0 (KWh/m^2) en limitaciones con el departamento de Cundinamarca.

6. Propuesta de diseño

Para establecer el diseño adecuado es necesario evaluar varias propuestas, donde cada una tendrá su descripción de funcionamiento y componentes a implementar, de esta manera se tendrá una mejor visión a lo que se quiere llegar comparando cada modelo con sus respectivas características, ventajas y desventajas. El resultado final se dará a partir de la evaluación hecha en una tabla de decisión la cual evaluara los factores más representativos.

Algunos de los métodos para contrarrestar las heladas ya han sido mencionados al inicio del documento, con el fin de tener bases sólidas para cada propuesta. Es necesario indicar y recordar estas alternativas además de nombrar otras que han podido combatir este fenómeno de una manera satisfactoria.

Dentro de las soluciones implementadas se encuentran los calefactores, estos pueden ser fijos o móviles, los primeros en mención tienen como fuente principal de combustible petróleo u otro medio de combustión. Para el caso de los calentadores móviles la diferencia radica en como su nombre lo indica se pueden desplazar de un lado a otro y la fuente principal de combustible es el gas licuado (B, G, & P., 2008).

Los ventiladores han representado una gran solución en el control de heladas, debido a que mezclan el aire caliente situado en las alturas (10 y 20 m) con el de la superficie la cual se encuentra a una temperatura muy inferior. Dentro de los tipos de ventiladores más utilizados se encuentran de eje horizontal y eje vertical, donde la diferencia radica en el consumo energético, área abarcada y la forma de mezclar o extraer el aire de menor temperatura (B, G, & P., 2008).

Las propuestas presentadas a continuación emplean los fundamentos de los sistemas descritos a lo largo del documento buscando la solución más efectiva al problema planteado.

6.1.1. Propuesta 1 Sistema agua caliente en tubería y calentamiento de aire por convección libre.

A través del aprovechamiento de energía solar mediante la implementación de colectores solares, se establecerá el sistema de distribución de energía calórica el cual tendrá como fin principal la transferencia de calor por medio de convección libre, el sistema en principio estará compuesto por un colector de placa plana o cóncavo (de media temperatura), dependiendo el rendimiento y la funcionalidad de cada uno, también contará con almacenamiento y distribución esto para garantizar la circulación del fluido, adicionalmente la implementación de celdas fotovoltaicas proporcionarán energía para el sistema de bombeo y la conservación de energía calórica para ser empleada al momento de realizar la implementación.

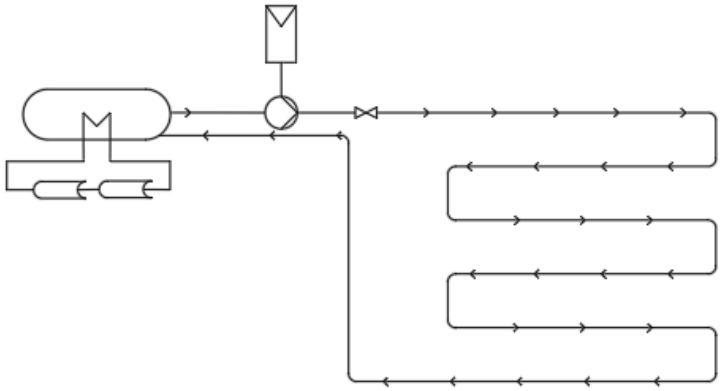


Figura 20 Propuesta 1. Sistema Agua caliente en tubería y calentamiento de aire por convección libre. (Elaboración propia).

El esquema anterior muestra de manera básica la distribución del sistema, en donde la aplicación hace referencia a la hectárea de cultivo, a su vez el panel solar proporcionará energía a la bomba para hacerlo autosuficiente.

6.1.2. Propuesta 2 Sistema agua caliente en tubería y calentamiento de aire con ventilador de hélices.

En diversos cultivos han sido implementados sistemas de hélice, los cuales constan de la mezcla de aire caliente encontrado en una altura aproximada de 1.5m con el aire frío del suelo, permitiendo de esta manera proteger los cultivos. Basados en este principio y con el fin de emplear energías renovables, se decide reemplazar la alimentación eléctrica convencional (plantas, red eléctrica) por paneles solares, de esta manera es necesario el cálculo de cantidad de paneles y el espacio que podría ocupar los accesorios a implementar.

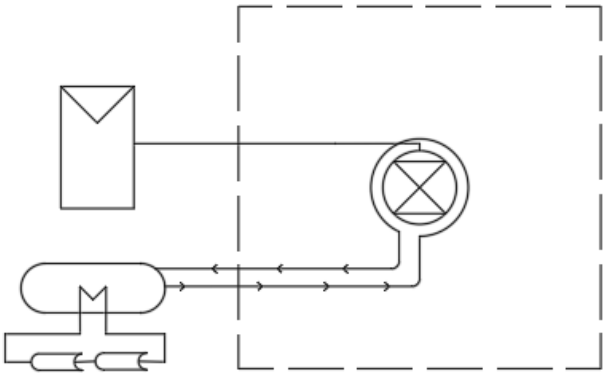


Figura 21 Propuesta 2. Sistema Agua caliente en tubería y calentamiento de aire con ventilador de hélices. (Elaboración propia).

Lo anteriormente mostrado (propuesta 2) determina la disposición del ventilador siendo la más adecuada para abarcar toda el área a analizar, el cuadro con interlineado representa la hectárea de cultivo, con esto se podrá determinar el área adicional que ocupara el sistema de alimentación y el mismo ventilador.

6.1.3. Propuesta 3 Sistema agua caliente e intercambiador de calor de tubos con aleta.

Con la transformación de energía solar en calorífica se busca la solución para las heladas, implementando ventiladores, colectores solares, y mecanismos que puedan hacer un uso eficiente de los recursos, se establece la creación de un sistema autónomo el cual brinde de una manera efectiva a lo mencionado anteriormente, es por eso que una opción a evaluar es mediante la distribución de aire caliente, con el fin de disminuir la quema efectuadas con estufas. Se analiza la transferencia de calor por medio de convección.

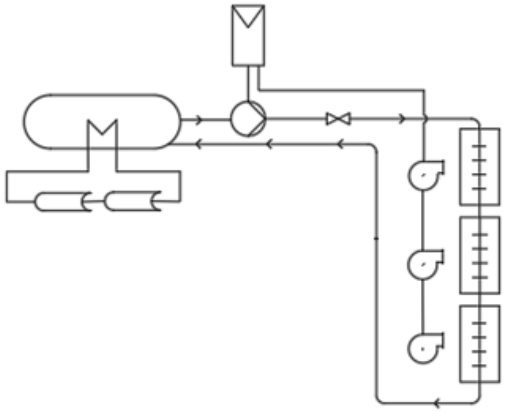


Figura 22 Propuesta 3. Sistema Agua caliente e intercambiador de calor de tubos con aleta. (Elaboración propia).

Como se muestra en la figura, se establece la implementación de un colector solar, el cual será el encargado del almacenamiento del fluido a calentar, este se encargará de circular a través de tuberías que pasan por un ventilador, que a su vez y mediante convección llevará aire caliente al punto de aplicación. Adicionalmente el sistema contará con paneles solares, esto con el fin de aprovechar al máximo la energía solar suministrada durante el día.

6.1.4. Propuesta 4 Sistema de riego con agua caliente.

A partir de la implementación de sistemas de riego los cuales estarán alimentados e impulsados con bombas que recibirán energía eléctrica producida por paneles solares y a su vez contará con sistemas de almacenamiento (baterías), tanques de almacenamiento para el fluido el cual permitirá la conservación de energía y líquido hasta el momento de aplicación, se definirá dicho sistema de la siguiente manera:

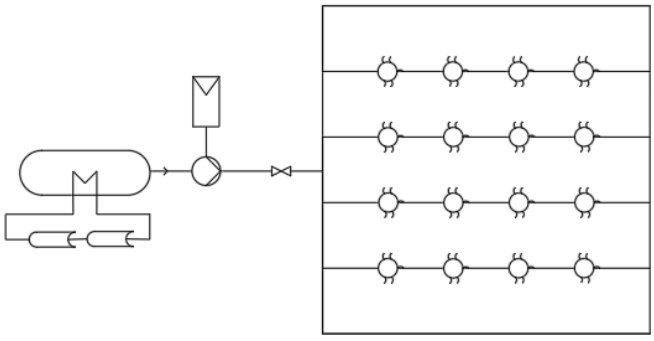


Figura 23 Propuesta 4. Sistema de riego con agua caliente. (Elaboración propia).

La figura 23 muestra la distribución del sistema, donde se establece de manera tentativa la disposición de los elementos (bombas, válvulas, colector, paneles, etc).

6.2. Selección de propuesta

Para la selección de la propuesta más idónea se establecieron una serie de tablas en donde se muestran las debilidades y fortalezas de cada propuesta, estas fueron construidas a partir del material previamente consultado además, de esta manera se tomaron consideraciones como costos, consumo de energía, entre otros. Las siguientes tablas muestran las consideraciones a tener en cuenta.

Propuesta 1. Sist. De tuberías por convección libre	
Ventajas	**Desventajas**
- Abarca gran área del cultivo para el intercambio de calor. - Emplea energías renovables. - Fluido reutilizado.	- Gran cantidad de accesorios como: tuberías, colectores, paneles, y accesorios. - Poca transferencia de calor al entorno. - Puede ocupar gran cantidad de espacio solo en la instalación de paneles colectores. - La tubería puede presentar daño con el paso del tiempo por tránsito de camiones y/o personas.

Tabla 1 Propuesta 1, ventajas y desventajas (Elaboración propia).

Propuesta 2. Sist. De hélices alimentado con paneles solares	
Ventajas	**Desventajas**
- Abarca gran área del cultivo. - Emplea espacio moderadamente pequeño. - solo es necesario la implementación de un equipo. - Emplea energías alternativas. - Mejor transferencia de calor en el entorno. - Fluido reutilizado.	- Puede tener gran consumo de energía. - El costo de las hélices y paneles pude ser elevado.

Tabla 2 Propuesta 2, ventajas y desventajas (Elaboración propia).

Propuesta 3. Sist. Intercambiador de tubos de aleta	
Ventajas	**Desventajas**
- Mayor área de intercambio de calor. - Alimentación de energía con fuentes renovables. - Fluido reutilizado.	- Costos elevados en accesorios y piezas. - Consumo energético elevado. - El espacio paneles, accesorios, y demás componentes puede ser extenso.

Tabla 3 Propuesta 3, ventajas y desventajas (Elaboración propia).

Propuesta 4. Sist. De riego	
Ventajas	**Desventajas**
- Bajo consumo de energía. - Alimentación de energía con fuentes renovables. - Implementa un solo fluido. - Mayor Protección al cultivo frente a las heladas.	- El fluido aplicado no es reutilizable.

Tabla 4 Propuesta 4, ventajas y desventajas (Elaboración propia).

Las tablas muestran las propuestas 2 y 4 como las más viables a diseñar debido a las características que pueden presentar en términos de consumo energético, ocupación de espacios y equipos a implementar. Una manera más acertada para la selección de la propuesta es mediante la matriz de selección, donde se califican los factores más importantes como lo son: inversión inicial, consumo energético, entre otras, de esta manera se darán calificaciones del 1 a 4 siendo 1 lo menos conveniente y 4 lo más adecuado.

Para elaborar la matriz de selección se debe tener en cuenta la priorización de las variables, es decir aquellas que presentan más rentabilidad o beneficio para un determinado proyecto, uno de los factores tenidos en cuenta para la elección de la propuesta es el costo de inversión inicial debido a que un componente como la tubería no tendrá el mismo valor a un intercambiador o ventilador, cuyos precios serán más elevados. Es así como las opción o propuesta con mayor puntuación será la más viable o beneficiosa de implementar (Martín, 2018).

	Propuesta 1. Sist. Tuberías por conv. Libre	**Propuesta 2. Sist. De hélices**	**Propuesta 3. Intercambiador de tubos de aleta**	**Propuesta 4. Sist. De riego**
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 5 Matriz de selección (Elaboración propia).

Como resultado se determina la propuesta 4 más adecuada para el diseño de detalle, donde los factores decisivos fueron el mantenimiento, costo de inversión inicial, así como el consumo eléctrico y térmico, debido que para la propuesta 2 se requieren grandes cantidades de energía eléctrica para mover las hélices. Cabe resaltar que al implementar una fuente de calor como se describe en la propuesta esta no conservara la energía el tiempo requerido.

7. Diseño de detalle

En este apartado y con base a los resultados obtenidos se desarrolla el diseño de detalle del sistema a implementar tomando como base los libros "Transferencia de calor y masa" de Yanus A. Cengel", "Mecánica de fluidos" de Robert L. Mott y "El riego por aspersión: Diseño y funcionamiento" de José María Tajuelo. Se establecen los cálculos necesarios para determinar potencia en la bomba, distanciamientos entre aspersores y demás equipos para el adecuado funcionamiento del sistema.

El sistema de riego seleccionado se denomina pulsar el cual hace un uso eficiente del fluido (agua). Este elemento es un pulsador de presión compensada el cual proporciona pequeñas cantidades de líquido en grandes área, este sistema es idóneo para campos abiertos y cultivos de gran tamaño, el flujo que maneja estos mecanismos oscilan entre 8, 12,15 y 20 L/h para el caso de un solo dispositivo y de 15m^3/h para un área de una hectárea (TRAXCO, 2018).

7.1.1. Esquema de distribución de válvulas

Para el diseño del sistema es necesario establecer la cantidad de ramales que derivaran de la tubería principal, la cantidad de válvulas a implementar como datos iniciales. Para conocer caudales de operación, presión en la salida de la válvula, distancia de chorro y otras características es necesario acudir a la ficha técnica del producto (ver Anexo A y B).

7.1.2. Diámetro efectivo de mojado y distanciamiento entre válvulas

Con el fin de determinar la cantidad de válvulas y disposición de las mismas el libro "El riego por aspersión: diseño y funcionamiento" de José María Tarjuelo brindara las pautas y la metodología para establecer el adecuado distanciamiento de cada aspersor en el sistema de riego.

Para el espaciamiento entre aspersores se debe tener en cuenta el diámetro efectivo, siendo el 95% de diámetro de mojado para aspersores de dos salidas y del 90% para una sola, las separaciones de cada elemento están definidas por el tipo de marco a implementar pudiendo ser cuadrado, triangular o rectangular con 60%, 40% y 75% respectivamente del diámetro efectivo para vientos menores a 2 m/s (Tarjuelo, 1991).

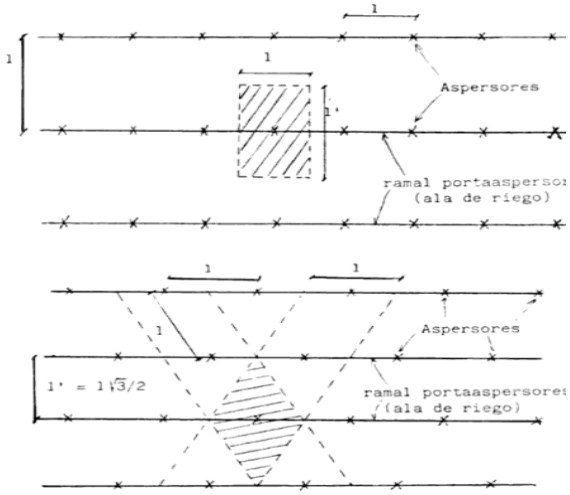


Figura 24 Disposición de marcos (Tarjuelo, 1991)

Según lo establecido anteriormente y con base a la ficha técnica del producto (Anexo B), se selecciona un caudal de 25 l/h, un diámetro de mojado de 6 metros, para una presión en la entrada de regulador de flujo de 2,5 BAR además de una salida en el aspersor y marco rectangular se obtiene:

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

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

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

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

Con la información obtenida se determina un sistema fijo aéreo, siendo sus principales recomendaciones:

- El material de la tubería principal y secundaria PVC, alas de riego de polietileno de alta densidad que conectaran dos o tres aspersores mediante collarín de la tubería secundaria.

- Para disminuir diferencias de presión de los laterales, se recomienda ser ubicadas siguiendo las curvas de nivel o ligeramente descendente con el fin de evitar pérdidas de carga.

- Situar alas o laterales paralelamente a los lindes de la parcela con el fin de garantizar u sistema más regular.

