



STRUCTURAL TRANSPORT DESIGN FOR PORTABLE PUMPING SYSTEM ACTIVATED WITH SOLAR PHOTOVOLTAIC ENERGY FOR THE DEPARTMENT OF BOYACÁ

DISEÑO ESTRUCTURAL DE TRANSPORTE PARA SISTEMA DE BOMBEO PORTÁTIL ACTIVADO CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ

Rua, R.E. *, **Cely, L. ***, **González, A.****, **Granados, A****,
Ramírez, R***

** Facultad Ingeniería mecánica, Grupo de Investigación: GIDINT.
USTA-Tunja, Boyacá, Colombia. Teléfono (8) 7440404
E-mail: edwin.rua@usantoto.edu.co*

*Escuela de ciencias básicas tecnología e ingeniería (ECBTI),
Grupos de investigación: **GIDESTEC,***GIEPRONAL
UNAD-Tunja, Boyacá, Colombia. (8) 7443587
E-mail: angela.gonzalez@unad.edu.co.*

Abstract: The portable pumping system for irrigation of crops in the department of Boyacá, activated by photovoltaic solar energy, corresponds to one of the possible practical solutions with high potential of implementation for the entire agricultural sector, the mobilization process is usually affected by the lack of electricity networks in the rural area. In Boyacá most of the productive units require the use of motor pumps driven by ACPM or gasoline, generating a negative impact on the economic component and the environment. With the structural design of a manual, practical and light means of transport for the solar pumping system *fv.*, It can contribute significantly to the solution of the problem. In the design of this means of transport Shigley's design methodology was applied, for the analysis and optimization of the design a matrix of criteria was applied, during the design evaluation process stress calculations were carried out applying the Von Misses theory. As a final result, a manual, practical, light, economical, ergonomic, safe and reliable means of transportation was obtained. In conclusion, the sizing of the photovoltaic solar system was carried out according to the power required by the pump, and with this data the structural design of the transport was made.

Keywords: Pumping, Construction, Design, Shigley methodology, Irrigation, Solar photovoltaic, Transportation





Resumen: El sistema de bombeo portátil para riego de cultivos en el departamento de Boyacá, activado por energía solar fotovoltaica, corresponde a una de las posibles soluciones prácticas, con alto potencial de implementación para todo el sector agrícola. El proceso de movilización usualmente se ve afectado por la carencia de redes eléctricas en la zona rural. En Boyacá la mayoría de las unidades productivas requieren el uso de motobombas accionadas por ACPM o gasolina, generando un impacto negativo en el componente económico y en el medio ambiente. Con el diseño estructural de un medio de transporte manual, práctico y liviano para el sistema de bombeo solar fv., se puede aportar de forma significativa a la solución de la problemática. En el diseño de este medio de transporte se aplicó la metodología de diseño de Shigley, para el análisis y optimización del diseño se aplicó una matriz de criterios, durante el proceso de evaluación del diseño se realizaron cálculos de esfuerzo aplicando la teoría de Von Misses. Como resultado final se obtuvo un diseño de medio de transporte manual, práctico, liviano, económico, ergonómico, seguro y confiable. En conclusión se realizó el dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico de acuerdo con la potencia requerida por la bomba y con estos datos se realizó el diseño estructural del transporte.

Palabras clave: Bombeo, Construcción, Diseño, metodología Shigley, Riego, Solar fotovoltaica, transporte.

1. INTRODUCCIÓN

Colombia al ser un país tropical, presenta riesgos potenciales asociados al cambio climático, especialmente en aspectos relacionados con la disponibilidad hídrica, de tal forma importantes entidades a nivel nacional como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (PNUD, 2011; IDEAM, 2018), han indicado la vulnerabilidad de los ecosistemas ante posibles escenarios de variación climática extrema, haciendo énfasis en los posibles cambios sustanciales en la oferta y disponibilidad de agua.

Boyacá, tiene un amplio crecimiento de cultivos agrícolas, la zona geográfica de este Departamento permite el crecimiento y la producción de un elevado número de frutos y vegetales para el consumo humano.

