

Colección Evento

Tecnología e Innovación: el camino a la transformación productiva

Richard Geovanni Moran Perafán
Fabio Camilo Gómez Meneses
Tito Manuel Piamba Mamian
Fredy Alexander Guasmayán Guasmayán
Álvaro León Ibarra Ordoñez
Edna Margarita Moncayo Torres

Compiladores



Universidad
Mariana



Editorial
UNIMAR

Tecnología e Innovación: el camino a la transformación productiva

Colección
Evento

2023

Richard Geovanni Moran Perafán
Fabio Camilo Gómez Meneses
Tito Manuel Piamba Mamian
Fredy Alexander Guasmayán Guasmayán
Álvaro León Ibarra Ordoñez
Edna Margarita Moncayo Torres

Compiladores



Universidad
Mariana



Tecnología e Innovación: el camino a la transformación productiva / compiladores, Richard Geovanni Moran Perafán [y otros cinco] -- San Juan de Pasto: Editorial Unimar: Universidad Mariana, 2023.

1 recurso en línea: archivo de texto: PDF. -- (Colección evento 2023)

Incluye bibliografía.

ISBN 978-628-7548-16-9 (digital)

1. Tecnología - Investigaciones 2. Innovaciones tecnológicas - Investigaciones
3. Moran Perafán, Richard Geovanni, compilador

CDD: 600 ed. 23

CO-BoBN- a1106412



Universidad
Mariana

Título del libro: *Tecnología e Innovación: el camino a la transformación productiva*

e-ISBN: 978-628-7548-16-9

Formato: 18x 26cm – Digital

Páginas: 83

Fecha: 2023

- © Editorial UNIMAR, Universidad Mariana
- © Richard Geovanni Moran Perafán - compilador
- © Fabio Camilo Gómez Meneses - compilador
- © Tito Manuel Piamba Mamian - compilador
- © Fredy Alexander Guasmayán Guasmayán - compilador
- © Álvaro León Ibarra Ordoñez - compilador
- © Edna Margarita Moncayo Torres - compiladora

Universidad Mariana

Hna. **Aylem del Carmen Yela Romo** f.m.i.

Rectora

Yudy Basante Castro

Vicerrectora Académica

Ángela María Cárdenas Ortega

Directora de Investigaciones

Luz Elida Vera Hernández

Directora Editorial UNIMAR

Editorial UNIMAR

Luz Elida Vera Hernández

Directora Editorial UNIMAR

Leidy Stella Rivera Buesaquillo

Corrección de Estilo

Daniela Velásquez Torres

Diseño y Diagramación

Correspondencia:

Editorial UNIMAR, Universidad Mariana

San Juan de Pasto, Nariño, Colombia, Calle 18 No. 34 – 104

Tel: 7244460 Ext. 185

E-mail: editorialunimar@umariana.edu.co

Depósito Digital

Biblioteca Nacional de Colombia, Grupo Procesos Técnicos, Calle 24, No. 5-60 Bogotá D.C., Colombia.

Biblioteca Hna. Elisabeth Guerrero N. f.m.i. Calle 18 No. 34-104 Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Colombia.

Disponible en: <http://editorial.umariana.edu.co/libros>

Cítese como: Moran-Perafán, R. G., Gómez-Meneses, F. C., Piamba-Mamian, T.M., Guasmayán-Guasmayán, F. A., Ibarra-Ordoñez, A. L y Moncayo-Torres, E. M. (comp.) (2023). *Tecnología e Innovación: el camino a la transformación productiva*. Editorial UNIMAR. <https://doi.org/10.31948/editorialunimar.173>

Las opiniones contenidas en el presente libro no comprometen a la Editorial UNIMAR ni a la Universidad Mariana, puesto que son responsabilidad única y exclusiva de los autores; de igual manera, ellos han declarado que en su totalidad es producción intelectual propia, en donde aquella información tomada de otras publicaciones o fuentes, propiedad de otros autores, está debidamente citada y referenciada, tanto en el desarrollo del documento como en las secciones respectivas a la bibliografía.

El material de este libro puede ser reproducido sin autorización para uso personal o en el aula de clase, siempre y cuando se mencione como fuente su título, autores y editorial. Para la reproducción con cualquier otro fin es necesaria la autorización de la Editorial UNIMAR de la Universidad Mariana.