- La tubería en las alas de riego normalmente son de pequeño diámetro (32 mm)

Calculada la separación o distancia entre aspersores se determina la cantidad de aletas o laterales necesarias para 1 hectárea por lo que se toma la distancia de uno de los lados del terreno (100 m) dando como resultado:

$$Número\ laterales = \frac{100\ m}{4\ m} = 25 \quad (3)$$

Determinando la cantidad de aspersores necesarios, se toma el número de laterales los cuales están separados para garantizar el mojado de las plantas y se multiplica por el mismo valor teniendo como resultado:

$$Aspersores\ necesarios = 25 * 25 = 625 \quad (4)$$

Estos elementos estarán situados por todo el terreno con una distancia entre ellos de 4 metros como se mencionó anteriormente, siendo su disposición así:

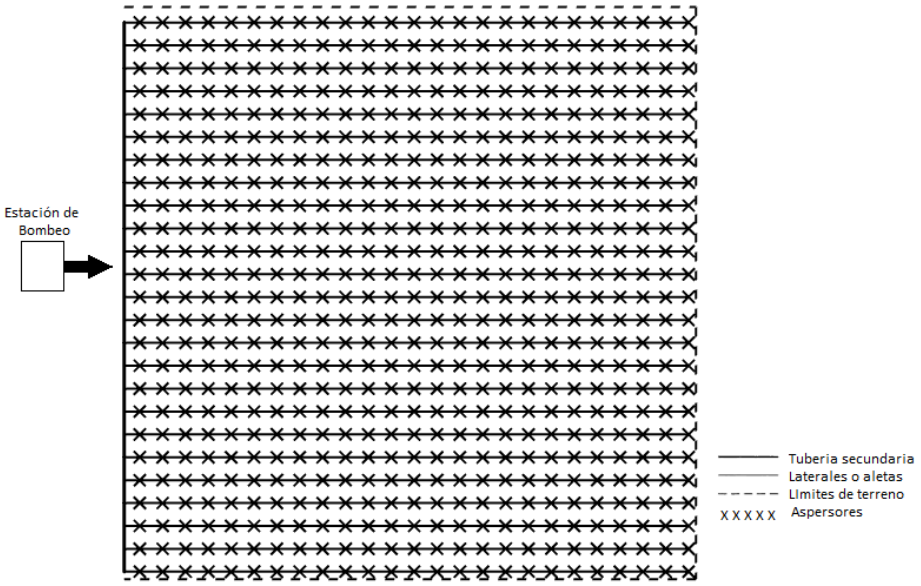


Figura 25 Disposición aspersores (Elaboración propia).

7.2.1. Cálculo de bomba

Para el dimensionamiento de la bomba es necesario determinar los valores correspondientes de la ecuación de energía, donde se calcularan las pérdidas de energía por fricción en las tuberías o perdidas menores (hl), la carga total sobre la bomba (ha), además de cargas por presión, elevación y velocidad de esta manera:

$$\frac{P_A}{\gamma} + Z_A + \frac{v^2{}_A}{2g} + ha - hL = \frac{P_B}{\gamma} + Z_B + \frac{v^2{}_B}{2g} \quad (5)$$

Donde:

- P = Presión según el punto
- γ = Peso específico.
- Z = Elevación según el punto
- v = Velocidad del fluido.
- g = Gravedad.
- ha= Carga total sobre la bomba.
- hL= Perdidas de energía por fricción en las tuberías o perdidas menores.

Teniendo en cuenta lo anterior se establece el diagrama de distribución de los componentes donde se muestra la vista lateral del sistema de riego, se observan algunos componentes con el fin de establecer una guía para el cálculo de pérdidas, y demás términos involucrados en la ecuación.

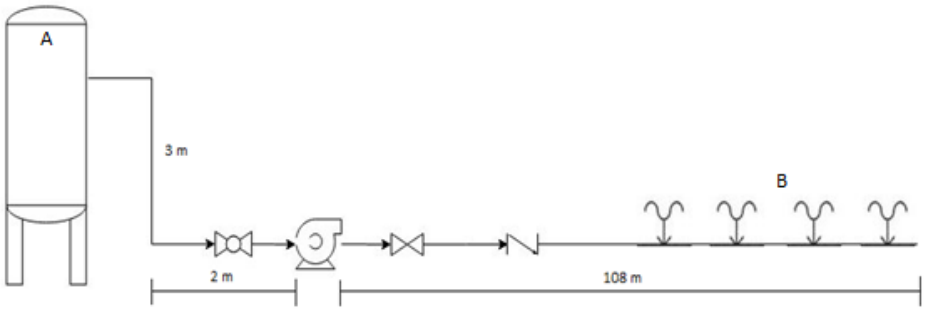


Figura 26 Dimensiones generales Sist de riego. (Elaboración propia).

Ya que no se dispone de valores de tuberías es necesario calcularlos con los datos que se tienen, asumiendo valores de velocidades del libro "Mecánica de fluidos" de ROBERT MOTT para la succión y la descarga se obtiene:

$$Q = v * A \tag{6}$$

Donde:

- Q = Caudal
- A = Área de la tubería
- v = Velocidad del fluido

La ecuación para determinar el área:

$$A = \frac{\pi}{4} * D^2 \tag{7}$$

Donde:

- D = Diámetro de la tubería

Entonces D se obtiene de la ecuación (6) y (7) así:

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * v}} \tag{8}$$

Para la tubería de succión se tiene un flujo de 15 m^3/h y se asume una velocidad de 0,9 m/s para la misma obteniendo:

$$D = \sqrt{\frac{4 * \frac{15\ {}^{m^3}/_{h}}{3600\ s}}{\pi * 0{,}9\ {}^{m}/_{s}}} * \frac{1000\ mm}{1\ m} = 76{,}77\ mm$$

En la tubería de descarga el flujo será igual de la succión 15 m^3/h con una velocidad de 2 m/s obteniendo:

$$D = \sqrt{\frac{4 * \frac{15\ {}^{m^3}/_{h}}{3600\ s}}{\pi * 2\ {}^{m}/_{s}}} * \frac{1000\ mm}{1\ m} = 51{,}51\ mm$$

Con un diámetro de 76,77 mm para la succión y 51,51 mm en la descarga se aproximan a los diámetros de tubería comerciales para luego recalcular la velocidad despejándola de la ecuación (5) y reemplazando el valor de A por la ecuación (6) se obtiene:

$$v = \frac{Q}{(\frac{\pi}{4} * D^2)} \tag{9}$$

Es así que la tubería comercial para la succión y descarga su diámetro interior corresponde a 82,04 mm (3 in), 55,7 mm (2 in), siendo sus valores de velocidad corregida de 0,79 m/s y 1, 71 m/s correspondientemente.

7.2.2. Cálculo de hL

Para el cálculo de hL es necesario determinar el número de Reynolds (Re), la rugosidad relativa (D/ε) de esta manera se hallara el factor de fricción de DARCY (f), adicionalmente se debe contar con el coeficiente de resistencia (K) de los accesorios implementados.

$$Re = \frac{v\ * D *\ \rho}{\eta} \tag{10}$$

Donde:

- Re = Número de Reynolds.
- v = Velocidad del fluido.
- D = Diámetro de tubería.
- ρ = Densidad del fluido.
- η = Viscosidad Dinámica.

Los valores de viscosidad dinámica y densidad del fluido son tomados a una temperatura de 10°C de la tabla A.1 del libro "Mecánica de fluidos" de ROBERT MOTT.

Re Succión

$$Re = \frac{0{,}79\ \left(\frac{m}{s}\right) *\ 0{,}08204\ (m) *\ 1000\ (kg/m^3)}{1{,}3x10^{-3}(pa * s)} = 49742{,}76$$

Re Descarga

$$Re = \frac{1{,}71\ \left(\frac{m}{s}\right) *\ 0{,}0557\ (m) *\ 1000\ (kg/m\text{^}3)}{1{,}3x10^{-3}(pa * s)} = 73266{,}93$$

Al calcular Re se determina para aplicaciones prácticas que valores de Re < 2000 el flujo será laminar y Re > 4000 el flujo será turbulento, Para el cálculo de la rugosidad relativa (D/ε) se debe tener en cuenta el material a implementar, en este caso será tubo de PVC y se tomara un valor de aspereza o rugosidad relativa de $1{,}5x10^{-6}m$ para un material de tubo extruido de la tabla 8.2 (Mott, 2006):

Rugosidad relativa en la succión

$$\frac{0{,}08204\ m}{1{,}5x10^{-6}\ m} = 54693{,}33$$

Rugosidad relativa en la descarga

$$\frac{0{,}0557\ m}{1{,}5x10^{-6}\ m} = 37133{,}33$$

Con los valores de Re y (D/ε) se determina f mediante la siguiente expresión:

$$f = \frac{0{,}25}{(\log(\frac{1}{3{,}7\left(\frac{D}{\varepsilon}\right)} + \frac{5{,}74}{Re^{0{,}9}}))^2} \qquad (11)$$

Donde:

- ε = Aspereza o rugosidad del material.

Aplicando la ecuación (11) se determina f dando como resultado:

Succión:

$$f = 0{,}021$$

Descarga:

$$f = 0{,}0195$$

El valor de hL se determina a partir de la longitud del sistema (L) y el coeficiente de resistencia (K) por lo que es necesario implementar las siguientes ecuaciones:

$$hL = f\ x\ \frac{L}{D}\ x\ \frac{v^2}{2g} \tag{12}$$

Donde:

- hL = Perdidas por fricción.
- f = Factor de fricción de Darcy.
- L = Longitud de tramo.
- D = Diámetro de sección.
- v = Velocidad del fluido.
- g = Gravedad.

$$hL = K\ \frac{v^2}{2g} \tag{13}$$

Donde:

- hL = Perdidas menores.
- K = coeficiente de resistencia.

Para el cálculo de hL en la succión se dispone de una distancia de 5m, un diámetro interno de tubería de 82,04 mm y una velocidad de fluido de 0,79 m/s por lo que se tiene:

$$hL = 0{,}021x\frac{5m}{0{,}08204\ m}x\frac{(0{,}79\ m/s)^2}{2(9{,}81\frac{m}{s^2})} = 0{,}0402\ m$$

En el cálculo de hL para perdidas menores en la succión se establece el listado de accesorios con su correspondiente valor de K, el cual se halla multiplicando una constante establecida para el elemento por f. Estos valores se encuentran en el capítulo diez del libro de Mott para calcularlo de este modo:

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 6 Valores de K succión (Elaboración propia)

Con el valor total de K se implementa la ecuación (13) así:

$$hL = 4{,}7\ \frac{(0{,}79\ m/s)^2}{2(9{,}81\frac{m}{s^2})} = 0{,}147\ m$$

Sumando los valores de hL en la succión se tiene un total de 0,188m.

Al igual que los cálculos realizados de hL en la succión se implementa de igual manera para hL en la descarga obteniendo:

$$hL = 0{,}01922x\frac{112\ m}{0{,}0557\ m}x\frac{(1{,}71\ m/s)^2}{2(9{,}81\frac{m}{s^2})} = 5{,}76\ m$$

la longitud L de 112 m se toma debido a que la línea principal tiene una longitud de 8m, las aletas o laterales cuenta con 100 m y la línea secundaria cuenta igualmente con 100 m de longitud por lo que se divide en 25 dando como resultado 4m que posteriormente serán empleados para el cálculo total de hL.

Para perdidas menores se tiene:

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 perdidas	18,90

Tabla 7 Valores K descarga (Elaboración propia).

$$hL = 18{,}90\ \frac{(1{,}71\ m/s)^2}{2(9{,}81\frac{m}{s^2})} = 2{,}82\ m$$

Al sumar los valores de hL en la descarga y multiplicarlos por 25 debido a que son el número de líneas donde irán los aspersores se tendrá un valor de hL de 214,40 m, que sumado con el total de hL en la succión el valor total de perdidas menores será de 214,59 m.

7.3.1. Cálculo de ha

Con el valor de hL encontrado, y valores de presión, altura conocidos grafico (27) se despeja de la ecuación (4) ha obteniendo:

$$ha = \frac{P_B - P_A}{\gamma} + (Z_B - Z_A) + \frac{{v^2}_B - {v^2}_A}{2g} + hL \qquad (14)$$

Calculando término a término.

Debido a que la presión en la salida de los aspersores (P_B) al igual que en la superficie del tanque (P_A) salen o están a la atmosfera se tiene:

$$\frac{0-0}{9{,}81\ KN/m\text{^}3} = 0$$

En la diferencia de carga de elevación se tiene:

$$1m - 3m = -2\ m$$

Para la diferencia de velocidad:

$$\frac{(1{,}71^2 - 0{,}79^2) m/s}{2(9{,}81\ m/s\text{^}2)} = 0{,}1174\ m$$

Reemplazando los valores hallados en la ecuación (15):

$$ha = 0 - 2\ m + 0{,}1174\ m + 214{,}59\ m = 212{,}71\ m$$

7.4.1. Potencia de la bomba

Para el cálculo de la potencia es necesario conocer los valores de caudal Q, peso específico a 10°C (γ) tabla A.1, y Carga total sobre la bomba (hA), implementando la siguiente expresión:

$$P_a = ha * \gamma * Q \qquad (15)$$

Donde:

- P_a = Potencia que se agrega al fluido.

Reemplazando se tiene:

$$P_a = 212{,}71\ m * 9810 \frac{N}{m^3} * \frac{15 \frac{m^3}{h}}{3600\ s} = 8694{,}4\ W$$

Debido a perdida internas en la bomba por fricción y turbulencias, es necesario generar más potencia para impulsar el fluido, para ello es necesario implementar la siguiente expresión:

$$e_M = \frac{P_a}{P_I} \qquad (16)$$

Donde:

- e_M= Eficiencia mecánica.
- P_a = Potencia que se agrega al fluido.
- P_I = Potencia de entrada a la bomba.

Asumiendo una eficiencia del 70% esto debido a que para bombas centrifugas implementadas para

transferir o hacer circular fluidos, la eficiencia de estas varía desde 50 a 80% se tiene:

$$P_I = \frac{8694{,}4\ W}{0{,}7} = 12420{,}53\ W$$

De W a hp:

$$\frac{1\ hp}{745{,}7\ W} * 12420{,}53\ W = 16{,}7\ hp$$

Con los datos obtenidos de P_I se selecciona un valor comercial de bomba de múltiple etapa debido a que estas son adecuadas para condiciones de carga elevada. Los gráficos mostrados a continuación pertenecen a la marca Pearl (Anexo C).

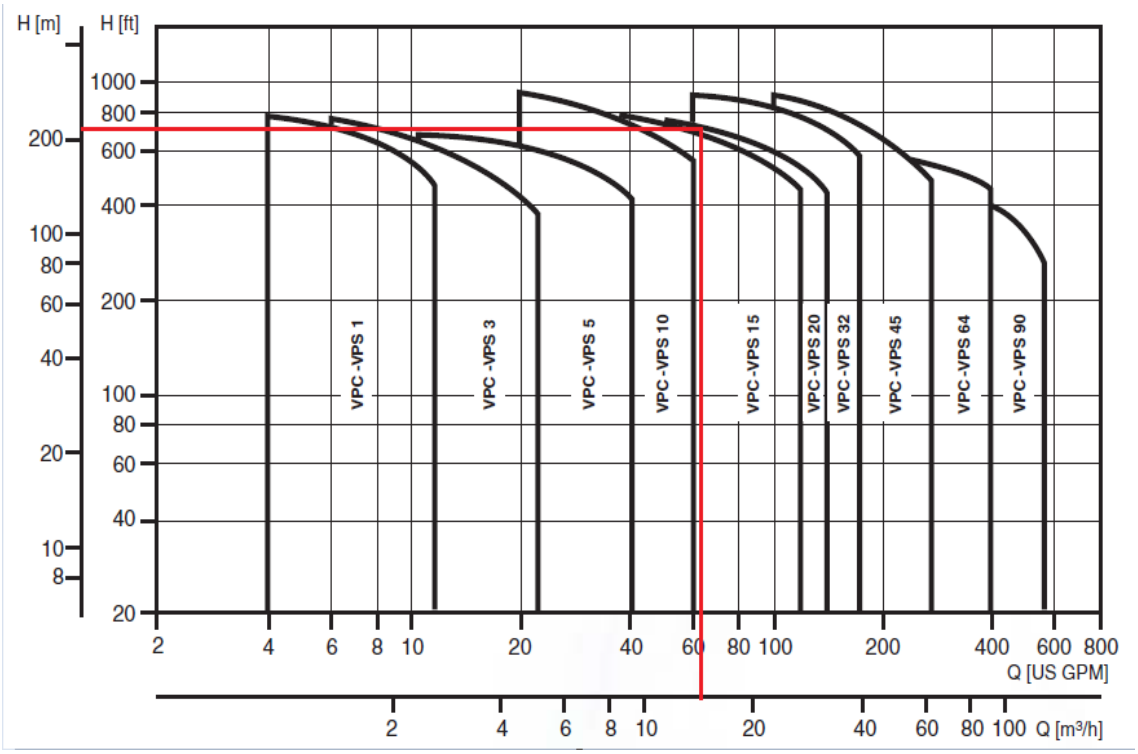


Figura 27 Selección Bomba (Pearl).