El sector agrícola demanda la implementación de técnicas y/o instrumentos que proyecten una mejora y eficiencia en la calidad de sus procesos, por tal motivo, se hace necesario la creación de sistemas autónomos que minimicen las pérdidas a toda la cadena de producción y comercialización de sus productos.

De acuerdo con Pinzón, Cruz & Fischer (2014), en Colombia, se cultiva el duraznero en zonas con temperaturas promedio de 13 a 19°C, entre los 1.800 y 2.800 msnm, regímenes de lluvia monomodales y bimodales y brillo solar promedio de 1.400 horas/año. Para los sistemas de riego por goteo con energía solar indica Mossande, Anaclides Rogério (2015) el riego por goteo se adapta a las pequeñas áreas de terreno y a los sistemas de riego fotovoltaicos (García, 20023; Van Campen et al., 2000). Esta característica es de gran importancia,





debido a que en la actualidad crece el interés económico en los sistemas FV.

De acuerdo con el MADR-UPRA, (2018) y el Observatorio ambiental de Boyacá, (2018) en los análisis establecidos a partir del porcentaje de precipitación multimodelo para el periodo de tiempo de 2011-2040, en el departamento de Boyacá se pueden esperar 3 escenarios posibles, en el primero para la región centro sur, centro norte y noroccidental, se pueden presentar reducción en la precipitación que varía entre 10-30%, para la zona suroriental del departamento se esperan oscilaciones entre -10% a +10% de fluctuación en la precipitación en relación a los parámetros actuales y para la zona nororiental se espera un incremento en las precipitaciones entre el 10-30%.

De esta forma municipios comúnmente asociados a la producción de frutales como lo son Sotaquirá y Paipa, pueden presentar reducciones en la precipitación hasta del 30%, situación que afectaría de forma grave el desarrollo de estos cultivos en la región. Por tal razón el objetivo general de este estudio será proponer tecnologías sostenibles que permitan suplir la demanda hídrica de los cultivos frutales, especialmente mediante el dimensionamiento de un sistema transportable de bombeo accionados por energía solar fotovoltaica que permita reducir las emisiones de CO₂ y gases de efecto invernadero a la atmósfera y que permitan hacer un uso eficiente de los recursos disponibles en la región.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la elección del cultivo a aplicar se realizó una búsqueda bibliográfica relacionada con los tipos de cultivos de Boyacá (Pinzon, Cruz & Fischer, 2014; Colciencias, 2016; Gobernación de Boyacá, 2018; 2018a; 2018b), se realizaron visitas a los municipios agrícolas aledaños y a través

de la observación se pudo seleccionar los árboles frutales como el cultivo más acertado.

Entre los cultivos de árboles frutales se seleccionó el durazno, ya que Boyacá es el mayor productor en Colombia (DANE, 2014; Pinzon, Cruz & Fischer, 2014). De acuerdo con García, Dias Robaina & Calgaro, (2003) y estudios realizados por Miranda y Carranza, (2013) se determinó la cantidad de árboles promedio por hectárea y el caudal por hora.

Ec. 1:

$$DNC = (ETc \times MP \times \% C) / 100$$

Donde

DNC: demanda neta del cultivo

ETc: evapotranspiración cultivo mm/día

MP: Marco de plantación

%C: porcentaje de cubrimiento del follaje

Para el durazno el sistema de riego implementado corresponde a riego por goteo, en el cual la eficiencia es cercana al 90%, de esta forma la demanda real del cultivo (DRC) será:

Ec 2:

$$DRC = DNC / 90\%$$

Conociendo la demanda real del cultivo y sabiendo que en promedio existen 278 árboles por hectárea en un arreglo agronómico o marco de plantación en cuadro, se halla el caudal necesario por hectárea. para luego calcular el tiempo de riego por día (TRD).