Este libro está bajo licencia internacional Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0

Tecnología e Innovación: el camino a la transformación productiva

Richard Geovanni Moran Perafán
Fabio Camilo Gómez Meneses
Tito Manuel Piamba Mamian
Fredy Alexander Guasmayán Guasmayán
Álvaro León Ibarra Ordoñez
Edna Margarita Moncayo Torres

Compiladores

Contenido

Introducción	<u>8</u>
Desarrollo de un prototipo de aerogenerador sin aspas por medio de inducción magnética	<u>9</u>
Bryan Steven Paz Vallejo, David Camilo Moncayo Lasso, Esteban Alejandro Rosero Barbosa	
Desarrollo de un prototipo desfibrador semiautomático de fique para la obtención de fibra en el municipio del Tambo, Nariño	<u>27</u>
Mario Andrés Rivera Solarte, Daniel Styven Suarez Burbano, Richard Geovanni Moran Perafan	
Sistema electrónico para el funcionamiento de un minitractor fotovoltaico en pequeños terrenos de agricultura	<u>43</u>
Jeremías Bravo Tapia, Francisco Ramos Guzmán, Miguel Fuentes Cortés, Ana Laura Nieto Rosales, Julio Cesar Rojas Nando, Graciela Santos Martínez	
Desarrollo de prototipo de máquina automática de pulverizado de miel de caña	<u>61</u>
Juan Felipe García Zarama, Anderson Steven Figueroa Mora, Richard Geovanni Moran Perafan	
Desarrollo de un sistema de monitoreo cardiaco para móviles android	<u>71</u>
Rebeca Rosa Viloría Amaya, Alejandro Utria García, Giovanni Alberto Bracho Tovar, Liliana Patricia Torres Obregón	

Introducción

La tecnología es un reflejo de los avances científicos y técnicos de la humanidad, por ello, las comunidades académicas y científicas se esfuerzan por estar a la vanguardia de los últimos desarrollos. En este libro se presentan las memorias del Tercer Seminario Internacional de Tecnología e Innovación, realizado en el mes de noviembre de 2021 en la Universidad Mariana. Este evento nació como una iniciativa del programa de Ingeniería Mecatrónica de la misma universidad. La primera versión del evento se realizó en el año 2020 como respuesta a las necesidades de exponer virtualmente los desarrollos tecnológicos y científicos en tiempos de pandemia. Los resultados fueron muy promisorios, se contó con la participación de estudiantes e investigadores de Colombia, México, Brasil, Ecuador, entre otros. Así, este evento se consolida como un espacio de encuentro y diálogo entre la academia, la comunidad y el sector productivo. Entre los temas que se abordaron en el seminario se puede mencionar los siguientes: implementación de tecnologías de información y comunicación, desarrollo de maquinaria agrícola, biomedicina y energías alternativas. Todos estos temas son de gran importancia en una sociedad cada vez más competitiva, donde el uso de sistemas computacionales y procesos automatizados ayudan a mejorar la calidad de vida del ser humano, aumentar la eficiencia de los procesos y a cuidar el medioambiente.

Tecnología e Innovación: el camino a la transformación productiva

Desarrollo de un prototipo de aerogenerador sin aspas por medio de inducción magnética

Bryan Steven Paz Vallejo¹

David Camilo Moncayo Lasso²

Esteban Alejandro Rosero Barbosa³

Cítese como: Paz-Vallejo, B. S., Moncayo-Lasso, D. C. y Rosero-Barbosa, E. A. (2023). Desarrollo de un prototipo de aerogenerador sin aspas por medio de inducción magnética. En R. G. Moran-Perafán, F. C. Gómez-Meneses, T.M. Piamba-Mamian, F. A. Guasmayán-Guasmayán, A. L. Ibarra-Ordoñez y E. M. Moncayo-Torres (comps.), *Tecnología e Innovación: el camino a la transformación productiva* (pp. 9-26). Editorial UNIMAR. <https://doi.org/10.31948/editorialunimar.173.c260>

Resumen

Existe un modelo de generador eléctrico diseñado para convertir la energía del viento en energía eléctrica. Hasta ahora solo existe una alternativa para producir electricidad: las turbinas convencionales; sin embargo, estos sistemas presentan problemas de mantenimiento y contaminan el medioambiente. El aerogenerador sin aspas se basa en una nueva tecnología que utiliza el viento para producir energía eléctrica a partir de las vibraciones producidas por la fuerza del viento, que posteriormente se transforma en electricidad. El principal problema para la producción de este tipo de energía es el viento, ya que puede ser muy débil o la producción de energía mediante vibración no sea muy grande. Los resultados demuestran la capacidad del aerogenerador para crear una energía considerable, suficiente para encender un LED, además, cuenta con un sistema inversor, el cual es capaz de generar un voltaje de 120, alimentado por una batería que el aerogenerador mantiene con la fuerza del viento.