El grafico 5 muestra que para un caudal (Q) de 15 $m\text{^}3/h$ y una altura ha de 212,71 m siendo la bomba más adecuada es la **VPC-VPS 15** debido a sus características técnicas (Anexo D):

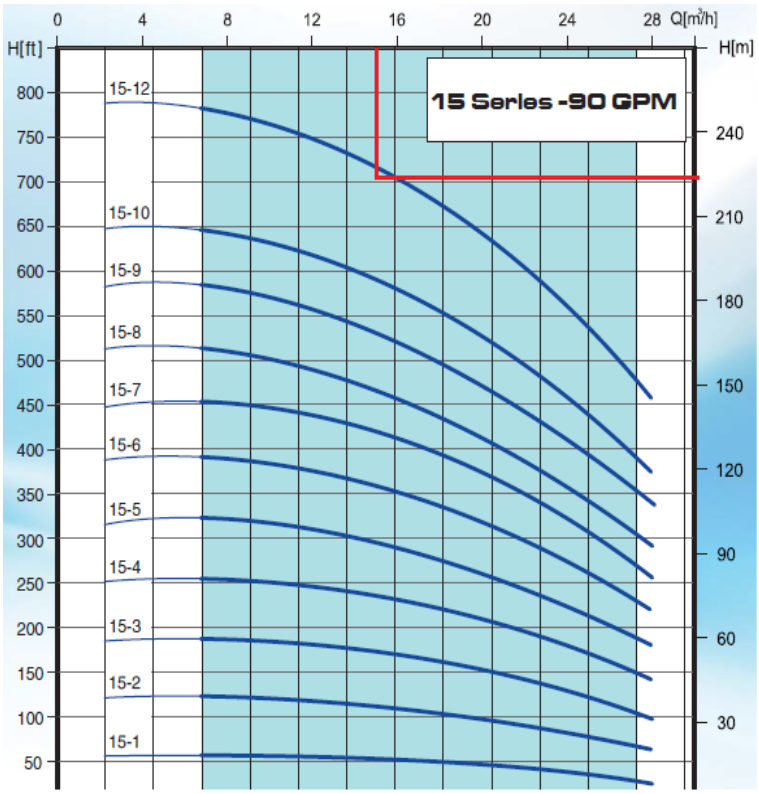


Figura 28 Q vs H bomba (Pearl).

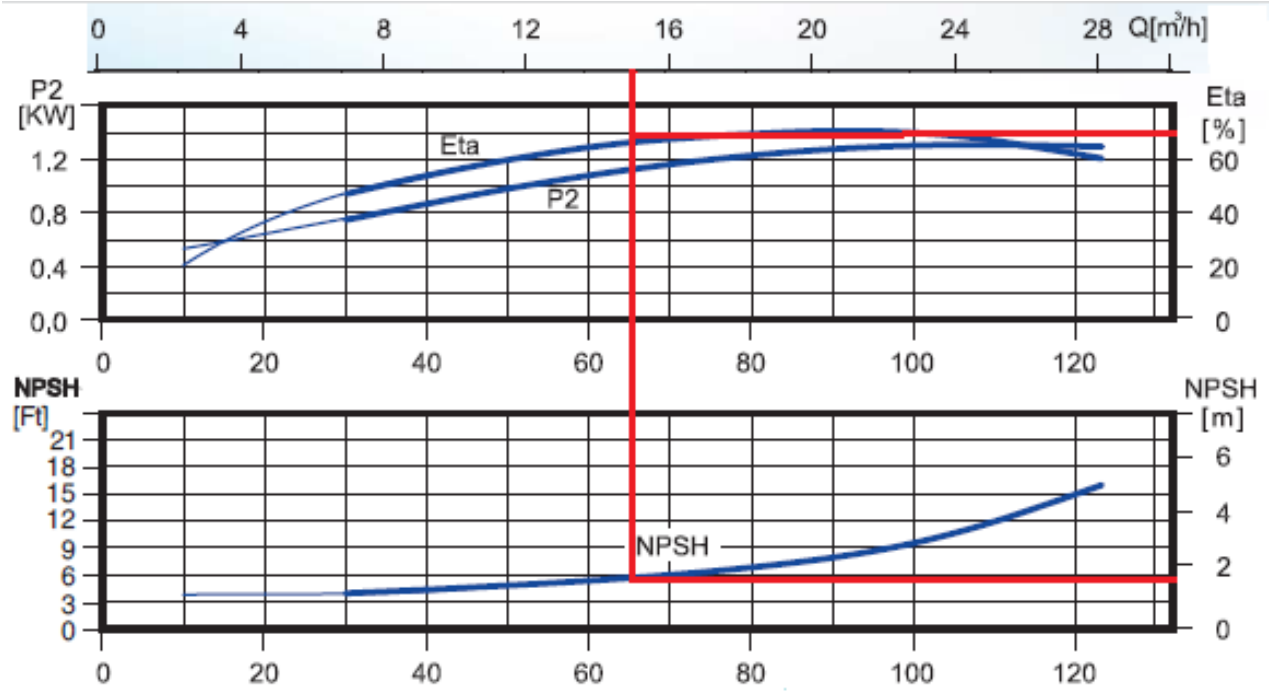


Figura 29 Eficiencia y NPSH bomba (Pearl).

Dimensions and weights VPS 15

MODEL	HP	DIMENSIONS AND WEIGHT FOR VPS SERIES											
		H1		H2		D1		D2		D3		NET WEIGHT	
		in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	lbs	kg
VPS 15-1	2	16.3	413	27.1	688	6.9	175	5.5	140			101.66	46
VPS 15-2	4	16.5	418	29.1	738	7.7	196	5.8	148			120.67	54.6
VPS 15-3	5.5	18.2	463	31.4	798	8.6	219	6.4	162			139.23	63
VPS 15-4	7.5	21.3	540	35.4	900	9.2	234	7.8	199	11.8	300	197.35	89.3
VPS 15-5	10	23.0	585	38.8	985	9.2	234	7.8	199	11.8	300	220.34	99.7
VPS 15-6	15	27.8	707	45.4	1152	10.6	268	8.5	215	13.8	350	290.17	131.3
VPS 15-7	15	29.6	752	47.1	1197	10.6	268	8.5	215	13.8	350	293.27	132.7
VPS 15-8	15	31.4	797	48.9	1242	10.6	268	8.5	215	13.8	350	296.36	134.1
VPS 15-9	20	33.1	842	52.4	1331	10.6	268	8.5	215	13.8	350	323.77	146.5
VPS 15-10	20	34.9	887	54.2	1376	10.6	268	8.5	215	13.8	350	326.86	147.9
VPS 15-12	25	38.5	977	59.5	1512	12.5	317	9.5	242	13.8	350	410.40	185.7

Figura 30 Características técnicas de bomba (Pearl).

En resumen la bomba seleccionada es la **VSP-15-12** cuya potencia es de$25\ hp$, una eficiencia aproximada del 70% y un NPSH cercano a $1{,}8\ m$.

7.4.2. Cálculo NPSH

El cálculo del NPSH se efectúa con el fin de determinar la presencia de cavitación en la bomba donde la carga de succión neta requerida $(NPSH_R)$ debe ser menor a la carga de succión neta positiva disponible $(NPSH_A)$, para condiciones del sistema de riego se tendrá un margen mínimo de 10% de esta manera:

$$(NPSH_A) > 1{,}10\ (NPSH_R) \tag{17}$$

Para determinar el valor de $NPSH_R$ este será dado por el catalogo del fabricante, caso contrario del $NPSH_A$ el cual se calculara de la siguiente manera:

$$NPSH_A = h_{sp} \pm h_s - h_f - h_{vp} \tag{18}$$

Donde:

- h_{sp} = Carga de presión estática (absoluta) sobre fluido en el almacenamiento.
- h_s = Diferencia de elevación desde el nivel del fluido del depósito a la línea central de la entrada de succión de la bomba.
- h_f = Perdida de carga en la tubería de succión, debido a fricción y perdidas menores.
- h_{vp} = Carga de presión de vapor del líquido a temperatura de bombeo.

Ya que los valores de h_{sp} y h_{vp} no se conocen, estos deben ser calculados a partir de:

$$h_{sp} = \frac{P_{sp}}{\gamma} \tag{19}$$

Calculando h_{sp} para un tanque cuya presión es de 0 y presión en la región de 102,6 KPa se determina un P_{sp} de 102,6 KPa teniendo de la ecuación (19):

$$h_{sp} = \frac{102{,}6\ KPa}{9{,}81\ \ KN/m\text{^}3} = 10{,}46\ m$$

Donde:

- P_{sp}= Presión estática (absoluta) sobre el fluido en el depósito.

$$h_{vp} = \frac{P_{vp}}{\gamma} \tag{20}$$

Donde:

- P_{vp} = Presión de vapor (absoluta) del líquido a temperatura a la temperatura que se bombea.

De la tabla 13.2 del libro de MOTT se obtiene al valor de un h_{vp} a 10°C de:

$$h_{vp} = 0{,}1253\ m$$

Con los valores de h_s y h_f conocidos, se remplaza en la ecuación (19) tendiendo:

$$NPSH_A = 10{,}46\ m + 3\ m - 0{,}188\ m - 0{,}1253\ m = 13{,}15\ m$$

Ya que el $NPSH_R$ de la figura 29 es de aproximadamente 1,8 m se determina el cumplimiento de la expresión (17).

Tener una bomba de gran potencia representa mayor gasto energético y monetario, es necesario reducir la línea de descarga con el fin de disminuir la carga sobre la bomba, de este modo la potencia de la misma será mucho menor. Implementando las ecuaciones anteriores (4) a (20) y estableciendo riego por secciones (5 aletas) se determina el valor de la nueva bomba con los siguientes valores:

Caudal = 15 m^3/h
Diámetro succión = 82,04 mm
Diámetro descarga = 55,7 mm
Velocidad fluido succión = 0,79 ≈ 0,8 m/s
Velocidad fluido descarga = 1,71 ≈ 2 m/s

Rugosidad o aspereza tubo extruido (ε) = 1,5 $x\ 10^{-6}\ m$
Rugosidad relativa o aspereza (D/ε) succión = 54693,33
Numero de Reynolds (Re) succión = 49742,76 > 4000 flujo turbulento.
Factor de fricción de Darcy (f) succión = 0,021
Rugosidad relativa o aspereza (D/ε) descarga = 37133,33
Numero de Reynolds (Re) descarga = 73265,64 > 4000 flujo turbulento.
Factor de fricción de Darcy (f) descarga = 0,0195
Perdidas de energía por fricción succión hL = 0,0403 m
Perdidas menores por accesorios succión hL = 0,147 m
Total hL succión = 0,188 m
Perdidas de energía por fricción descarga hL = 5,759 m

Ya que se desea establecer un riego seccionado, se implementa el accionamiento por bloques, es decir la activación de 5 aletas de manera simultánea; Tomando el valor de $hL = 2{,}82\ m$ para los accesorios calculado anteriormente y al sumar los valores de pérdidas por fricción en la descarga, el resultado será multiplicado por 5 debido a que son el número de aletas o laterales que funcionaran al mismo tiempo, dando como resultado:

Total hL descarga = 42,88 m
Valor total de hL succión y descarga = 43,07 m

De la ecuación (15) se obtendrá el nuevo valor para ha (carga total sobre la bomba). De acuerdo con el resultado re calculado de hL se obtendrá:

Carga total sobre la bomba ha = 41,19 m
Potencia que se agrega al fluido P_a = 1683,4 W

Asumiendo una eficiencia mecánica (e_M) del 70% se calcula (P_I) de la ecuación (16) teniendo:

Potencia de entrada a la bomba P_I = 2404,92 W o 3,23 hp

Seleccionando una bomba horizontal comercial se tiene:

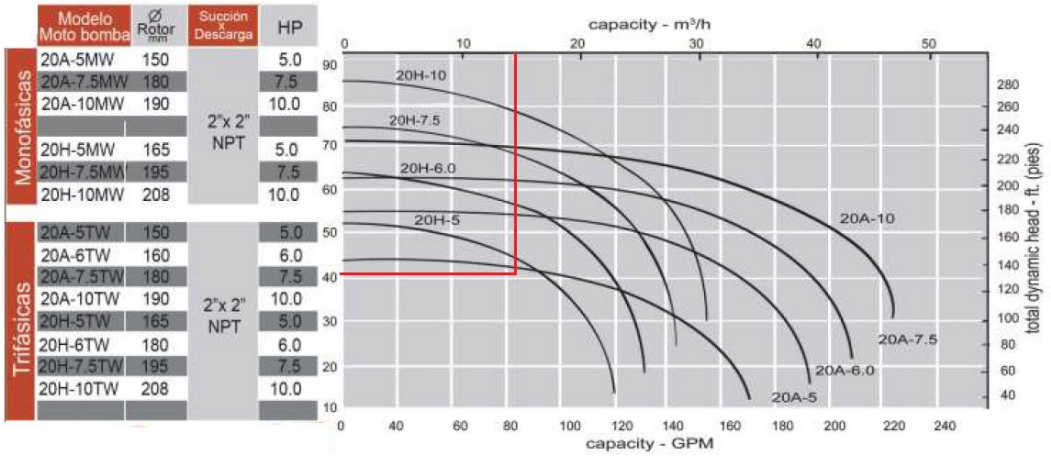


Figura 31 Selección de bomba vertical (IHM).

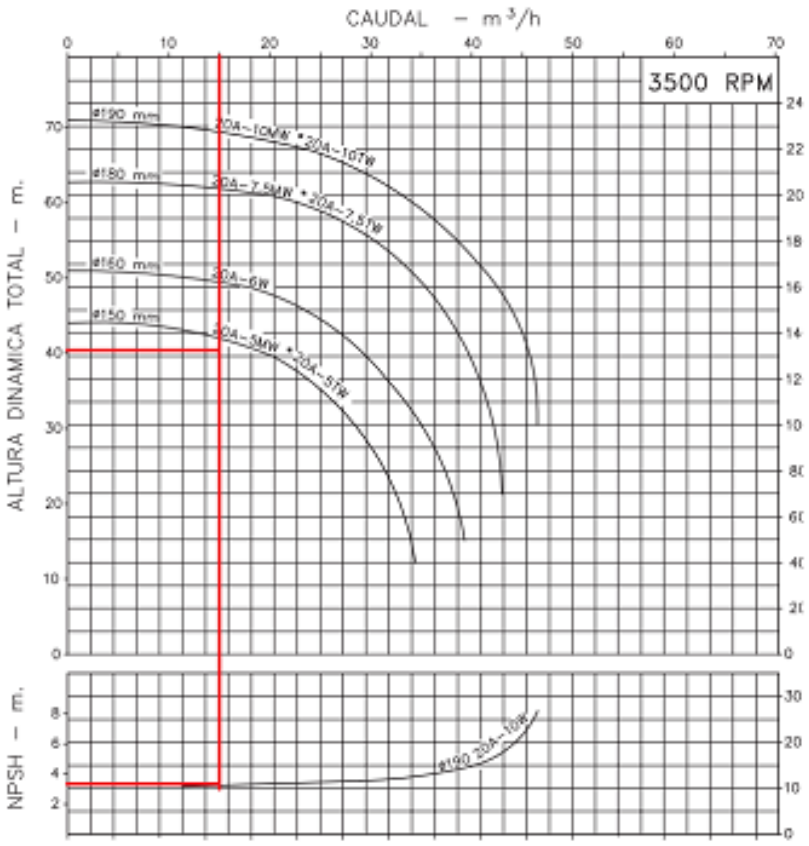


Figura 32 NPSH bomba vertical (IHM).

La bomba seleccionada corresponde a una 20A-5 de la marca IHM (ver Anexo E, F) cuya potencia necesaria para la altura de 41,19 m y caudal 15 m^3/h corresponde a 5 hp siendo sus características técnicas:

	Datos
Conexión succión	2 Pulg. NPT
Conexión descarga	2 Pulg. NPT
Altura (ADT) Max	44 m
Caudal Max	150 GPM
Caudal medio	120 GPM
Altura media	35 m
Motor	Trifásico
Potencia	5 HP
Voltaje	220/440 V
Peso	55 Kg
Dimensiones	0.54/0.35/0.38 Mts

Figura 33 Información técnica bomba vertical (IHM).

Para el cálculo de $NPSH_A$ se implementa la ecuación (18) dando como resultado:

Succión neta positiva disponible $NPSH_A$ = 13,15 m

Con el valor de $NPSH_R$ de 3 m (grafico 36) se cumple la ecuación (17).

$$13{,}16 > 1{,}1 * 3$$

Se puede decir que la bomba no cavitará.

7.5.1. Cálculo paneles

A partir de la selección de la bomba es necesario establecer la cantidad de paneles para que el sistema de riego funcione de manera satisfactoria con lo cual se establecerán los criterios y ecuaciones presentadas a continuación:

$$E_d = \sum E_{CC} + \frac{\sum E_{CA}}{\eta_{Conv}} \quad (21)$$

Donde:

- E_d = Energía que consume en un día (W/h)
- $\sum E_{CC}$ = Energía en CC total consumida por todos los equipos en un día (W/h)
- $\sum E_{CA}$ = Energía en CA total (110 o 220) consumida por los equipos en un día (W/h)
- η_{Conv} = Eficiencia del convertidor (%).