Ec 3.

$$TRD = DRC / ng \times qg$$

Donde:

DRC= demanda real del cultivo

ng= número de goteros (3)

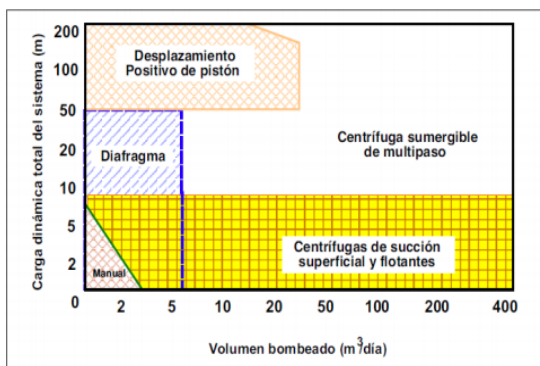
qg= caudal del gotero (4 L.h-1)





Conociendo el tiempo real de riego se puede determinar el número de sectores de riego por día, con el sistema de bombeo seleccionado. Luego se seleccionó la bomba con el caudal requerido por hectárea y la altura de presión promedio para los tipos de cultivos con mayor pendiente o diferencia de altura. Evaluando los intervalos comunes donde se aplican las bombas solares podemos ver que para altura de presión de 20 m y caudal de 17,9 m³/día. la bomba recomendada es la centrífuga sumergible (Fig.1).

Fig. 1: Intervalos comunes donde se aplica los diferentes tipos de bomba solares.



Fuente: www.solar.nmsu.edu

Luego de seleccionar la bomba se dimensiona el sistema solar fotovoltaico, tomando como datos de entrada una bomba solar de 24v DC y 700 w. debido a las condiciones climáticas de Boyacá, se recomienda el panel Monocristalino, ya que este opera mejor bajo la nubosidad o lluvia, ocupa menos espacio y es más eficiente que el policristalino.

Se seleccionan los paneles solares que superen la potencia de la bomba (700wh).

Ec. 4:

$$E_p = E_b / R$$

Dónde:

E_p : Energía necesaria en los paneles

E_b : Energía requerida por la bomba
 R : Rendimiento del sistema de Almacenamiento

Ec. 5.

$$\# \text{ Paneles} = E_p / P (\text{HSP})$$

Dónde:

E_p : Energía a producir por los paneles

P : Potencia del panel

HSP: Horas Sol Pico del sitio

Para la selección del regulador se tiene en cuenta la suma de las corrientes en corto circuito (I_{sc}) de los paneles ya que se configuran en paralelo.

Para darle mayores horas de operación al sistema se seleccionan unas baterías con dos (2) días de autonomía. Para 2 días de autonomía se calcula la capacidad útil de la batería y la capacidad utilizable de acuerdo al voltaje del sistema, luego se determina la capacidad nominal, se recomienda una profundidad de descarga máxima de 50%.

$$C_u = \text{Pot. bomba} * N$$

$$C_u = C_u / 24v$$

$$\text{Capacidad nominal} = C_u / p_d \text{ Ec. 6.}$$

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para calcular y seleccionar la bomba, se toma como referente los árboles frutales por el espacio existente entre ellos para poder transportar fácilmente el sistema de bombeo sin afectar el cultivo. Específicamente se selecciona el cultivo de durazno para calcular la demanda neta del cultivo (DNC), Pero como los sistemas de riego que se emplea no son 100% eficientes, la demanda real (DRC), será igual a la demanda neta, dividida por la eficiencia del sistema de





riego de acuerdo con García, Dias Robaina & Calgaro, (2003).

- Demanda Real del Cultivo (DRC):
DNC = 57,96 litros.árbol/día.
DRC = $57,96 / 0,9 = 64,4$ litros.arbol/dia.
- Caudal necesario por hectárea:
 $q = 64,4$ litros.arbol.dia-1 x 278 árboles
 $q = 17903,2$ litros por ha
- Tiempo de riego por día (TRD):

$$\text{TRD} = 64,4 \text{ litros.arbol/dia} / (3 \times 4 \text{ litros. h-1})$$

$$\text{TRD} = 5,4 \text{ horas/día}$$

Este valor indica que cada hectárea de cultivo deberá ser irrigada durante 5,4 horas por día en los meses de máximo consumo (diciembre, enero y febrero).