Palabras clave: aerogenerador, energía, renovable, eólica, magnético.

1. Introducción

Mediante la ejecución del presente proyecto de investigación se posibilitó establecer un punto de partida importante frente a las actuales necesidades energéticas que se presentan a lo largo del contexto. Por tal razón, la elaboración de un prototipo aerogenerador sin aspas que permita transformar la energía eólica en eléctrica se constituyó como una de las prioridades para contribuir a la adaptación y transformación de las energías renovables en el mundo. De esta manera, el prototipo de aerogenerador para la transformación de la energía del viento en energía eléctrica es un invento que tiene como objetivo generar energía eléctrica a partir de una fuente de energía renovable que no produce ningún tipo de contaminación.

¹Universidad Mariana, Colombia. Correo electrónico: brpaz@umariana.edu.co

²Universidad Mariana, Colombia. Correo electrónico: dmoncayolasso@umariana.edu.co

³Universidad Mariana, Colombia. Correo electrónico: esterosero@umariana.edu.co

Así las cosas, se presenta el prototipo de aerogenerador para transformar la energía del viento en energía eléctrica sin necesidad de aspas mediante la inducción magnética por vibración. El prototipo está constituido por un mecanismo de inducción magnética que introduce un voltaje en una bobina para su posterior uso. De este modo, en el presente documento se encuentran los principales lineamientos conceptuales que permitieron dar origen al desarrollo de la investigación, teniendo en cuenta los principales aspectos que demuestran la necesidad e importancia de establecer propuestas que satisfagan las necesidades actuales.

Por tanto, en el planteamiento del problema se da a conocer las razones que dieron origen a la investigación, considerando la prioridad y necesidad de establecer herramientas capaces de adecuarse a la realidad actual. De este modo, a través de la formulación de los objetivos, se sustentó la razón de ser de este proyecto, con el cual se observó la posibilidad de establecer una propuesta ejecutable de acuerdo con los recursos obtenidos desde el campo de trabajo. A través de la justificación, se sustentó la oportunidad y prioridad de dar sentido a este tipo de investigaciones, que permitan un mejor aprovechamiento de las fuentes y recursos energéticos renovables.

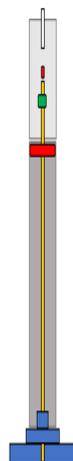
De igual forma, en el marco referencial se da a conocer los principales lineamientos que se requirieron para dar forma y estructura al trabajo que se encuentra en proceso de ejecución. Por tanto, cada uno de los elementos conceptuales nombrados se constituyeron en la base para dar cumplimiento a los objetivos trazados dentro del proceso de investigación.

2. Método

Las partes que componen el aerogenerador sin aspas son las siguientes: la base, el mástil, un eje cilíndrico, dos imanes, una bobina con núcleo de aire y un tensor. El mástil es un alojamiento para los demás componentes y tiene una base en la parte inferior para anclarla al suelo; el eje principal está ubicado en la parte interna del mástil; el tensor se coloca entre el cilindro del mástil y permite inducir una corriente en la bobina por medio de la vibración producida por el viento.

Figura 1

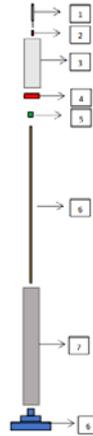
Esquema general prototipo aerogenerador sin aspas



Al descomponer el aerogenerador se evidencia los elementos. Según se observa en la Figura 2, este consiste de un mástil, un eje central, el tensor encargado de calibrar los dos imanes. El mástil es el encargado de proteger el resto de elementos mecánicos y electrónicos que conforman el diseño.