Ya que el sistema de riego funcionara 4 horas diarias se determina la energía total implantada, por lo que se debe multiplicar la potencia de la bomba por la cantidad de horas totales así:

Ya que se seleccionó una bomba comercial de 5 hp se hace la conversión a W:

$$5\ hp * \frac{745{,}7\ W}{1\ hp} = 3728{,}5\ W$$

Multiplicando el valor anterior por 4 se tendrá el valor de E_{CA}:

$$3728{,}5\ W * 4\ h = 14914\ Wh$$

Ya que no se cuenta con dispositivos con CC el término $\sum E_{CC}$ no se tendrá en cuenta en la ecuación (20), además se asumirá un valor de eficiencia del convertidor (η_{Conv}) de 85% quedando así:

$$E_d = \frac{14914}{0{,}85} = 17545{,}88\ Wh$$

El cálculo de las HSP (hora solar pico) tiene una gran importancia dentro del dimensionamiento

del número de paneles, puesto que este valor indica el número de horas de sol, con una intensidad de 1000 W/m^2 el cual incide perpendicularmente sobre la superficie de un módulo que tendría sobre un día imaginario que el modulo que recibirá la misma energía en un día real (López, Energía solar fotovoltaica).

$$HSP = \frac{I_\alpha \left(\frac{Kj}{m^2}\right) * 1000 \left(\frac{j}{Kj}\right) * \frac{1}{3600} \left(\frac{h}{s}\right)}{1000 \left(\frac{W}{m^2}\right)} \quad (22)$$

Donde:

- I_α = Irradiancia sobre una superficie inclinada un ángulo α

Con el valor de radiación solar grafico 19 y la ecuación (22) se determina el valor de HSP así:

$$HSP = \frac{4500 \frac{Wh}{m\text{^}2}}{1000 \frac{W}{m\text{^}2}} = 4{,}5\ h$$

Para determinar el valor de carga de consumo diaria (C_d) es necesario tener los valores de E_d ecuación (20) y V_{tr} (tensión en los bornes del banco de baterías) tomando este último un valor de 36 V estos valores serán reemplazados en siguiente expresión:

$$C_d = \frac{E_d}{V_{tr}} \quad (23)$$

Donde:

- C_d = Carga de consumo diaria
- E_d = Energía que se consume en un día
- V_{tr} = Tensión en los bornes del banco de baterías

Reemplazando en (23) se tiene:

$$C_d = \frac{17545{,}88\ Wh}{36\ V} = 487{,}4\ Ah$$

Para calcular el número total de paneles:

$$N_T = N_P\ *\ N_S \quad (24)$$

Donde:

- N_T = Número total de módulos
- N_P = Numero de módulos en paralelo
- N_S = Numero de módulos en serie

Para calcular N_P se tiene la siguiente expresión:

$$N_P = \frac{C_d}{ipm\ x\ HSP} \tag{25}$$

Donde:

- ipm = Intensidad a potencia máxima

Para N_s :

$$N_s = \frac{V_{tr}}{V_M} \tag{26}$$

Donde:

- V_M = Tensión del modulo

Para los valores de potencia (W), V_M e ipm en módulos solares fotovoltaicos es necesario acudir a catálogos o fichas técnicas. Para tener una idea de la cantidad de módulos para el sistema de riego se toman distintas potencias en módulos de la marca solar Risen dando como resultado:

ELECTRICAL DATA (STC)

Model Number	RSM144-6-370M	RSM144-6-375M	RSM144-6-380M	RSM144-6-385M	RSM144-6-390M
Rated Power in Watts-Pmax(Wp)	**370**	**375**	**380**	**385**	**390**
Open Circuit Voltage-Voc(V)	47.60	47.75	48.00	48.15	48.30
Short Circuit Current-Isc(A)	9.90	10.00	10.10	10.20	10.30
Maximum Power Voltage-Vmpp(V)	39.80	39.90	40.05	40.15	40.25
Maximum Power Current-Impp(A)	9.30	9.40	9.50	9.60	9.70
Module Efficiency (%)	18.6	18.8	19.1	19.3	19.6

STC: Irradiance 1000 W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5 according to EN 60904-3.

Figura 34 Ficha técnica paneles (Solar Risen).

Implementando las ecuaciones (24), (25), (26) y los valores presentados en el figura 34 se determinan la cantidad de paneles en la siguiente tabla:

Potencia panel Ppm (W)	Np	Ns	NT
370	12	0,9≈1	12
375	12	0,9≈1	12
380	11	0,9≈1	11
385	11	0,9≈1	11
390	11	0,9≈1	11

Tabla 8 Número total de módulos (Elaboración propia).

Con los datos proporcionados por la tabla 9 se determinan los valores de potencia pico total del montaje generador (P_{PG}) y la energía generada por los módulos (E_G) de la siguiente manera:

$$P_{PG} = P_{PM} * N_T \quad (27)$$

Donde:

- P_{PM} = Potencia pico por modulo

$$E_G = P_{PG} * HSP \quad (28)$$

Al igual que para el número total de paneles (N_s) se calculara cada término de las ecuaciones (27) y (28) para cada potencia de panel:

Potencia panel Ppm (W)	Ipm (A)	Vm (V)	Ppg (W)	EG (Wh)
370	9,3	39,8	4309,0	19390,6
375	9,4	39,9	4320,8	19443,6
380	9,5	40,05	4332,3	19495,4
385	9,6	40,15	4343,6	19546,2
390	9,7	40,25	4354,6	19595,9

Tabla 9 PPG y EG total (Elaboración propia).

Debido a que el sistema funcionara de noche es necesario almacenar la energía producida por los paneles, por lo cual se debe determinar la cantidad de baterías necesarias para que diseño propuesto funcione de manera efectiva.

Para dicho cálculo se debe empezar por determinar la capacidad del banco de baterías (C_B), donde un factor a tener en cuenta es el número de días de autonomía el cual puede variar según la latitud del lugar. Para el sistema en particular los días de autonomía serán de uno debido a que este será implementado por un tiempo de 2 a 3 meses según la duración de la helada, además de reducir posibles daños o descargas en las baterías.

$$C_B = \frac{C_d * \#\ de\ días\ de\ autonimia}{Pf} \quad (29)$$

Donde:

- C_B = Capacidad del banco de baterías
- Pf = profundidad de descarga

El valor de Pf representa la descarga máxima que puede presentar una batería con el fin de no disminuir la vida de esta o tener procesos irreversibles, este valor está en fracciones de 1y dependerá del tipo de batería (López, Energía solar fotovoltaica).

Tipo de batería	Pf Profundidad de descarga máxima [0-1]
Estacionaria Plomo/ácido	0,6
Arranque Plomo/ácido	0,4
Sin mantenimiento Plomo/ácido	0,5
Alcalina Cadmio/Níquel	1

Tabla 10 Profundidad de descarga máxima (López).

Con el fin de garantizar una mayor vida útil aceptable en la batería y que estas no produzcan ciclos de descarga mayores a los admitidos se debe verificar que la batería no se descargue a diario más de la profundidad de descarga admisible (López, Energía solar fotovoltaica).

Con lo anterior se debe cumplir:

$$C_B \geq \frac{C_d}{Pf\ diaria} \tag{30}$$

Tipo de batería	Profundidad de descarga diaria admisible [0-1]
Estacionaria Plomo/ácido	0,2
Arranque Plomo/ácido	0,2
Sin mantenimiento Plomo/ácido	0,15
Alcalina Cadmio/Níquel	1

Tabla 11 Profundidad de descarga diaria (López).

La siguiente tabla muestra los valores C_B y la relación de la ecuación (30):

Pf	CB (Ah)	Pf Diaria	CB≥(Cd/Pfdiario)
0,6	812,3	0,2	812,3≥2436,9
0,4	1218,5	0,2	1218,5≥2436,9
0,5	974,8	0,15	974,8≥3249,2
1	487,4	1	487,4≥487,4

Tabla 12 Valor CB y relación Pf diaria (Elaboración propia).

La tabla 13 muestra que la batería que cumple con lo establecido en la relación (30) es la cadmio/níquel). Con lo anterior se procede a calcular la cantidad de baterías necesarias para el almacenamiento diario.

Numero de baterías en serie:

$$N_{bat\ serie} = \frac{V_{tr}}{V_{bat}} \tag{31}$$

Donde:

- $N_{bat\ serie}$ = Numero de baterías en serie
- V_{bat} = Tensión en el banco de baterías

Al igual que en la tensión en los bornes del banco de baterías (V_{tr}) se toma un voltaje de V_{bat} de 36 V dando como resultado $N_{bat\ serie}$:

$$N_{bat\ serie} = \frac{36\ V}{36\ V} = 1$$

Calculando el número de baterías en paralelo:

$$N_{bat\ paralelo} = \frac{C_B}{C_{bat}} \tag{32}$$

Donde:

- $N_{bat\ paralelo}$ = Numero de baterías en paralelo
- C_{bat} = Capacidad de batería

Asumiendo un valor de C_{bat} de 90 Ah de la ecuación (32) se tiene:

$$N_{bat\ paralelo} = \frac{487{,}4\ Ah}{90\ Ah} = 5$$

Con la cantidad de baterías en serie y paralelo se determina el número de baterías en el banco de la siguiente manera:

$$N_{bat} = N_{bat\ serie} * N_{bat\ paralelo} \tag{33}$$

Donde:

- N_{bat} = Numero de baterías del banco

Dando como resultado:

$$N_{bat} = 1 * 5 = 5$$

El resultado del total de N_{bat} puede Variar dependiendo del fabricante y el número de días de autonomía que se deseen tener.

7.5.2. Cantidad de paneles con sistema automatizado.

Ya que la selección de la bomba fue realizada para un sistema por secciones, es necesario determinar el nuevo consumo por componente implementado, esto con el fin de establecer la nueva cantidad de paneles y baterías necesarias.

7.5.3. Descripción del sistema automatizado

Al ser un sistema por secciones, se implementan 25 electroválvulas con el fin de que puedan ser activabas en grupos de 5 líneas al tiempo con un funcionamiento por sección de un minuto, hasta completar el tiempo de riego requerido de 4 horas.

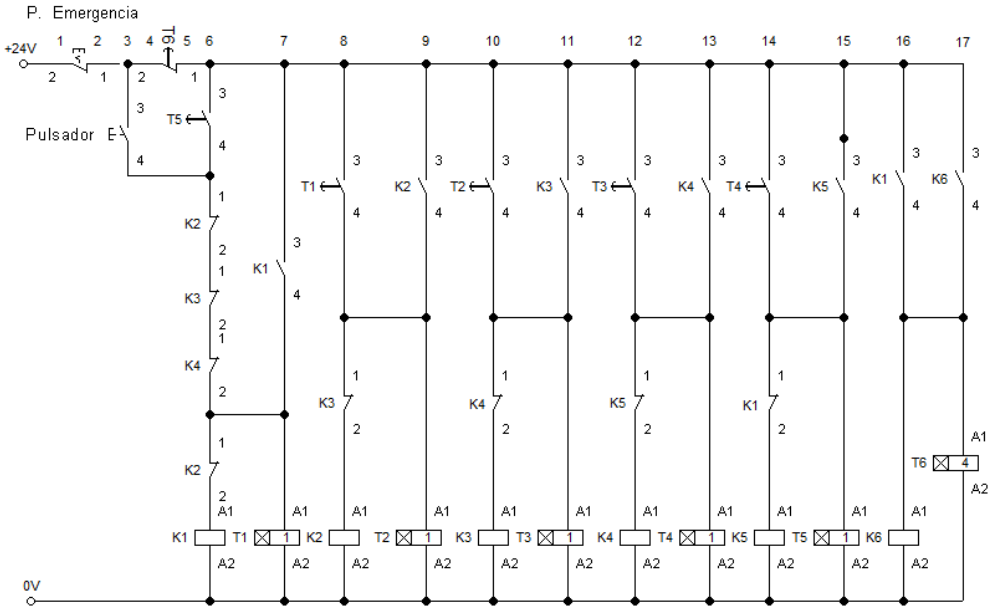


Figura 35Automatización sist. De riego (Elaboración propia).

En la gráfica anterior se muestra la automatización del sistema de riego, en la cual los relés (K1...K5) hacen referencia a las secciones establecidas anteriormente seguido de los temporizadores (T1…T5) que serán los encargados de controlar el tiempo en minutos de aspersión para cada electroválvula. Finalmente el temporizador (T6) controlara el tiempo total de riego y este será dado en horas.

Calculando el consumo total de la bomba, componentes necesarios para la automatización, se determina nuevamente la cantidad de paneles y baterías con las ecuaciones (21) a (33). Para este caso se tendrán dos opciones, siendo la primera la implementación de 25 electroválvulas para cada línea de distribución permitiendo accionar estas válvulas de la manera que se crea más conveniente pero siempre un bloque de 5 aletas al mismo tiempo; La segunda consta de 10 electroválvulas que serán accionadas de a 2 al mismo tiempo pero siendo necesaria la redistribución de las líneas principales y secundarias para el suministro del fluido.

De esta manera se determina el consumo necesario para cada alternativa:

7.5.4. Consumo W-h con 25 electroválvulas

Se dispone de 6 relevos, 6 temporizadores, y 25 electroválvulas además de la bomba se tiene la siguiente tabla:

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	25	22	4	2200
			Total	17202,8

Tabla 13 Energía de consumo diario automatización (Elaboración propia).

7.5.5. Consumo W-h con 10 electroválvulas

Para esta propuesta igualmente se dispone de 6 relevos, 6 temporizadores pero 10 electroválvulas con lo que su consumo para 4 horas será:

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

Tabla 14 Energía de consumo diario con 10 electroválvulas (Elaboración propia).

Según los resultados reflejados en las tablas 13 y 14 el menor consumo ($W - h$) se presenta para la segunda propuesta (10 electroválvulas), por lo cual la distribución de válvulas, tuberías además de la cantidad de paneles necesarios e establece así:

Debido a que una mayor cantidad de electroválvulas representan más costos, se implementa el sistema de automatización con 10 de estas, por lo que es necesario redistribuir la tubería de tal manera que se pueda accionar cada válvula en sistema de bloque.

Para redistribuir la tubería cumpliendo con lo mencionado anteriormente es necesario posicionar la tubería principal por el medio del terreno, seguido de la secundaria la cual tendrá sus respectivas electroválvulas al inicio para así ubicar los laterales o aletas con distancia conforme a lo establecido en la ecuación (2). El siguiente grafico mostrara lo descrito anteriormente.

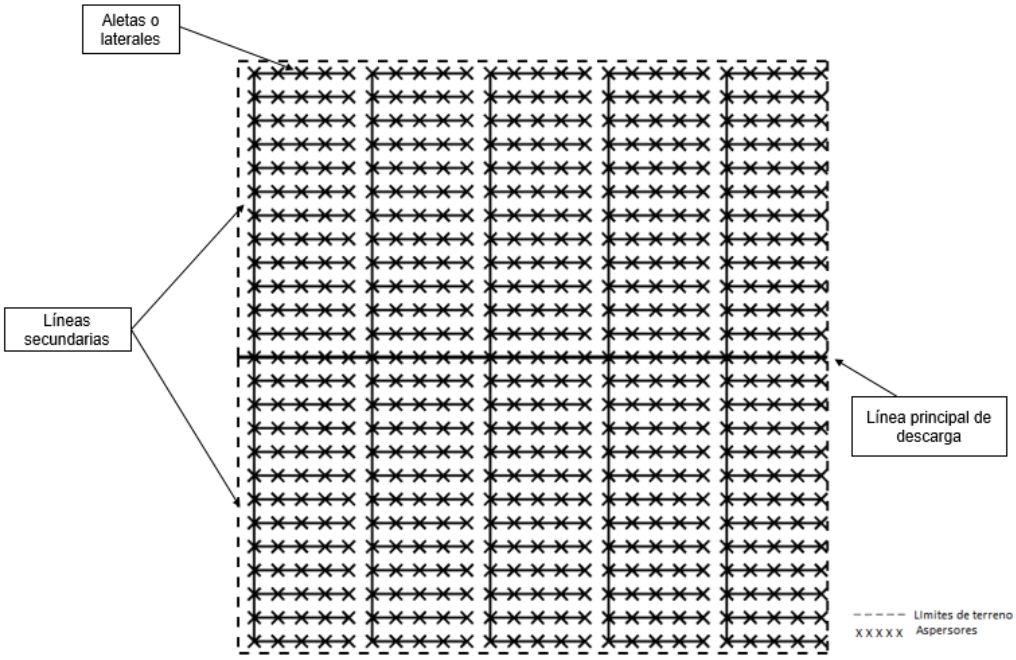


Figura 36 Disposición aspersores con automatización (Elaboración propia).