- Número de sectores de riego por día (NSR):

El tiempo de funcionamiento del sistema puede oscilar entre 12-18 horas por día.

$$\text{NSR} = 18 \text{ horas} / 5,4 \text{ horas/día}$$

$$\text{NSR} = 3,3 \text{ sectores de riego/día}$$

3.1 Cálculo de bombeo solar directo

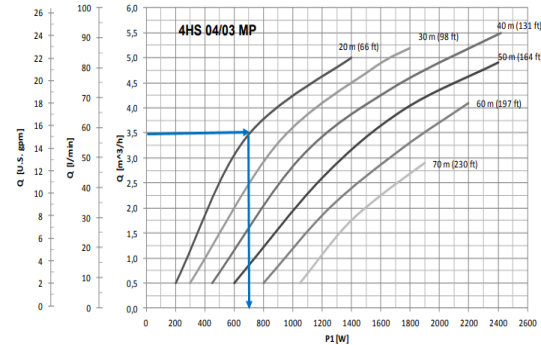
Tomando como datos de entrada el caudal necesario por hectárea, y la altura de presión máxima calculada.

$$q = 17.903,2 \text{ litros} / \text{ha} * (1 \text{ ha} / 5.4 \text{ h}) = 3,32 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$h = 20 \text{ m}$$

Con un caudal de 3,32 m³/h y para una altura de 20m la potencia de la bomba sería de 700 w (Fig. 2.).

Fig. 2 Curva de operación bomba solar sumergible.



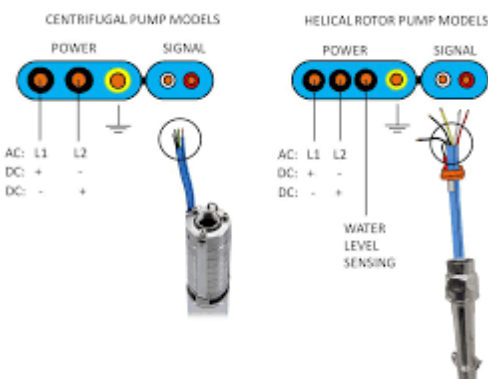
Fuente: Sunfields

Se selecciona la bomba sumergible Marca SunFields bomba 4HS 04/03 de 700W de potencia.

El variador integrado en el motor evita el uso de cables de salida blindado y filtros caros de otro modo sería necesario en el inversor con las soluciones en la superficie.

4HS se utiliza tanto en los sectores doméstico e industrial para el suministro de agua, la presurización y el riego, superando las soluciones tradicionales: Energía y dinero, Instalación rápida y fácil, Fiabilidad en el tiempo (imagen 1.).

Imagen 1. Bomba solar sumergible 4HS VDC



Fuente:

<https://www.filkabsolar.com.tr/Products/>

Motor síncrono de imán permanente con el rotor bañado en agua, el estator de resina en



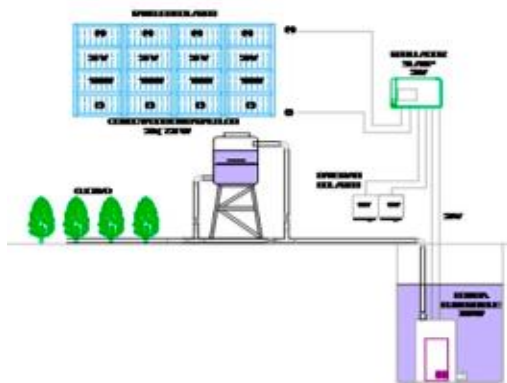
capas, integralmente en acero inoxidable AISI 304.

Control través del módulo de CM. variador integrado en la bomba.

Bomba de etapas múltiples completamente de acero inoxidable AISI 304.

Con la bomba seleccionada se realiza el dimensionamiento solar fotovoltaico para seleccionar los componentes que generan la electricidad de la bomba (Grafico 1)

Grafico 1. Esquema solar fotovoltaico para bombeo directo a riego o tanque de acumulación.