Figura 2

Despiece prototipo aerogenerador sin aspas



El proyecto se realiza en la Universidad Mariana sede de Alvernia; se dividió en cuatro etapas. La primera etapa consistió en obtener valores promedio de la velocidad del viento del sitio analizado, con el propósito de tomar como variable la velocidad del viento, como principal fuente de energía eléctrica en el aerogenerador. En la segunda etapa, se desarrolló un prototipo de aerogenerador sin aspas, que consta de un eje que vibra alrededor de un campo magnético, el cual es proporcional a la corriente eléctrica. En la tercera etapa, se pretende amplificar esta corriente del generador por medio de la adaptación de un tubo de Venturi, el cual magnifica la velocidad del viento por las corrientes de aire y las turbulencias que se generan al reducir los diámetros del tubo de Venturi. En la cuarta etapa, se acondicionará los circuitos electrónicos necesarios y se desarrollará un circuito inversor que permita reutilizar la corriente continua y transformarla en corriente alterna (CA). Estos estabilizarán la señal de corriente que será utilizada antes de almacenarla, como la carga de una batería de corriente directa (CD).

Comportamiento de la velocidad del viento

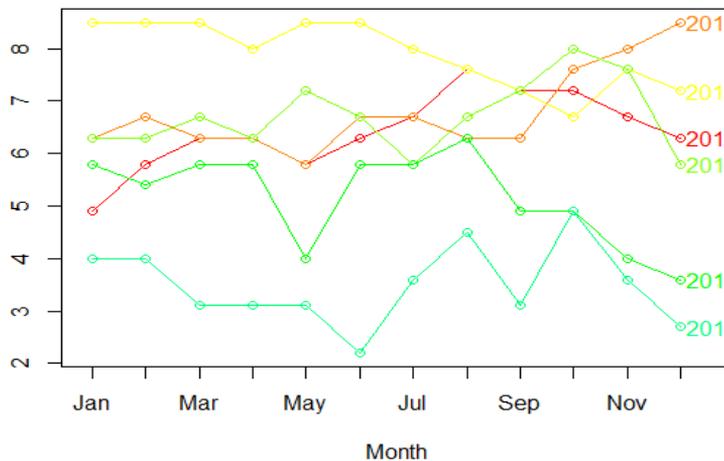
Se procede a recopilar información de las condiciones climatológicas en la estación meteorológica de la sede de Alvernia, con el fin de analizar el comportamiento de la velocidad del viento como variable de entrada importante para realizar el diseño del aerogenerador sin aspas. Por lo tanto, son importantes los siguientes datos: velocidad del viento, hora y fecha de la toma de las muestras, ya que esto permite conocer la máxima y mínima velocidad que puede alcanzar el viento, y que sea posible determinar un valor promedio en esta área específica de la ciudad de Pasto. Lo anterior es la entrada o criterio inicial para el diseño del sistema del aerogenerador sin aspas.

Análisis de cinemática directa

La información se procesó y analizó por medio del software profesional RStudio; el resultado fue estadístico y se apoya en la fundamentación de series de tiempo, con el que se identifica estacionalidades para el logro de la caracterización de la velocidad del viento en ciertas épocas y horarios. El análisis permitió determinar que los datos corresponden a un modelo multiplicativo, es decir, presentan tendencia y estacionalidad, por lo cual se realizó una derivación de los datos, donde se eliminó la tendencia y la estacionalidad, como indica la teoría en el campo de la modelación de series de tiempo. Con este procedimiento, los datos muestran en qué periodos de tiempo existen valores estacionales o periódicos, por medio de la correlación y autocorrelación de datos consecutivos en el tiempo. En el software RStudio, se procede a verificar que los datos son fidedignos, precisos y consistentes, mediante el comando `seasonplot`, y se crea un gráfico de tiempo; este comando en especial separa los datos por meses y la estacionalidad de cada año analizado.