Calculando la energía que se consume en un día (E_d) asumiendo la eficiencia del convertidor (η_{Conv}) igual que la empleada anteriormente (85 %) se tiene:

$$E_d = \frac{15882{,}8}{0{,}85} = 18685{,}65\ Wh$$

Calculando carga de consumo diaria (C_d):

$$C_d = \frac{27458{,}6\ Wh}{36\ V} = 519\ Ah$$

Calculando el número de paneles fotovoltaicos se tiene:

Potencia panel Ppm (W)	Ipm (A)	Vm (V)	Np	Ns	NT	Ppg (W)	EG (Wh)
370	9,3	39,8	12	0,9≈1	12	4588,9	20650,2
375	9,4	39,9	12	0,9≈1	12	4601,5	20706,6
380	9,5	40,05	12	0,9≈1	12	4613,7	20761,8
385	9,6	40,15	12	0,9≈1	12	4625,8	20815,9
390	9,7	40,25	12	0,9≈1	12	4637,5	20868,8

Tabla 15 Cantidad de paneles con 10 electroválvulas (Elaboración propia).

Dimensionando el banco de baterías:

Pf	CB (Ah)	Pf Diaria	CB≥(Cd/Pfdiario)	Vbat (V)	Cbat (Ah)	N bat serie	N bat paral	N bat
0,6	865,1	0,2	865,1≥2595,2	36	90	1	10	10
0,4	1297,6	0,2	1297,6≥2595,2	36	90	1	14	14
0,5	1038,1	0,15	1038,1≥3460,3	36	90	1	12	12
1	519,0	1	519≥519	36	90	1	6	6

Tabla 16 Dimensionamiento de banco de baterías con 10 electroválvulas (Elaboración propia).

La batería más adecuada para cumplir con la ecuación (30) es la alcalina Cadmio/níquel. Otra de las observaciones a tener en cuenta es la cantidad de paneles y baterías que se requieren para esta implementación, puesto que no varían con respecto al funcionamiento de la bomba por sí sola, exceptuando la potencia pico total, energía generada por los módulos entre otros valores de la tabla 15.

Aumentando el número de días de autonomía del proyecto a 2 e implementando las ecuación (29) el valor de C_B para las baterías descritas en la tabla 11 correspondería a: estacionaria =1730,2, arranque= 2595,2, sin mantenimiento= 2076,2, alcalina= 1038,1; con lo que la relación de la ecuación (30) da: $1730{,}2 \geq 2595{,}2$, $2595{,}2 \geq 2595{,}2$, $2076{,}2 \geq 3460{,}3$, $1038{,}1 \geq 519$ correspondientemente, aumentando de esta manera la gama de selección de baterías.

Dentro de las tecnologías para el almacenamiento de energía se encuentra los ultracondensadores, los cuales están fabricados a partir de material carbonado de grafeno. Estos elementos permiten gran cantidad de ciclos de carga y descarga llegando a ser cercanos a los 500000 lo que lo hace adecuado para implementaciones de almacenamiento de carga eléctrica, son resistentes a condiciones severas de electricidad haciéndolos adecuados para usos cotidianos. A pesar de presentar grandes ventajas, a nivel nacional los estudios para dispositivos solo llegan a ser estructurales además las tecnologías de empleo siguen siendo escasas (Angulo, Martinez, & López, 2017).

Con lo mencionado anteriormente se eligen las baterías convencionales para aplicaciones fotovoltaicas como elementos a utilizar, debido a que la implementación de ultracondensadores presentaría un mayor gasto económico por su poca implementación y estudio a nivel nacional.

7.6.1. Dimensionamiento de colectores solares

Con el fin de aprovechar al máximo la energía solar y disminuir el impacto que las heladas puedan tener sobre los cultivos, se emplea calefacción de agua por termosifón con intercambiador, que consta de dos circuitos, siendo el primario el colector, tubería de ida y retorno además del intercambiador que será el encargado de hacer circular el fluido calo portador y el secundario será el encargado de hacer circular el fluido o ACS (agua caliente sanitaria) de aplicación (López, Energía solar térmica).

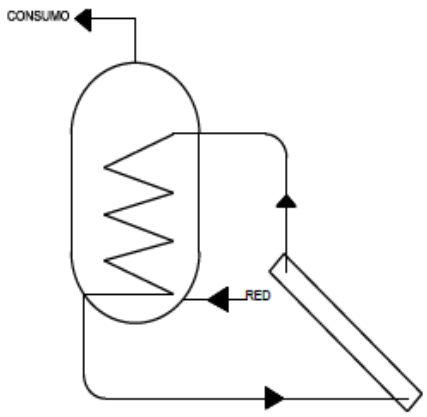


Figura 37Montaje natural o de termosifón con intercambiador (López, Energía solar térmica).

En la figura anterior se muestra el funcionamiento del sistema de termosifón con intercambiador de calor donde el tanque de acumulación de fluido se encuentra ubicado encima del nivel superior del colector solar. Con el fin de aprovechar el agua caliente y ya que esta posee menor densidad a la fría, se dispone la línea de consumo por encima del tanque.

Para determinar la cantidad de colectores fotovoltaicos se calcula:

$$M = I * N \tag{34}$$

Donde:

- M = Consumo total diario ACS
- I = Consumo Individual ACS
- N = Numero de objetos del proyecto especifico

El consumo individual será tomado del anexo B y multiplicado por la cantidad de horas que se emplearan en el día, esto con el fin de obtener el valor de (I), que posteriormente será multiplicado por el número de aspersores a implementar.

$$M = \left(25\frac{l}{h} * 4\frac{h}{día}\right) * 625 = 62500\frac{l}{día}$$

Calculado el consumo total diario (M) se puede establecer la siguiente relación:

$$0{,}8 * M \leq V \geq 1{,}2 * M \tag{35}$$

Este cálculo se emplea con el fin de establecer la capacidad del tanque la cual debe ser aproximadamente igual al consumo diario, o tener una capacidad máxima de 10% a 20% y una mínima del 80% con el fin de reducir costos en el tanque o ajustarse a tanques comerciales (López, Energía solar térmica).

Para determinar la superficie captadora (A) se requiere acudir a la tabla 20 donde se encuentran datos estadísticos de algunos fabricantes para valores típicos de producción (C) para realizar un adecuado cálculo de (A).

Ta < 0°C	0°C < Ta < 10°C	10°C < Ta < 20°C	Ta > 20°C
55-70	75-85	85-100	95-115

Tabla 17 Valores tipos de producción en l/m^2-día según temperatura ambiente (López, Energía solar térmica).

Debido a que los valores de C están considerados para temperaturas de salida de ACS entre 45°C y 55°C en condiciones favorables de Ts y debido a que la temperatura que se desea alcanzar es de 10°C, se deben establecer ecuaciones las cuales puedan determinar nuevos valores de volumen para tanques en los que uno de ellos alcance una temperatura de 50°C y otro que se pueda mezclar para obtener la temperatura deseada y una capacidad final dada en la ecuación (36).

$$X + Y = 62500\ l \tag{36}$$

Donde:

- X = Volumen de agua a temperatura ambiente
- Y = Volumen de agua a temperatura Ts

Ya que en la expresión anterior se cuenta con una ecuación y dos incógnitas, es necesario establecer una segunda en donde estén relacionadas la temperatura ambiente (Ta), la temperatura de salida ACS (Ts) y la temperatura deseada Td, teniendo así:

Donde:

- Ts = Temperatura de salida
- Ta = Temperatura ambiente

Asumiendo un valor de Ta de 4°C y 50°C para Ts de la ecuación (37) se tiene:

$$(X * 4°C) + (Y * 50°C) = 62500\ l * 10°C$$

Despejando Y en función de X se tiene:

$$Y = \frac{625000\ - (X * 4)}{50} \tag{38}$$

Reemplazando (38) en (36):

$$X + \frac{625000\ - (X * 4)}{50} = 62500 \tag{39}$$

De (39) se toma X como factor común teniendo:

$$X(1 - 0{,}08) = 50000 \tag{40}$$

Despejando X se tiene el valor de volumen de agua a temperatura ambiente:

$$X = 54347{,}83\ l$$

Reemplazando X en la ecuación (34):

$$54347{,}83\ l + Y = 62500\ l \tag{41}$$

Se despeja Y de (41) para obtener el valor del volumen de agua a temperatura Ts:

$$Y = 8152{,}17\ l$$

El valor de Y encontrado será ahora el valor de M con lo que se determinara el valor de la superficie captadora (A).

$$A = \frac{M}{C} \tag{42}$$

Donde:

- A = Superficie captador
- C = Producción de ACS

Para el cálculo de A se dispone de un valor promedio de C de 80 $l/m\text{^}2$ tabla 20 debido a que la temperatura ambiente está en el rango de $0°C < Ta < 10°C$.

$$A = \frac{8152{,}17\ l}{80\ \frac{l}{m\text{^}2}} = 101{,}9\ m^2 \approx 102\ m^2$$

Calculando el número de colectores necesarios (N):

$$N = \frac{A}{Su} \tag{43}$$

Donde:

- Su = Superficie útil del colector, suministrada por el fabricante

Para la cantidad de colectores se toman diversos valores de Su teniendo valores de N:

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 18 Numero de colectores con diferentes Su (Elaboración propia).

Debido a que se implementan dos tanques de almacenamiento, es necesario establecer un sistema el cual transporte el agua con temperatura Ts al tanque de almacenamiento con agua Ta. Este sistema puede estar conformado por una bomba vertical o sumergible, o simplemente se puede dejar caer el agua por gravedad, dependiendo del recuso económico con el cual se disponga.

7.7. Cantidad de energía transferida

Como se observa en la figura 7 los tipos de transferencia de calor que intervienen en una planta son: la radiación debido a que la superficie de esta perderá calor al cielo y la convección la cual se presenta cuando la superficie de la planta obtiene calor del aire.

Con lo descrito anteriormente se realizará el análisis de transferencia de calor para el diseño seleccionado con respecto a un sistema de riego convencional el cual emplea líquido a temperatura ambiente con lo que se tiene:

7.7.1. Q Por convección

$$Q_{Conv} = h * A_{superfice}(T_S - T_\infty) \quad (44)$$

Donde:

- h = Coeficiente de transferencia de calor por convección
- $A_{Superficie}$ = Área de la superficie
- T_S = Temperatura de la superficie
- T_∞ = Temperatura de los alrededores

Para que ocurra transferencia de calor del aire al pasto la ecuación (44) debe tener la siguiente forma:

$$Q_{Conv} = h * A_{superfice}(T_{Aire} - T_{Planta}) \quad (45)$$

Debido a que las heladas se presentan a 2 metros sobre el nivel del suelo con temperaturas de 0°C o menores se asume 0°C como valor de T_{Aire} y 4°C como valor de la película de agua que estará presente en la superficie de la planta, es decir T_{Pasto}, un área de superficie de 4 cm, además de tomar un valor de h de 2 $(W/m^2\,°C)$ para convección libre en el aire para sistemas de riego convencionales. Con lo que la ecuación (45) quedara así:

$$Q_{Conv} = 2\ \frac{W}{m^2°C} * 0.0004\ m^2\ (0°C - 4°C) = \ -0{,}003\ W$$

Analizando el sistema de riego implementado se asumirá una temperatura de película de agua de 10°C (T_{Planta}) y una temperatura de aire de 0°C (T_{Aire}), dando el valor de transferencia de calor de:

$$Q_{Conv} = 2\ \frac{W}{m^2°C} * 0.0004\ m^2\ (0°C - 10°C) = \ -0{,}008\ W$$

Con los resultados anteriores se establece entonces que el sistema de aspersión diseñado cederá menor energía al aire que un sistema tradicional de riego.

7.7.2. Q por radiación

Como ya se mencionó, el intercambio por radiación ocurre cuando la planta sede el calor al cielo nocturno la cual puede presentar temperaturas tan bajas hasta de -40°C según (B.V. Karlekar).

Con el fin de analizar esta transferencia de calor se tiene:

$$Q_{rad} = \varepsilon * \sigma * A_{superfice}\left(T_S{}^4 - T_\infty{}^4\right) \qquad (46)$$

Donde:

- Q_{rad} = Transferencia de calor por radiación
- ε = Emisividad de la superficie
- σ = Constante de Stefan Boltzmann

Para el análisis de transferencia de calor por radiación en un sistema de riego convencional nuevamente se tomara el valor de temperatura en la película protectora de la planta (T_S) de 4°C, para la temperatura en el cielo nocturno (T_∞) de -40°C, un área de planta de 4 cm y una emisividad de 0,96 K para la vegetación, con lo que la ecuación (46) dará como resultado:

$$Q_{rad} = 0{,}96\ K * 5{,}67x10^{-8}\left(\frac{W}{m^2\ K^4}\right) * 0{,}0004m^2 * ((277{,}15\ K)^4 - (233{,}15\ K)^4\ ) = \ 0{,}064\ W$$

Para evaluar la transferencia por radiación en el sistema de riego se toman los mismos valores anteriormente mencionados a excepción de (T_S) la cual será de 10°C dando como resultado:

$$Q_{rad} = 0{,}96\ (K) * 5{,}67x10^{-8}\left(\frac{W}{m^2\ K^4}\right) * 0{,}0004m^2 * ((283{,}15\ K)^4 - (233{,}15\ K)^4\ ) = \ 0{,}076\ W$$

Con lo obtenido en los cálculos de Q_{rad} se establece que el sistema de riego diseñado tendrá mayor intercambio de energía con el cielo nocturno, es decir la película protectora del fluido será la encargada de ceder la energía para así evitar la posible presencia de la helada.

7.8. Ángulo de inclinación para paneles y colectores

Para lograr una adecuada captación de energía solar en paneles y colectores, se debe garantizar un correcto posicionamiento de estos componentes que ira de la mano con el ángulo de inclinación que se dé, es por eso que para regiones situadas en el hemisferio norte la orientación más adecuada debe ser hacia el sur con un ángulo de 10° a 15° adicionales a la latitud local (López, Energía solar térmica).

7.9. Esquema de distribución del sistema de riego

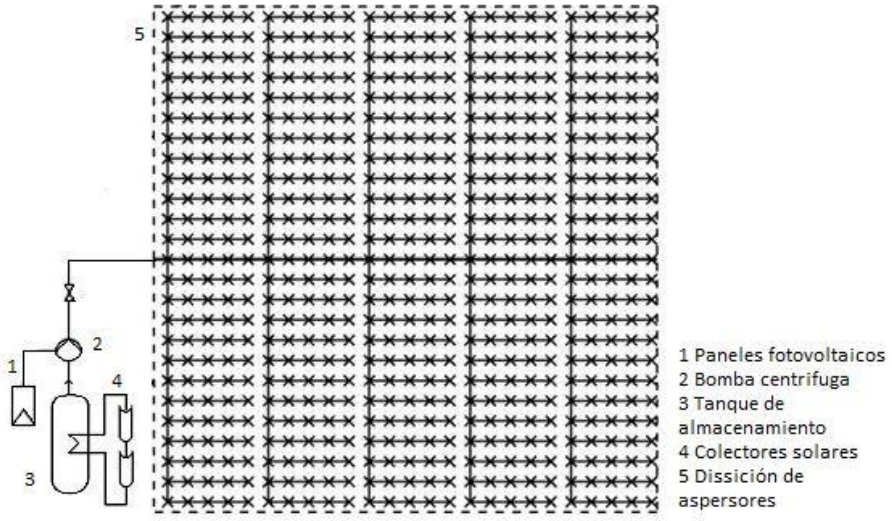


Figura 38 Disposición de elementos sistema anti helada (Elaboración propia).

Con el fin de establecer una posible disposición para los elementos requeridos en el sistema de riego diseñado, la figura 38 muestra una ubicación de cada uno de los dispositivos necesarios, con el fin de presentar la ayuda visual de este, teniendo en cuenta que en una aplicación real puede variar la disposición de terreno debido a sus formas poco simétricas, adicionalmente el espaciamiento de colectores solares y paneles fotoeléctricos puede tener variaciones según lo requiera.

8. Relación costo beneficio

A partir de la creación del listado de componentes para poder hacer efectiva la instalación del sistema de riego anti heladas, se generara la relación costo beneficio en donde se estimara una posible ganancia, adicionalmente se estimara el tiempo de retorno de inversión que pudiese tener el proyecto.

La siguiente tabla muestra los precios aproximados de cada uno de los componentes:

Elemento	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Tubo PVC 3"	1	$150.518,00	$150.518,00
Tubo PVC 2"	19	$68.775,00	$1.306.725,00
Manguera 2"	5	$340.000,00	$1.700.000,00
Manguera 1 1/4"	20	$190.000,00	$3.800.000,00
Codo 90° 3"	2	$45.652,00	$91.304,00
Collarín 2"-1 1/4	10	$22.000,00	$220.000,00
Collarín 1 1/4 - 1/2	625	$7.900,00	$4.937.500,00
Pulsar NETAFIM	625	$51.783,75	$32.364.843,75
Vv solenoide 2"	10	$138.701,49	$1.387.014,90
Vv de bola 3" cromada	1	$259.206,00	$259.206,00
Vv de pie PVC 3"	1	$60.000,00	$60.000,00
Vv check bronce 2"	1	$154.800,00	$154.800,00
Vv PVC de bola 2"	1	$17.600,00	$17.600,00
Bomba	1	$3.232.040,00	$3.232.040,00
Paneles fotovoltaicos	12	$673.057,00	$8.076.684,00
Inversor solar	1	2500000	$2.500.000,00
Banco de baterías	6	$617.104,00	$3.702.624,00
Colector solar	37	$5.139.000,00	$190.143.000,00
Tanque de almacenamiento	1	$55.731.900,00	$55.731.900,00
Otros gastos		$11.000.000,00	$11.000.000,00
		Total	**$320.835.759,65**

Tabla 19 Costo de materiales (Elaboración Propia).