Fuente: Autores

3.2 Dimensionamiento solar fotovoltaico

3.2.1. Paneles solares: Para suplir la demanda de la bomba solar de 700 w, se seleccionan paneles solares monocristalinos de 200w.

$$E = E_b / R$$

$$E = 700 \text{ w} / 0,80 = 875 \text{ w}$$

$$\text{Número de paneles} = 875 \text{ w} / 250 \text{ w} = 3,5$$

$$\text{Número de paneles} = 4$$

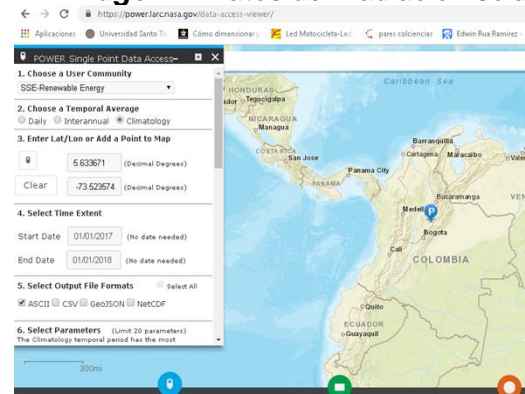
Se seleccionan paneles monocristalinos por ser más eficientes y por generar electricidad aunque se presente nubosidad,

con potencia de 250 w y tensión de 24 voltios. se instalan en paralelo para obtener una potencia total de 1000 wp en las horas de mayor radiación solar.

Buscamos para el departamento de boyacá la irradiación solar promedio anual en la página de datos de la Nasa. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

Asignando las coordenadas de la localización del sitio (Google maps), tomando un año de referencia desde enero 2017 a enero 2018, hallamos las Horas Sol Pico, promedio Anual. Obteniendo como resultado: **HSP = 5,04 Kw-hr/m²/día**

Imagen 2. Datos de irradiación solar.



Fuente: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

Imagen 3. Panel solar monocristalino,



Características técnicas Panel Ecosolar 250W:



Potencia (en Watts): 250W
 Voltaje en circuito abierto (Voc): 37,90V
 Voltaje de máxima potencia (Wmp): 30,31V
 Corriente de cortocircuito (Isc): 8,82A
 Corriente nominal (Impp): 8,25A
 Sistema de voltaje máximo: 1000VDC
 Tipo de célula: Monocrystalino
 Dimensiones: 166 x 99 x 4 cm
 Peso: 17 Kg

3.2.2 Regulador: Para la selección del regulador se suman las corrientes Isc. y se toma el voltaje del sistema (24v)

Isc sistema = 8,82 A x 4 paneles = 35.28 A

Aplicando un factor de seguridad del 25%
 Isc Regulador = 44,1 A

Seleccionamos un regulador de 50 A y 24v.
 Regulador Blue Solar VICTRON MPPT 100/30

Imagen 4. Regulador.



Fuente: <https://www.amazon.es/Victron-BlueSolar-MPPT-100-50A>

Características Generales:

MPPT (seguidor del punto de máxima potencia)
 Reconocimiento automático de la tensión de la batería.
 Eficiencia de conversión máxima del 98%
 Refrigeración natural por convección
 Máxima potencia de salida a temperatura ambiente hasta 40°C
 Apto para baterías de Gel, Inundadas y Selladas
 Mando de carga solar para paneles solares de hasta 700 W (12 V) y 1400 W (24 V) hasta 100 V.

3.2.3 Baterías: Para la selección de las baterías determinamos la capacidad nominal, con una profundidad de descarga máxima de 50% y días de autonomía (N) igual a 2. Para un funcionamiento de 6 horas x día

Energía día = 700w * 5h/día = 3500 w/día

$Cu = \text{Energía día} * N / V$

$Cu = 3500w * 2 / 24v = 291.66 \text{ Amp h}$

Capacidad nominal = Cu / Pd

Dónde: Pd: Profundidad de descarga

$Cu = 291.66 \text{ Ah} / 0,6 = 486.1 \text{ Ah}$

Se seleccionan dos (2) baterías solar de ciclo profundo Power DC de 12v - 510Ah y se conectan en serie para sumar los voltajes (Imagen 5).