Es de aclarar que para otros gastos se tienen en cuenta el valor de elementos como solenoides, temporizadores, soldadura, perfiles metálicos entre otros, esto por cuestiones de comodidad no serán nombrados en detalle.

A partir del precio total de los componentes se establece una utilidad del 20% para el proyecto, es decir la ganancia que se desea tener comercializando el sistema.

Calculando la utilidad se tiene:

$$Utilidad = Coste\ de\ productos * \%\ utilidad\ deseada \quad (47)$$

$$Utilidad = 320.835.759{,}65 * 0.2 = \ 64.167.151{,}93$$

Con lo que se tendría una venta total del proyecto:

$$Total\ proyecto = 320.835.759{,}93 + \ 64.167.151{,}93 = 385.002.911{,}58$$

Teniendo en cuenta los valores anteriores se determina la relación costo beneficio:

$$B/C = \frac{VAI}{VAC} \quad (48)$$

Donde:

- B/C = Relación costo-beneficio
- VAI = Valor actual de los ingresos totales
- VAC = Valor actual de los costos de inversión o costos totales

Calculando B/C se establece el valor total del proyecto como VAI y coste de productos como VAC se tiene:

$$B/C = \frac{385.002.911{,}58}{320.835.759{,}93} = 1{,}2$$

El resultado anterior indica que B/C es mayor que 1 por lo que el proyecto es rentable, caso contario si este valor fuera menor o igual a 1.

8.2. Retorno de inversión

Teniendo en cuenta al agricultor como principal inversionista se evalúa el tiempo de retorno que puede tener esta misma, con lo que se deben conocer factores de producción, es decir la cantidad de producto (papa) que se obtiene por cosecha, costo y ganancia obtenida por cultivo.

Para el año 2019 la federación colombiana de productores de papa (FEDEPAPA) establece un rendimiento de cultivo de 21,5 toneladas de papa por hectárea teniendo un costo de producción de $15.355.357 para la región de Boyacá en la variedad diacol capiro (FEDEPAPA, 2019).

Conociendo el área de una hectárea ($10000\ m^2$) y una ocupación de los equipos de $165\ m^2$, tomando el valor de área de paneles 1.99 m^2 anexo G que será multiplicado por 12 tabla 15, así como el área útil de los colectores solares junto con la cantidad de los mismos tabla 18, anexo H, tanque de almacenamiento 29.76 m^2 anexo J, 7,39 m^2 de tolerancia para la bomba y elementos como tubería de instalación, se determina el valor en pesos de lo que dejaría de producir el terreno ocupado por el proyecto en una cosecha.

Tomando $15.355.357 el cual representa el valor de producción para una hectárea, se multiplica por 165 m^2 que es el área de ocupación del proyecto es decir ($15.355.357*165 m^2/10000 m^2) significando $253.363,39 que deja de producir el terreno ocupado por los dispositivos e implementos del sistema de riego.

Debido a que un cultivo es cosechado cerca de 120 días se toma una producción anual de 3 cosechas por año, por lo que los costos de inversión y ocupación del terreno tienen un valor de $46.066.071 y $760.090 respectivamente. Así mismo se sabe que una hectárea produce 21500 Kg de papa por cultivo comercializada a 2300 Kg con lo que se tiene una venta total de $49.450.000, para una ganancia neta de $33.841.279, restando el valor de inversión inicial junto con la ocupación del proyecto; representando $101.523.838 anuales.

Con los valores anteriormente mostrados se calcula el retorno de inversión así:

$$Retorno\ de\ inversión = \frac{Costo\ de\ Inversión}{Ganancia\ anual} \tag{49}$$

Teniendo como resultado:

$$Retorno\ de\ inversión = \frac{385.002.911{,}58}{101.523.838} = 3{,}79\ años$$

El valor de retorno de inversión puede variar debido a la fluctuación en los valores de ganancia por lo que el valor calculado es un valor estimado.

9. Análisis de resultados

El sistema de riego evaluado en este proyecto presenta desventajas en términos económicos, en comparación con el valor de las hélices implementadas para mitigar las heladas, debido a que el costo para el último en mención varía desde los 30.000 a 33.000 dólares teniendo consumos de combustible de 5, 40,70 L/h dependiendo si es gasolina, petróleo o gas (Red agrícola, 2017).

En términos de contaminación ambiental el sistema seleccionado tiene emisiones nulas de gases de efecto invernadero, en comparación con los sistemas de ventiladores, pues dependen mayormente de combustibles fósiles aportando a las emisiones de CO_2 al ser comparados con alimentación fotovoltaica, el sistema de riego tendrá menor número de paneles debido a la potencia que se requiere, ya que las hélices requieren de gran potencia para impulsar grandes cantidades de aire. Otro aspecto a resaltar de la implementación de riego es la aptitud que tiene para combatir heladas radiativas y advectivas caso contrario de las torres de ventilación que solo proporciona protección para heladas por radiación (FIA; INIA; DMC; FDF, 2016).

El sistema de aspersores mostrado en el proyecto resulta conveniente de implementar en la región de Saboya debido a la disposición del recurso hídrico con la que cuenta la región; esto por su bajo consumo encontrándose por debajo del 50% en comparación al riego de sistemas por de aspersión de cobertura total, dando un mejor manejo del agua y la energía produciendo un ahorro en estos (Regaber, 2020).

Los sistemas automatizados han permitido el desarrollo e innovación en diversos ámbitos de la industria, es por eso que el sector agrícola no puede ser ajeno a los cambios y con ello la mejora de procesos tales como la detección oportuna de las heladas como ya se ha mencionado anteriormente. El sistema propuesto trae como beneficio la disminución de potencia de la bomba además de la baja intervención humana para el accionamiento de componentes o la misma, trayendo como beneficio reducir los costos de operación.

La propuesta de automatización está sujeta a mejoras como la inicialmente mostrada, el cual utiliza dispositivos móviles para el accionamiento y control. Este tipo de mejoras presenta mayor complejidad a nivel de programación, siendo necesario acudir a personal calificado para ejecutar dicha operación elevando el valor final del sistema de riego.

10. Redacción de artículo y selección de revista

A partir de los resultados encontrados para la investigación de "Sistema autónomo de aprovechamiento de energía solar térmica y fotovoltaica para contrarrestar heladas en cultivos agrícolas. Municipio de Saboya Boyacá", se establece la creación de un artículo científico con el fin de informar a la comunidad científica los resultados y conclusiones halladas en este documento.

Para la creación del documento es necesaria la guía de páginas o editoriales expertas en el asunto, las cuales darán las pautas adecuadas con el fin de establecer la cantidad de páginas necesarias, tipo de letra, tamaño de la misma, cuerpo del documento, es decir características esenciales como título, introducción, metodología y partes relevantes.

Dentro de las recomendaciones establecidas para la construcción de artículos de investigación científica y tecnológica las guías de las universidades: Universidad Pedagógica y Técnica de Colombia, Universidad Tecnológica de Pereira, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, basan su estructura a partir de la guía dada por la organización de las naciones unidas para la educación, la ciencia y la cultura UNESCO determinan que los textos deben presentarse de forma detallada, junto con los resultados originales de la investigación, además de estar conformados por cuatro partes: introducción, metodología, resultados y conclusiones (Martinsson, 1983).

Las diferencias que se pueden encontrar en cada guía son la cantidad de palabras clave que pueden estar presentes, ya que varían de un máximo de 10 palabras como lo es para la Tecnológica de Pereira o de 6 para la Universidad Distrital, para cualquiera de las tres revistas mencionadas el orden de estas deben ir alfabéticamente. La extensión de resumen también varía de 200 palabras para la Pedagógica y Técnica de Colombia al igual que la Universidad Distrital o de 100 para la Tecnológica de Pereira dependiendo del área de interés.

El artículo redactado, toma como referencia la revista de investigación desarrollo e innovación de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, cuyas pautas establecen un número máximo de 20 páginas en letra Times New Roman 12 puntos a doble espacio y una columna, el título debe ir en español e inglés al igual que el resumen con sus respectivas palabras clave en orden alfabético.

Si se considera la construcción o cambio del documento mediante las guías mencionadas u otras de interés, es necesario tener en cuenta los parámetros que tendrán cada una de ellas, lo cual puede hacer necesario el cambio total o parcial del texto elaborado. Dentro de la construcción de artículos se define el alcance, tema de interés, tipo de articulo (científico, revisión), y tipo de citas que pueden estar entre APA (American Psycologal Association) o IEEE (Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos) siendo esta última para las ramas de ingeniería; generalmente no existe una guía universal para redactar este tipo de documentos pero si se debe tener en cuenta las recomendaciones de cada institución (Scientia et Technica, s.f.).

Conclusiones

La región de Saboya se caracteriza por pertenecer al sector primario de la industria donde el cultivo (papa y maíz) forma parte del mayor porcentaje de producción, es por eso que el riego y la prevención de heladas hacen parte fundamental para evitar grandes pérdidas monetarias. El aprovechamiento de la energía solar representa una gran contribución para la alimentación de dispositivos eléctricos; esta zona cuenta con una disposición adecuada de radiación solar, lo que contribuye al valor final de horas solar pico (HSP).

La adaptación de sistemas activos para contrarrestar las heladas a sistemas térmicos fotovoltaicos permite minimizar la contaminación como lo es para el caso de las estufas, para ventiladores o sistemas de aspersión los cuales son alimentados con energía eléctrica.

A partir del dimensionamiento de la bomba, se puede definir el consumo y potencia, con lo que se evidencia que para el caudal relativamente bajo, componentes implementados además de la longitud total establecida se genera una altura (h) significativamente grande y una potencia pequeña para bombas horizontales, por lo que es necesario recurrir a bombas especiales, dentro de la cuales se encuentran las centrifugas de alta velocidad o específicamente bombas multietapa representando mayor gasto económico.

Reduciendo la longitud total, es decir, seccionando la aspersión se reduce considerablemente la altura (h) y por ende la potencia requerida, con lo que la implementación de bombas horizontales se hace más factible como se evidencia en los cálculos hechos. Cabe resaltar que los aspersores implementados son de bajo consumo con respecto a los tradicionalmente empleados, esto con el fin de obtener los mismos resultados con un bajo consumo de líquido.

Con la implementación de paneles fotovoltaicos se genera la autonomía del sistema, permitiendo que la ubicación del proyecto pueda hacerse en zonas apartadas o con poco acceso a la electricidad, adicionalmente si se cambia de región, es necesario evaluar nuevamente la cantidad de paneles, debido a que la radiación que incide sobre el suelo es diferente para cada territorio.

Aspectos como el dimensionamiento del banco de baterías cambia al momento de aumentar el número de días de autonomía, por lo que también aumenta la gama de selección, como es el caso para almacenamientos de energía de tipo alcalina cadmio/níquel que incrementan cerca de un 100% la relación ($CB \geq (Cd/Pfdiario)$) o la igualación de está para arranque plomo/ácido, permitiendo así buscar alternativas en el mercado que se ajusten a los recursos monetarios disponibles.

Al implementar el sistema de colectores solares para elevar la temperatura se evidencia que la transferencia de calor de la planta al entorno por convección es mucho menor que si se implementara un sistema tradicional de riego, para el caso de transferencia de calor por radiación, esta cederá más energía al cielo nocturno pero siempre cediendo la energía suficiente para garantizar la protección a la planta o al cultivo.

Otra forma de implementar el sistema de riego es con la omisión del tanque de agua caliente siempre y cuando se disponga de una fuente hídrica para abastecerse, además de no hacer uso de los colectores, lo que conlleva a un valor de inversión inicial más bajo y por ende un retorno de la misma en un menor periodo.

Con el fin de informar a la comunidad académica los resultados obtenidos de la investigación, la elaboración de un artículo científico (Anexo G) se hace pertinente, por lo cual se recurre al modelo mencionado en el capítulo 9 abordando: ecuaciones y resultados principales para dimensionamiento de sus componentes (bomba, colectores, paneles solares). El documento (artículo) busca incentivar la implementación de energías renovables en la agricultura apoyando la innovación en el campo colombiano dando la posibilidad mejorar y crear nuevos diseños.

11. Referencias

Agua y fuego contra las heladas. (Marzo de 2018). Obtenido de Conocer la agricultura y la ganaderia : http://www.conocerlaagricultura.com/2018/03/agua-y-fuego-contra-las-heladas.html

Angulo, A., Martinez, F., & López, G. (2017). *Almecenamiento de energía usando ultracondensadores en sistemas fotovoltaicos autónomos* . Bogotá: Visión electronica .

Ávila, S. S. (2017). *Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica. Caso de aplicación en la ciudad de Bogotá.* Bogotá: Revista cientifica CIDC.

B, L. M., G, A. I., & P., L. R. (Marzo-Abril de 2008). Control de heladas en la agricultura. *Inia tierra adentro*.

B.V. Karlekar, R. D. (s.f.). *Transferencia de calor*. Mc graw hill.

Beltran, S. C. (2013). *Analisis situacional de salud del municipio de Saboyá.* Saboyá.

Buitrago, N. P. (2012). *Diseño de un sistema automático de defensa contra las heladas aplicable a un cultivo de papa en el altiplano cundiboyacense, empleando telemetria.* Bogotá.

Cardona, S. R. (2018). *Propueata de un sistema fotovoltaico en el centro experimental de la universidad distrital "El Tibar".* Bogotá .

CMGRD. (2012). *Plan municipal de gestión de riesgos de desastres.* Saboyá (Boyacá).

Duffo, E. B. (s.f.). Obtenido de Geografia cultural de Boyacá: http://www.boyacacultural.com/index.php?option=com_content&view=article&id=675&Itemid=3

Fabian Andrés Salamanca Figueroa, C. C. (2017). *Prototipo de monitoreo y alarma para la detección de heladas blancas en sectores rurales de Sogamoso.*

Fascal estufas californianas. (s.f.). *Protección y prevención de heladas*. Obtenido de http://www.estufascalifornianas.com/

FEDEPAPA. (2019). *Boletin regional No.07.* Bogotá.

Fernández, V. S. (2008). *Valoración de cvolectores solares térmicos planos de vacio para la producción en frío.* Leganés.

FIA; INIA; DMC; FDF. (2016). *Heladas: tipos, medidas de prevención y manejos posteriores al daño - Guía de uso del sitio.* O'Higgins y el Maule (Chile).

Gómez, G. M. (2010). *Las heladas en el peru y el mundo* . Huancayo.

Hydro Environment. (2020). *Hydro Environment h-e.mx*. Obtenido de

https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=150

IDEAM. (2012). *Actualización Nota Tecnica Heladas.*

IDEAM. (2014). *Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia*. Obtenido de http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html

Leal, E. B. (2011). *Prototipo de campo de colectores solares cilindro-parabólicos para eneración de calor a alta temperatura.*

López, G. (s.f.). *Energía solar fotovoltaica.*

López, G. (s.f.). *Energía solar térmica.*

Martín, J. (29 de Agosto 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

Martinsson, A. (1983). *Guia para la redacción de articulos cientificos destinados a la publicación*. Obtenido de UNESDOC Biblioteca digital: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000055778_spa

Montoya, D. E. (2013). *Sistema de protección contra las heladas empleando energía solar y telemetría.* Bogotá.

Mott, R. L. (2006). *Mecánica de fluidos.* Pearson Educación.

Netzahualcóyotl SaucedoMartinez, J. A. (2020). *Sistema contra heladas, un recurso para aumentar la productividad en cultivos con entornos cerrados en el Occidente de México.* Obtenido de Repositorio De La Red Internacional De Investigadores En Competitividad: https://www.riico.net/index.php/riico/article/view/1814

Red agrícola. (Marzo de 2017). *Una hélice móvil y de bajo costo de operación TOW & BLOW: Flexibilidad y eficiencia en control de heladas* . Obtenido de https://www.redagricola.com/cl/una-helice-movil-costo-operacion-tow-blow-flexibilidad-eficiencia-control-heladas/

Regaber. (21 de Enero de 2020). *Riego antihelada*. Obtenido de https://regaber.com/noticias/riego-antihelada/

Scientia et Technica. (s.f.). *Guia rapida para elaboración de articulos*. Obtenido de https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/formatos

Snyder, R. L., & Melo-Abreu, J. P. (2010). *Protección contra heladas: Fundamentos, práctica y economía.*

Solargreen. (s.f.). *Normativa colombiana - Energías renoables no convencionales* . Obtenido de http://www.solargreen.com.co/normativa.html

Tarjuelo, J. M. (1991). *El riego por aspersión: Diseño y funcionamiento.* España: Ediciones de la universidad de castilla-la mancha.

Tovar, M. A. (2020). *Propuesta para la protección del cultivo de papa criolla durante la temporada de heladas en la finca "Los papiros" del municipio de Tabio, Cundinamarca.* Bogotá.

TRAXCO. (3 de Abril de 2018). *Pulsar Netafim para combatir heladas*. Obtenido de https://www.traxco.es/blog/productos-nuevos/pulsar-netafim#:~:text=El%20Pulsar%20es%20un%20pulsador,)%2C%20mediante%20micro%2Demisores.

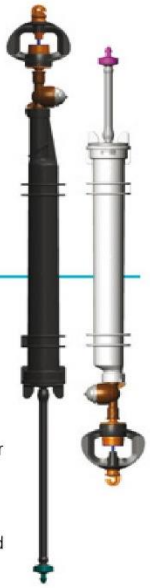
Weather Spark. (s.f.). *El clima promedio en Saboyá*. Obtenido de https://es.weatherspark.com/y/24329/Clima-promedio-en-Saboy%C3%A1-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o

Yunus A. Cengel, A. J. (2011). *Transferencia de calor y masa* . Mc Graw Hill.

12. Anexos

Anexo A. Ficha técnica aspersor.





PULSAR™ WITH GYRONET™ HEAD

PRESSURE COMPENSATED EMITTER

APPLICATIONS

- Frost-mitigation in fruit trees.
- Cooling of fruit trees and other crops.

SPECIFICATIONS

- Pressure compensated micro-sprinkler.
  Consists of a flow regulator (Pressure Compensated dripper), a micro tube connecting between the regulator and the tube chamber inlet, a tube with an air bag inside, AD valve and micro-sprinkler head.
- Pressure regulating range: according to model.
  Minimum working pressure at the pressure compensated dripper inlet: 1.7 or 2.5 bar.
  Micro-sprinkler height above distributor pipe should be added to the required minimum recommended working pressure, when calculating the minimal pressure required for product's proper operation.
- Recommended filtration: 130 micron / 120 mesh.
  Filtration method is to be selected based on the kind and concentration of the dirt particles contained in the water.
  Wherever sand in the water exceeds 2 ppm exists, Hydrocyclone is to be installed before the main filter.
  When sand / silt / clay exceed 100 ppm, pre-treatment will be applied according to Netafim™ expert team's instructions.
- Flow rates: 8, 12, 15, 20, 25 l/h.
- 3 different swivels : SR, SRD, SSR (distribution data attached).
- Recommended installation: one emitter above each tree or according to the crop needs.
- In order to ensure the water covering pattern, make sure that the poles / rods / stakes on which the Pulsar's are to be installed, are absolutely vertical.
- Inlet connectors: barb.
- Can be mounted on wood or metal stakes.
- Chemical resistant to standard nutrients used in agricultural.

FEATURES AND BENEFITS

- The Pulsar™-GyroNet™ frost-mitigation / cooling system operates using as little as 15 m^3/h hectare (depending on trees spacing) - less than 50% the water required by full-coverage sprinkler systems.
- Several pulses per minute, according to the selected flow rate, ensure continuous irrigation over a large area for many hours.
- Pressure compensated: Precise and equal amounts of water are delivered over a broad pressure range. 100 % uniformity of water distribution along the laterals.
- Unique regulation mechanism makes it the perfect choice for hillside applications or longer rows.
- Soil saturation / flooding are avoided even after many hours of irrigation.
- The water supply system including pump, filtration system, pipes and fittings is relatively small and far less expensive to purchase, install and maintain.
- Micro-sprinkler made of plastic materials resistant to standard nutrients used in agricultural and weather conditions.
- Energy and water saving.
- Simple, modular parts.
- Distributes relatively small water amounts over a large wetted area.

Anexo B. Especificaciones aspersor

PULSAR™ WITH GYRONET™ HEAD IN UPRIGHT (UR) INSTALLATIONS

MODEL	FLOW RATE (L/H)	WITH BLUE PIN AD VALVE, AT 2.5 BAR PRESSURE AT THE FLOW REGULATOR INLET			WITH BLACK PIN AD VALVE, AT 1.7 BAR PRESSURE AT THE FLOW REGULATOR INLET		
		WETTED DIAMETER* (M)	WETTED AREA (M^2)	PRECIPITATION RATE AVERAGE (MM/H)	WETTED DIAMETER* (M)	WETTED AREA (M^2)	PRECIPITATION RATE AVERAGE (MM/H)
GyroNet™ SR	8	4.0	12.6	0.6	3.5	9.6	0.8
GyroNet™ SR	12	5.0	19.6	0.6	4.0	12.6	1.0
GyroNet™ SR	15	5.0	19.6	0.8	4.5	15.9	0.9
GyroNet™ SR	20	5.5	23.8	0.8	4.5	15.9	1.3
GyroNet™ SR	25	6.0	28.3	0.9	4.5	15.9	1.6
GyroNet™ SRD	8	2.5	4.9	1.6	2.0	3.1	2.5
GyroNet™ SRD	12	2.5	4.9	2.4	2.0	3.1	3.8
GyroNet™ SRD	15	2.5	4.9	3.1	2.0	3.1	4.8
GyroNet™ SRD	20	3.0	7.1	2.8	2.5	4.9	4.1
GyroNet™ SRD	25	3.0	7.1	3.5	2.5	4.9	5.1
GyroNet™ SSR	8	1.5	1.8	4.5	2.0	3.1	2.5
GyroNet™ SSR	12	2.0	3.1	3.8	2.5	4.9	2.4
GyroNet™ SSR	15	2.5	4.9	3.1	2.5	4.9	3.1
GyroNet™ SSR	20	2.5	4.9	4.1	3.0	7.1	2.8
GyroNet™ SSR	25	3.0	7.1	3.5	3.0	7.1	3.5

* wetted diameter at 0.5 meter above crop

PULSAR™ WITH GYRONET™ HEAD IN UPSIDE DOWN (UD) INSTALLATIONS

MODEL	FLOW RATE (L/H)	WITH BLUE PIN AD VALVE, AT 2.5 BAR PRESSURE AT THE FLOW REGULATOR INLET		
		WETTED DIAMETER* (M)	WETTED AREA (M^2)	PRECIPITATION RATE AVERAGE (MM/H)
GyroNet™ SR	12	3.5	9.6	1.2
GyroNet™ SR	15	3.5	9.6	1.6
GyroNet™ SR	20	3.5	9.6	2.1
GyroNet™ SSR	12	2.0	3.1	3.8
GyroNet™ SSR	15	2.0	3.1	4.8
GyroNet™ SSR	20	2.0	3.1	6.4

* wetted diameter at 2.5 bar pressure at the flow regulator inlet and at 0.5 meter above crop

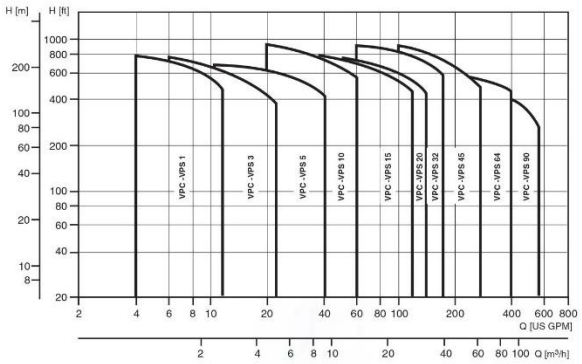
PACKAGING DATA

PULSAR™	QUANTITY P/BOX UNITS	BOX SIZE (CM X CM X CM)	BOX WEIGHT (KG)	BOXES P/PALLET	TOTAL UNITS P/PALLET	PALLET WEIGHT (KG)
Head only (UR tube+AD valve+GyroNet)	150	36 X 31 X 53	7.2	18	2700	142
Head only (UD tube+AD valve+GyroNet)	80	28 X 28 X 57	9.1	32	2560	291
Complete UR stand (120 cm.) w/o stake	50	28 x 27 x 113	8.8	16	800	141
Complete UR stand (200 cm.) w/o stake	50	28 x 27 x 113	9.2	16	800	147
Complete UD stand (30 cm.) w/o stake	100	28 x 27 x 113	15.2	16	1600	243

Anexo C. Ficha técnica bomba multietapa.

VPS - VPC Series

Performance Range 60 Hz



Electrical Data

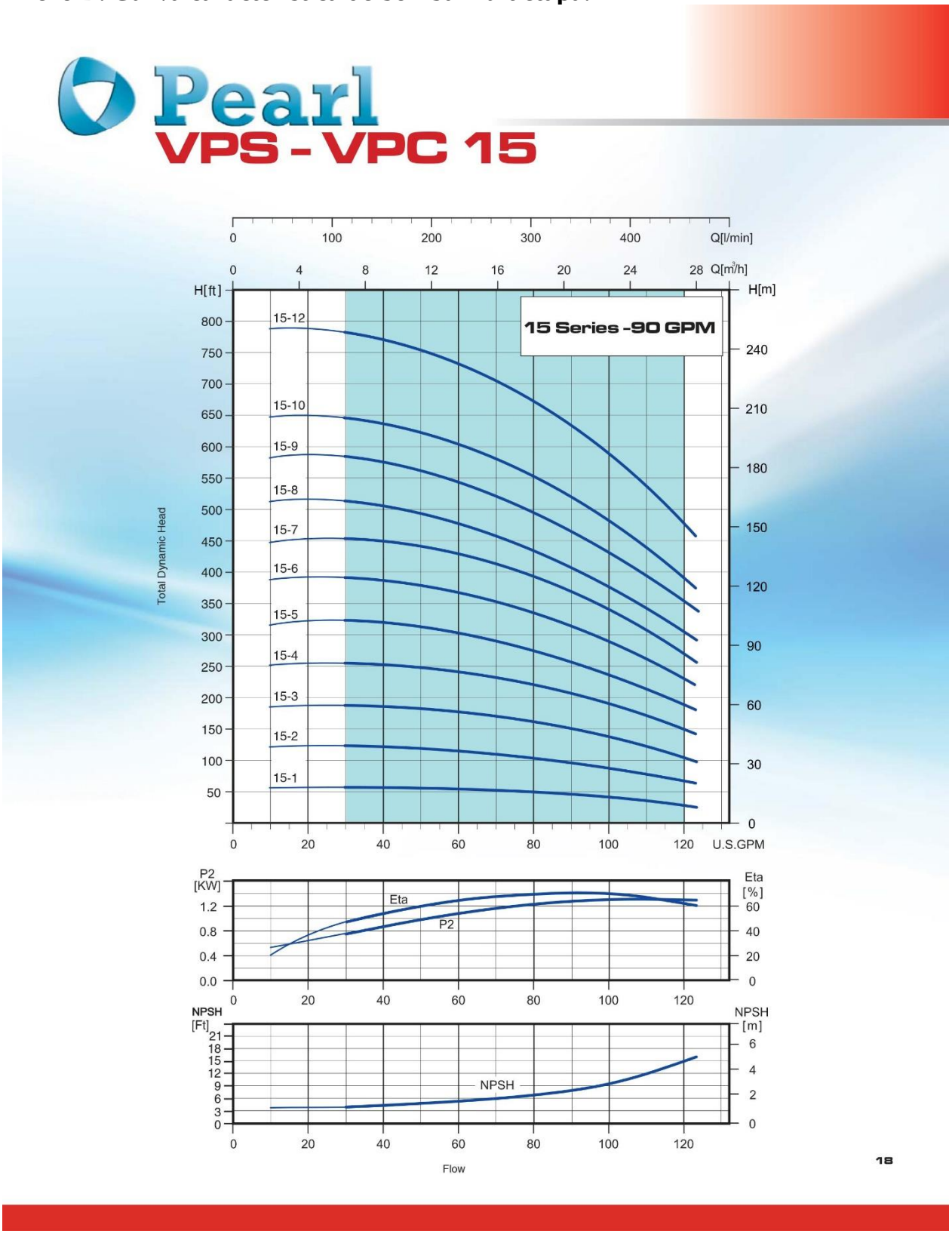
MOTOR TYPE				NOMINAL CURRENT IN [A]			
HP	KW	Pole	Flange	Frame	1PH / 230 V	3PH / 230 V	3PH / 440 V
1.0	0.75	2 (3450 rpm)	B14	80	5.3	3.1	1.7
1.5	1.1			90S	8	4.8	2.6
2.0	1.5			90L	9.5	6	3.3
3.0	2.2			90L	12.7	8.1	4.6
5.5	4.0		B5	112L		14.4	7.5
7.5	5.5			132L		20.9	11.2
10.0	7.5			132M		31	14.7
15	11			160M		37.5	18.7
20.0	15.0			160M		50	25
25	18.5			160L		60.3	30.1
30	22			180M		71.7	35.8
40	30			180M		97	48.5
50	37			200L		118	59
60	45			200L		143	71.5

Product Data

SERIES	VPC & VPS SERIES									
	1	3	5	10	15	20	32	45	64	90
60 Hz										
Nominal Flow [gpm]	9	17	30	50	90	120	160	225	300	450
Flow Range [gpm]	4 - 12	6 - 22	14 - 36	20 - 60	30 - 120	50 - 140	80 - 180	100 - 300	140 - 400	200 - 500
Max Pressure [psi]	333	330	327	347	333	291	383	369	252	225
Fluid temperature [F]	5 to 240									
Motor Power [HP]	0.5 - 5	0.5 - 5	0.75 - 10	1 - 15	2 - 25	3 - 25	3 - 30	7.5 - 60	10 - 60	15 - 60
VERSION										
VPC: Cast Iron and Stainless Steel AISI 304	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
VPS: Cast Iron and Stainless Steel AISI 304	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
PIPE CONNECTION										
Flange [plg]	11/4"	11/4"	11/4"	11/2"	2"	2"	21/2"	3"	4"	4"
MECHANICAL SEALS										
SiC/SiC	STANDARD									
SEALS										
EPDM	STANDARD									
VITON										

5

Anexo D. Curva característica de bomba multietapa.

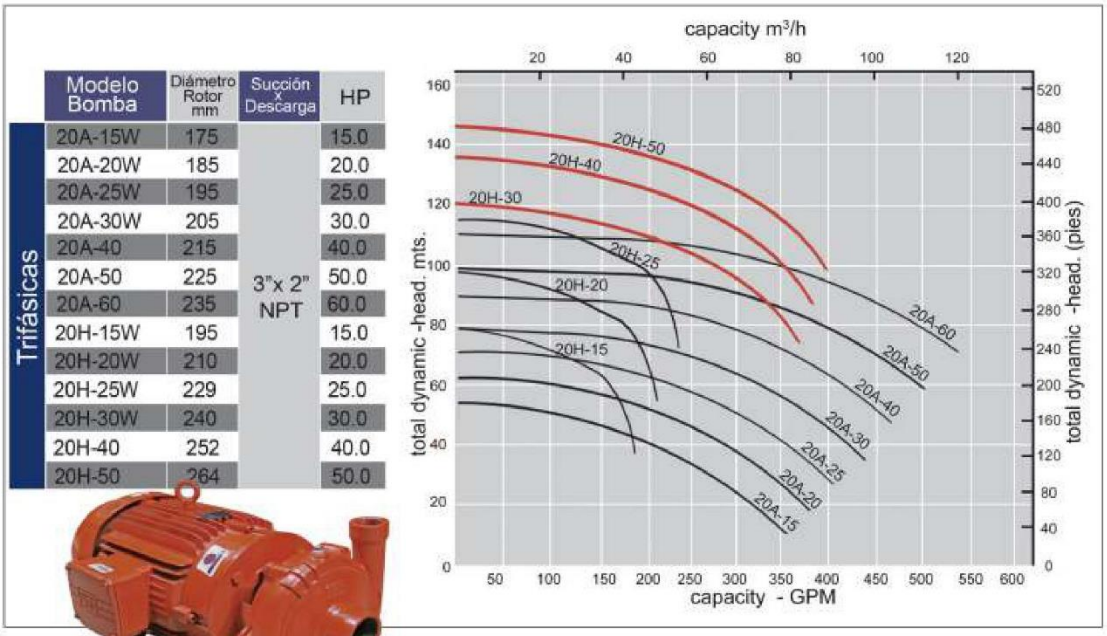


Anexo E. Selección de bomba centrifuga.