Imagen 5. Batería solar de ciclo profundo DC de 12v 510Ah.



Fuente. <https://www.monsolar.com/bateria-solar-12v-ciclo-profundo-power-dc.html>

Batería de ciclo profundo de 12v, 510Ah, diseñadas para funcionar con ciclos de profundidad de descarga superiores al 50%. Con una impresionante cifra de más de 1500 ciclos con profundidades de descarga del 50%. Garantía 5 años.

Especificaciones de la Batería:

Voltaje: 12v, Capacidad: 510Ah
 Largo (mm): 314
 Ancho (mm): 181
 Alto (mm): 416



Peso (kg): 51.4

Tabla 1. Dimensiones y peso del equipo

Componente	Dimensiones (cm)	Peso (kg)
Paneles	166 x 99 x 4	17*4 = 68
Bomba		10
Regulador		2
Baterías	31X18X42	2 * 51.4 = 102.8
PESO TOTAL		182.8

Fuente: Autores

3.3 Diseño estructural del vehículo:

Para el diseño estructural del vehículo se aplicó la metodología conceptual, partiendo de la necesidad, siguiendo una serie de fases hasta obtener el diseño final (Grafica 2.)

Grafica 2. Metodología de diseño.

Descripción del Proceso de Diseño



Fuente: Autores

3.3.1 Metodología del diseño:

Para determinar los niveles de importancia entre las necesidades del proyecto y los requerimientos de diseño, se hace el análisis a partir de una matriz Q.F.D. (Quality Function Deployment).

Las necesidades del proyecto se resumen en:

1. Dimensiones del vehículo y sistema de bombeo solar FV
2. Seguridad en la operación del sistema de bombeo solar FV
3. Peso total del vehículo y sistema de bombeo solar FV
4. Costo del vehículo y sistema de bombeo solar FV
5. Mantenimiento reducido.
6. Fácil de transportar el vehículo
7. Captación de la radiación solar

Para determinar la importancia de cada una de las necesidades, se realiza una matriz en la que se comparan los requerimientos entre sí.

Tabla 2. Matriz de ponderación

	1	2	3	4	5	6	7			[%]
1	-	1	1	1	1	1	1	6	6/21	28.6
2	0	-	0	0	0	0	0	0	0/21	0
3	0	1	-	0	1	0	0	2	2/21	9.5
4	0	1	1	-	1	1	0	4	4/21	19
5	0	1	0	0	-	0	0	1	1/21	4.8
6	0	1	1	0	1	-	0	3	3/21	14.3
7	0	1	1	1	1	1	-	5	5/21	23.8
TOTAL								21		100

Fuente: Autores

Los requerimientos de diseño son los siguientes:

- A. Materiales
- B. Número de partes estructurales
- C. Número de paneles
- D. Potencia requerida
- E. Elementos de control y medición

Tabla 3. Matriz de requerimientos vs necesidades





	[%]	A	B	C	D	E					
1	0,29	3	0,86	0	0	9	2,57	3	0,86	0	0
3	0,1	9	0,86	3	0,29	3	0,29	0	0	0	0
4	0,19	9	1,71	0	0	9	1,71	9	1,71	3	0,57
5	0,05	0	0	3	0,14	0	0	0	0	3	0,14
6	0,14	9	1,29	0	0	3	0,43	0	0	0	0
7	0,24	9	2,14	3	0,71	9	2,14	9	2,14	0	0
			6,852	1,143	7,140	4,710	0,714				

Fuente: Autores

Analizando la tabla anterior, se observa que los parámetros más importantes para la toma de decisiones respecto al diseño final son en su orden:

1. Área de los paneles solares FV
2. Materiales del vehículo
3. Componentes modulares

3.3.2 Diseño estructural:

Una vez seleccionada la mejor alternativa, se hizo el análisis de esfuerzos, aplicando la teoría de Von Mises, con el fin de generar un diseño más conservativo. En ésta fase también se tuvo en cuenta el aumento en la rigidez de toda la estructura, para optimizar los elementos que la conforman (por ejemplo, triangulación de componentes para transformar esfuerzos de flexión a esfuerzos normales, que generan deformaciones con menores órdenes de magnitud). Para la selección de los materiales se tuvieron en cuenta los criterios del diseñador en cuanto a factores de seguridad y costos.

Como resultado se diseñó un medio de transporte manual, práctico, liviano, económico, ergonómico, seguro y confiable.

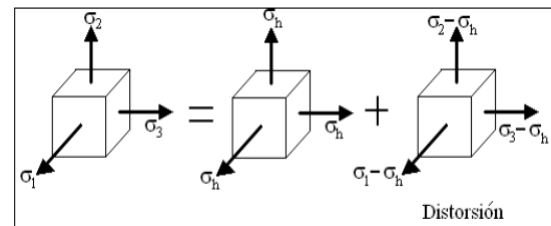
3.3.3 Teoría de Von Mises (materiales dúctiles).

La teoría de Von Mises dice que la distorsión del elemento es debida a los esfuerzos principales restándoles los esfuerzos hidrostáticos

$$(\sigma_h = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3})$$

La energía de distorsión es la diferencia entre la energía total de deformación por unidad de volumen y la energía de deformación por unidad de volumen debida a los esfuerzos hidrostáticos.

Grafica 3. Teoría de falla para materiales dúctiles.

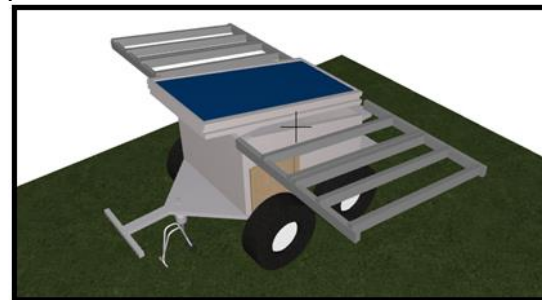


Fuente: De Castro, C. A.

Se realiza el dibujo preliminar en un software CAD teniendo en cuenta los parámetros más importantes en el diseño. (Área de los paneles, materiales del vehículo y componentes modulares).

3.3.4. Dibujo CAD del transporte

Imagen 6. Vehículo en ensamble de sus componentes modulares para instalación de paneles solares.



Fuente: Autores

Imagen 7. Diseño de Vehículo modular, preparado para captación solar.



Fuente: Autores

4. CONCLUSIONES

De acuerdo con la caracterización de los cultivos para el departamento de Boyacá, se seleccionaron los árboles de durazno, debido a su representatividad en el sector frutícola de la región para la aplicación del diseño de este sistema de bombeo portátil para riego.

Se seleccionó el municipio de Sotaquirá para la implementación del sistema, razón que permitió definir la oferta edafoclimática disponible y a su vez contribuyó en la definición de parámetros vitales para el diseño del sistema de bombeo, como lo fueron: brillo solar, caudal, área de riego, tiempo de riego, y potencia necesaria de la motobomba.

Se definió, como sistema de riego, riego por goteo, de acuerdo con el caudal y el número de unidades de riego por hectárea, situación que facilitó definir el volumen por día y selección de la motobomba sumergible accionada por energía solar fotovoltaica.

De acuerdo a la potencia requerida de la bomba, se seleccionaron el número y tipo de paneles solares fotovoltaicos teniendo en cuenta la localización del proyecto, el brillo solar y la eficiencia de conversión de los paneles.

De acuerdo con la potencia requerida por la motobomba, se seleccionaron dos baterías de 12 voltios y 120 Ah para suplir dos días de autonomía.

Con el fin de proteger las baterías del sistema, se seleccionó un regulador MPPT (Maximum Power Point Tracking) teniendo en cuenta el voltaje del sistema y la corriente de corto circuito

5. RECOMENDACIONES

Es importante tener en cuenta en el diseño del sistema solar fotovoltaico, sistemas de autolimpieza y protección, esto con el fin de prolongar la vida útil de los paneles solares.

Es vital identificar la topografía y brillo solar, del sitio final en el cual se implementará el diseño, con el fin de optimizar la posición, especialmente el ángulo respecto al sol, de los paneles solares, con el fin de potencializar la captación de radiación.