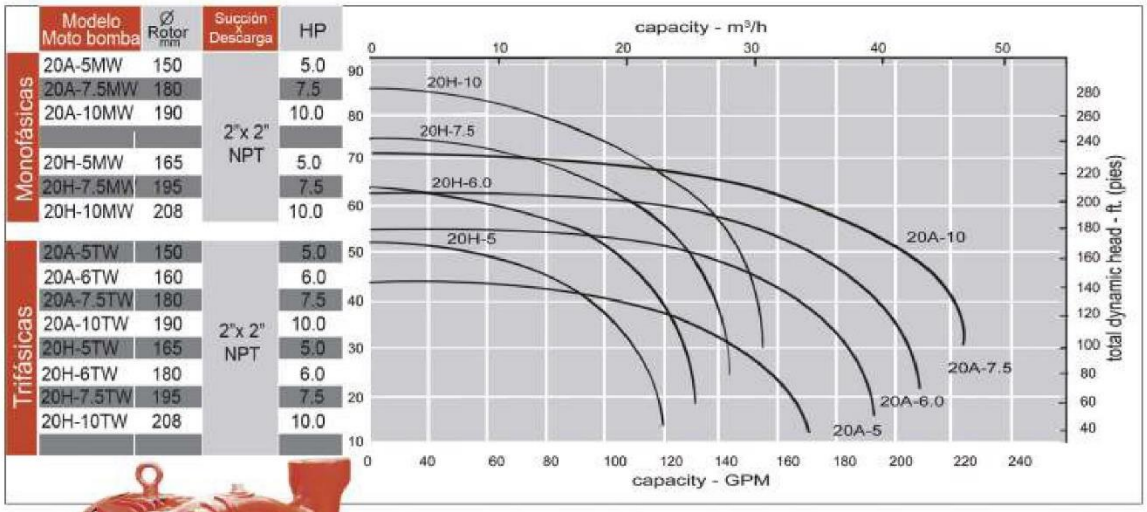
Motobombas Centrifugas de 60 Hz para uso general

Modelos 20A y 20H Trifásicos 3500 RPM 3"x 2" NPT y 2"x2" NPT

	Modelo Bomba	Diámetro Rotor mm	Succión x Descarga	HP
Trifásicas	20A-15W	175	3"x 2" NPT	15.0
	20A-20W	185		20.0
	20A-25W	195		25.0
	20A-30W	205		30.0
	20A-40	215		40.0
	20A-50	225		50.0
	20A-60	235		60.0
	20H-15W	195		15.0
	20H-20W	210		20.0
	20H-25W	229		25.0
	20H-30W	240		30.0
	20H-40	252		40.0
	20H-50	264		50.0



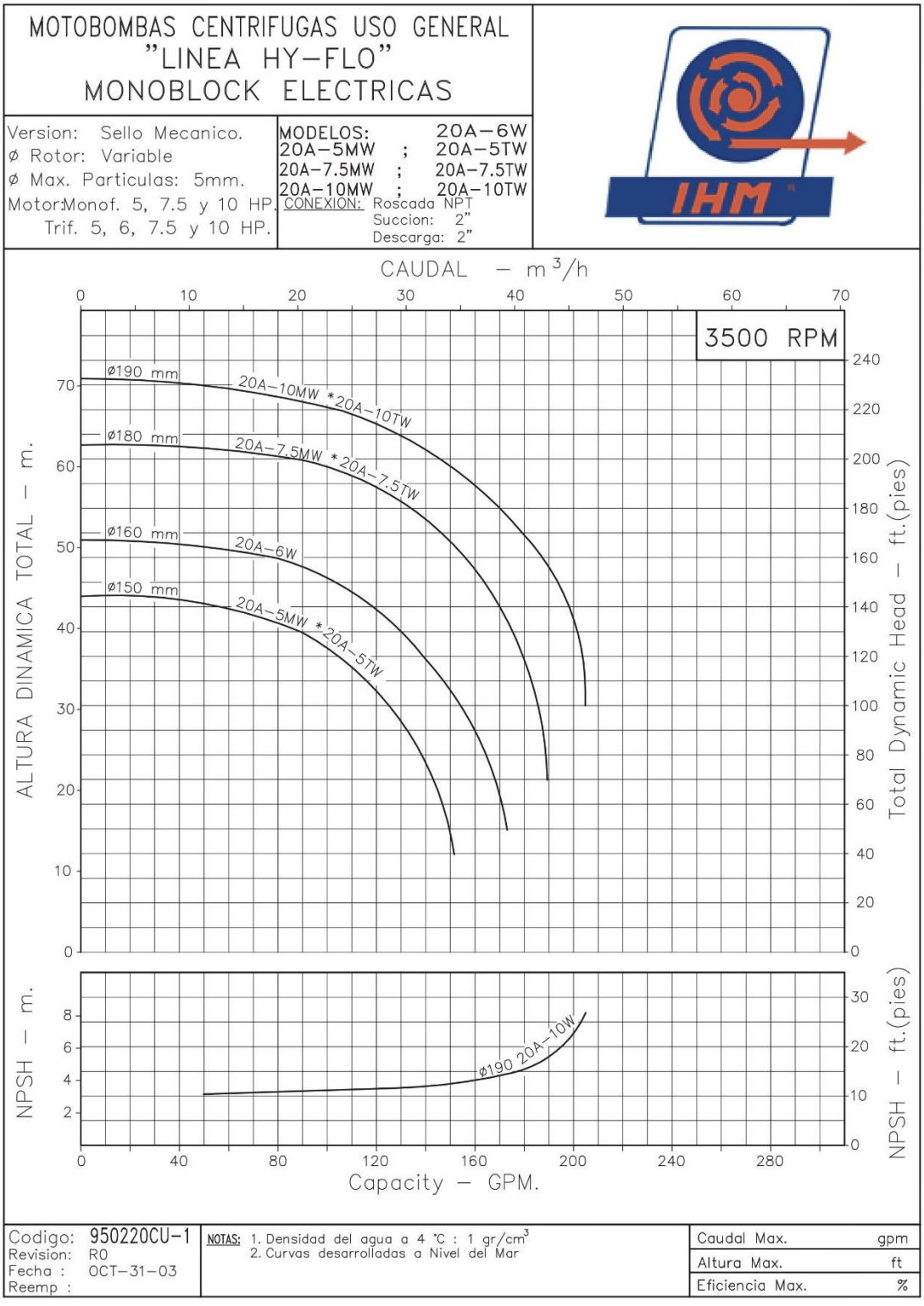
	Modelo Moto bomba	Ø Rotor mm	Succión x Descarga	HP
Monofásicas	20A-5MW	150	2"x 2" NPT	5.0
	20A-7.5MW	180		7.5
	20A-10MW	190		10.0
	20H-5MW	165		5.0
	20H-7.5MW	195		7.5
	20H-10MW	208		10.0
Trifásicas	20A-5TW	150	2"x 2" NPT	5.0
	20A-6TW	160		6.0
	20A-7.5TW	180		7.5
	20A-10TW	190		10.0
	20H-5TW	165		5.0
	20H-6TW	180		6.0
	20H-7.5TW	195		7.5
	20H-10TW	208		10.0





Potencias hasta 60 HP

Anexo F. Curvas características bomba centrifuga.

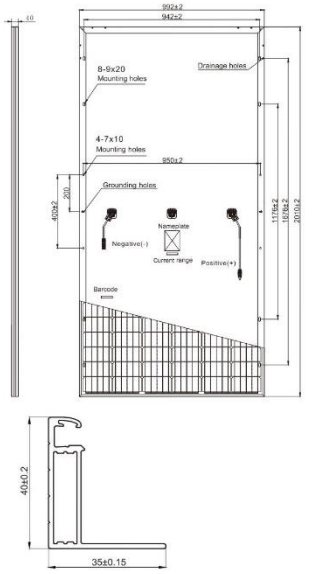


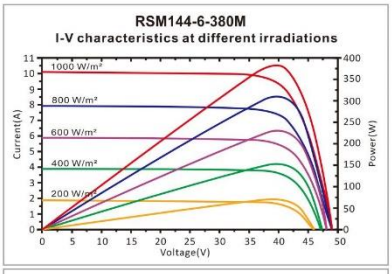
Anexo G. Ficha técnica paneles solares.

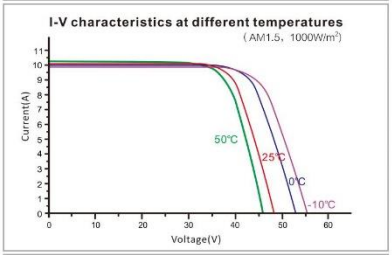
risen solar technology

Dimensions of PV Module

Unit: mm







Our Partners:

ELECTRICAL DATA (STC)					
Model Number	RSM144-6-370M	RSM144-6-375M	RSM144-6-380M	RSM144-6-385M	RSM144-6-390M
Rated Power in Watts-Pmax(Wp)	**370**	**375**	**380**	**385**	**390**
Open Circuit Voltage-Voc(V)	47.60	47.75	48.00	48.15	48.30
Short Circuit Current-Isc(A)	9.90	10.00	10.10	10.20	10.30
Maximum Power Voltage-Vmpp(V)	39.80	39.90	40.05	40.15	40.25
Maximum Power Current-Impp(A)	9.30	9.40	9.50	9.60	9.70
Module Efficiency (%)	18.6	18.8	19.1	19.3	19.6

STC: Irradiance 1000 W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5 according to EN 60904-3.

ELECTRICAL DATA (NMOT)					
Model Number	RSM144-6-370M	RSM144-6-375M	RSM144-6-380M	RSM144-6-385M	RSM144-6-390M
Maximum Power-Pmax (Wp)	276.7	280.3	284.4	288.1	291.8
Open Circuit Voltage-Voc (V)	43.80	43.90	44.20	44.30	44.40
Short Circuit Current-Isc (A)	8.12	8.20	8.28	8.36	8.45
Maximum Power Voltage-Vmpp (V)	36.50	36.60	36.70	36.80	36.90
Maximum Power Current-Impp (A)	7.59	7.67	7.75	7.83	7.92

NMOT: Irradiance at 800 W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA	
Solar cells	Monocrystalline 156.75×78.375 mm, 5BB
Cell configuration	144 cells (6×12+6×12)
Module dimensions	2010×992×40mm
Weight	23kg
Superstrate	3.2 mm, High Transmission, Low Iron, Tempered ARC Glass
Substrate	White Back-sheet
Frame	Anodized Aluminium Alloy type 6063T5, Silver Color
J-Box	Potted, IP67, 1500VDC, 3 Schottky bypass diodes
Cables	4.0mm² (12AWG), Positive(+)270mm, Negative(-)100mm
Connector	Risen Twinsel PV-SY02, IP67

TEMPERATURE & MAXIMUM RATINGS	
Nominal Module Operating Temperature (NMOT)	45°C±2°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.29%/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.05%/°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.39%/°C
Operational Temperature	-40°C~+85°C
Maximum System Voltage	1500VDC
Max Series Fuse Rating	20A
Limiting Reverse Current	20A

PACKAGING CONFIGURATION		
	40ft	20ft
Number of modules per container	594	270
Number of modules per pallet	27	27
Number of pallets per container	22	10
Packaging box dimensions (LxWxH) in mm	2040×1130×1130	2040×1130×1130
Box gross weight[kg]	670	670

CAUTION: READ SAFETY AND INSTALLATION INSTRUCTIONS BEFORE USING THE PRODUCT.

©2019 Risen Energy. All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

THE POWER OF RISING VALUE

REM144-M-5BB-EN-H1-2-2019

Anexo H. Ficha técnica colector solar.

CO-2780 S

Modelo		CO 2780 S
Dimensiones exteriores LxAxH	mm	2439 x 1205 x 100
Dimensiones de apertura LxA	mm	2422 x 1188
Superfi cie total	m2	2,93
Superfi cie apertura	m2	2,81
Peso en funcionamiento		55
Absorbedor (Tubos de cobre)		Lámina de cobre acabada con pintura por electro deposición selectiva ETA PLUS unida a haz de tubos de cobre ø 8 x 0,5 mm por medio de soldadura por ultrasonidos
Absorbedor Absorbancia/Emitancia		95 %/5 %
Temperatura máx. de funcionamiento		200°
Capacidad líquido caloportador (agua + glicol)		1,95 litros
Presión máxima de trabajo		6 bar
Caudal en colector nominal		120 l/h
Tipo de cristal		Cristal solar endurecido de alta resistencia
Características cristal		Transmisión radiación: Aprox. 90,8 % Prismático con bajo contenido de hierro
Grueso cristal		3,8 mm
Aislamiento posterior- Lana de roca		50 mm
Cerramiento (carcasa envolvente)		Lámina de aluminio en todo el contorno inferior y lateral de una sola pieza. Marco de aluminio con lámina posterior de aleación de aluminio y magnesio (ALMg3)
Junta de estanqueidad del colector		Realizada en EPDM de una sola pieza, asegurando de esta manera una continuidad en todo el colector, evitando así, tanto infiltraciones pluviales, como perdidas térmicas en el propio colector
Marco de cerramiento del colector		De aluminio anodizado, fijado con el envolvente del colector y la junta de goma por medio un perfil en la parte posterior embutiéndose el conjunto, para asegurar la estanqueidad del propio colector
Líquido caloportador		Solución de agua y glicol más aditivo anticorrosivo
Pérdida de carga en el colector		Caudal 160 l/h = 0,727 mbar
Conexiones hidráulicas		4 conexiones x ø 22 rosca 1"
Orificio situación sonda temperatura		Parte superior izquierda, ø 8 mm

Anexo I. Ficha técnica tanque de almacenamiento de agua.

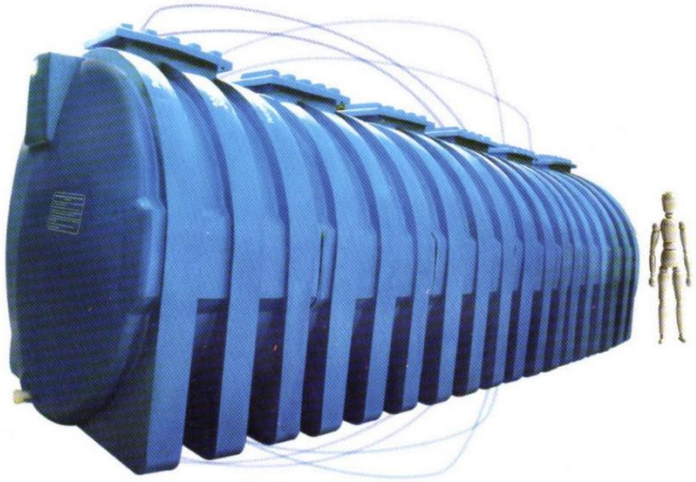
Cilíndricos Horizontales

Ventajas:

- No son atacados por hongos y bacterias
- Fácil de transportar e instalar
- No se biodegradan
- Resistentes a la corrosión
- Resistencia al impacto, higiénicos

TANQUES HORIZONTALES

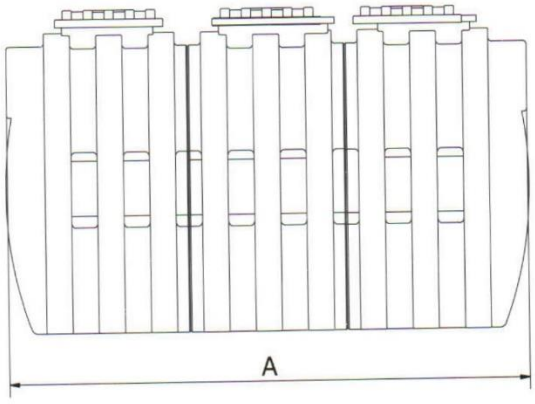
Desde 1.650 hasta 50.000 litros solo para almacenamiento de agua.

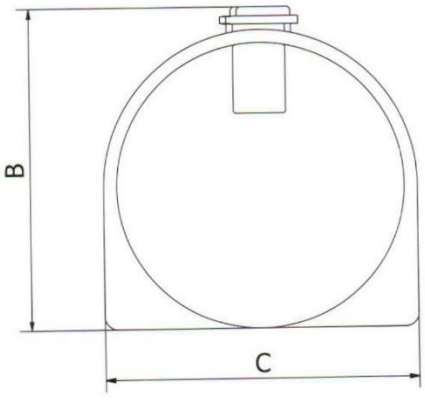


Capacidades y medidas Cilíndricos horizontales

Capacidad (Lts. medidas nominales)	Medida (mm)		
	A	B	C
1650	2300	1075	1000
2000	2100	1250	1100
3000	2300	1500	1350
5000	2400	1890	1800
7500	3450	1890	1800
10000	4500	1890	1800
12500	5550	1890	1800
15000	6600	1890	1800
17500	7650	1890	1800
20000	5200	2480	2400
25000	6400	2480	2400
30000	7600	2480	2400
35000	8800	2480	2400
40000	10000	2480	2400
45000	11200	2480	2400
50000	12400	2480	2400

Planos técnicos





Anexo J. Artículo científico.

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

John Villamil[1], Germán López[2]
Estudiante Universidad Distrital[1], Colombia; Docente, Universidad Distrital[2], Colombia
jjvillamilp@correo.udistrital.edu.co[1]; galopezm@uditrital.edu.co[2]

RESUMEN: las heladas a lo largo del tiempo han generado grandes pérdidas en el sector agrario, por lo que se han buscado soluciones para combatirlas 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.