Es ideal que el sistema de transporte diseñado para el sistema de bombeo sea ergonómico y se pueda posteriormente automatizar, con el fin de disminuir la carga laboral y mejorar las condiciones de desempeño de los operarios del sistema.

La implementación del sistema, requiere de capacitación para los productores, pues en experiencias previas de sistemas de riego, se ha identificado el daño y deterioro de los equipos debido a problemas de manipulación y desconocimiento de operación o funcionamiento de los mismos.

Con el fin de determinar la viabilidad económica del proyecto, se debe evaluar la relación beneficio costo del sistema y establecer el impacto de la implementación de estas nuevas tecnologías en el modelo productivo, que permitan un posterior escalamiento y reproducibilidad en todo el territorio nacional.

6. REFERENCIAS





Colciencias. (2016). Plan estratégico de ciencia tecnología e innovación del sector agropecuario colombiano 2017-2027. <http://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/upload/noticias/pectia-2017-actualizado.pdf> (Consultado: 10 de septiembre 2018)

DANE. (2014). Tercer censo nacional agropecuario - hay campo para todos. <https://www.dane.gov.co/files/images/foros/foro-de-entrega-de-resultados-y-cierre-3-censo-nacional-agropecuario/CNATomo2-Resultados.pdf> (Consultado: 8 de septiembre 2018)

De Castro, C. A. Teorías de falla bajo cargas estáticas. *Salamanca: Universidad de Salamanca*. Descargado de <http://dim.usal.es/eps/im/roberto/cmm/teorasdefallabajocargasestticas.pdf>

García, C., Dias Robaina, A., & Calgaro, M. (2003). Selección de bombas para riego. http://www.inia.uy/Publicaciones/Documento_s%20compartidos/15630021107114325.pdf (Consultado: 15 de septiembre 2018)

Gobernación de Boyacá. (2018). Localización del departamento de Boyacá. <http://www.boyaca.gov.co/prensapublicacion/es/mi-oyac%C3%A1/localizacion> (Consultado: 21 de septiembre 2018)

IDEAM, (2018). Mapas gráficos del tiempo y clima, Indicadores climatológicos. <http://institucional.ideam.gov.co/jsp/1772>. (Consultado: 19 de septiembre 2018)

MADR-UPRA-Ministerio de agricultura y desarrollo rural, unidad de planificación rural y agropecuaria.. (2018). Departamento de Boyacá.

<https://drive.google.com/file/d/1iZBQSK5q93uV4GOn2UD1RFQcWjPGlxps/view> (Consultado: 5 de septiembre 2018)

Miranda, D. & Carranza, C. (2013). Caracterización, clasificación y tipificación de los sistemas de producción de caducifolios: ciruelo, duraznero, manzano y peral en zonas productoras de Colombia. En: Miranda, D.; Fischer, G.; Carranza, C. (eds). Los frutales caducifolios en Colombia: Situación actual, sistemas de cultivo y plan de desarrollo. Soc. Col. Cienc. Hort. p.87-114. (Consultado: 26 de septiembre 2018)

Observatorio Ambiental de Boyacá. (2018). Sector Ecosistemas y Biodiversidad. <http://www.boyaca.gov.co/ambiental/sector-ecosistemas-y-biodiversidad/> (Consultado: 6 de septiembre 2018)

Pinzón, Elberth Hernando, Cruz Morillo, Ana, & Fischer, Gerhard. (2014). ASPECTOS FISIOLÓGICOS DEL DURAZNERO (*Prunus persica* [L.] BATSCH) EN EL TRÓPICO ALTO.: UNA REVISIÓN. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 17(2), 401-411. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262014000200011&lng=en&tlng=es. (Consultado: 21 de septiembre 2018)

PNUD. (2011). Colombia rural razones para la esperanza - Resumen ejecutivo: Informe nacional de desarrollo humano 2011. http://www.co.undp.org/content/dam/colombia/docs/DesarrolloHumano/undp-co-resumen_ejecutivo_indh2011-2011.pdf (Consultado: 5 de septiembre 2018)