Figura 3

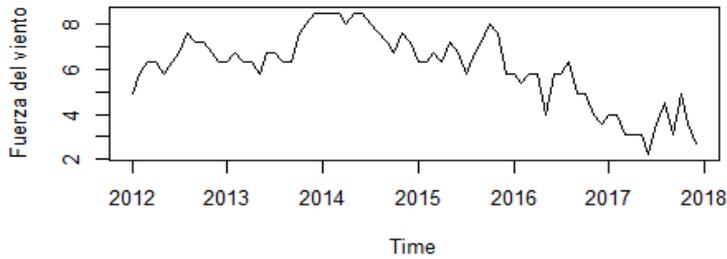
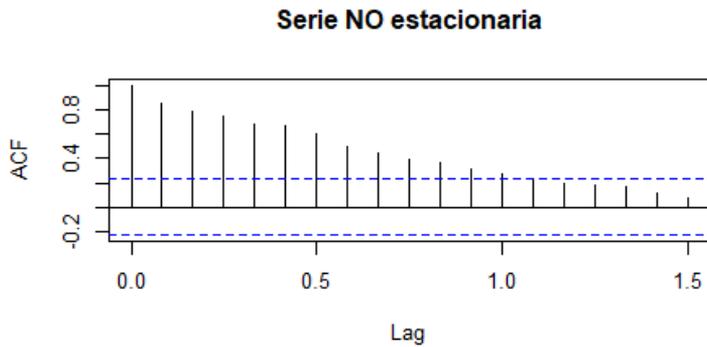
Tiempo de la fuerza del viento



En la Figura 4, se puede apreciar el comportamiento aleatorio de los datos temporales para series en diferentes años, con valores de velocidad del viento entre 2 y 9 metros por segundo; sin embargo, el valor medio, en los años 2012 a 2015, fue de 5 m/s, aproximadamente, siendo este el parámetro de inicio en el diseño del sistema aerogenerador.

Modelo de serie de tiempo para la velocidad del viento

Por medio de un estudio estadístico se determinó que el análisis que se ajusta a la secuencia de datos ordenados cronológicamente es una serie de tiempo, la cual es un conjunto de observaciones de una variable cuantitativa en secuencia temporal. La *¡Error! No se encuentra el origen de la referencia* indica el comportamiento de la velocidad del viento en el tiempo junto con su autocorrelograma de la serie con eliminación de estacionariedad, la cual evidencia la correlación de los datos de manera significativa.

Figura 4*Series de tiempo***Figura 5***Autocorrelograma*

En vista de que el autocorrelograma indica cierta tendencia en los datos, que fue dado por la alta correlación secuencial, se procedió a eliminar la tendencia aplicando una primera derivada al conjunto de los datos temporales.

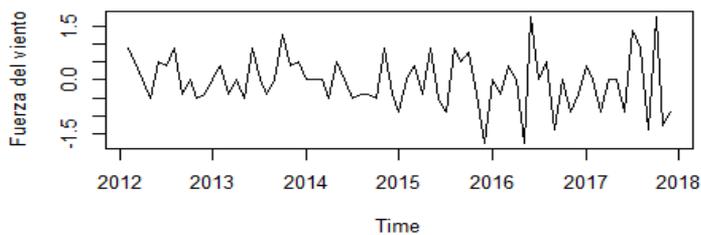
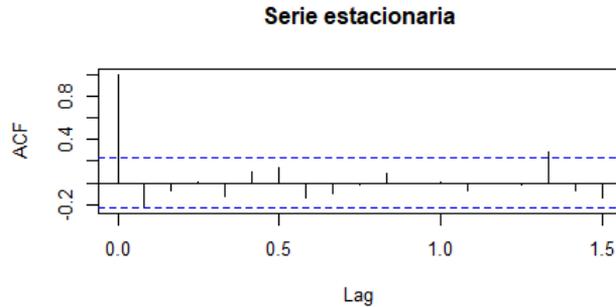
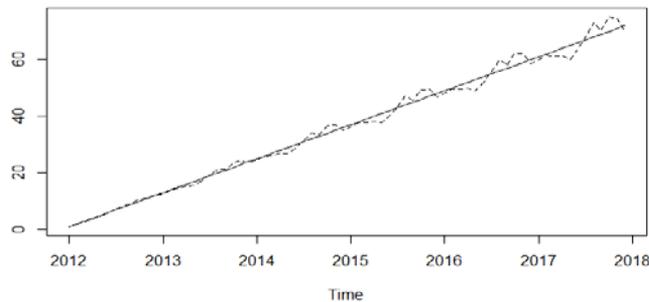
Figura 6*Serie de tiempo con eliminación de tendencia*

Figura 7*Correlograma parcial*

Para realizar el análisis de las series de tiempo, se utilizó la herramienta numérica llamada autocorrelograma, que indica, en las barras significativas, el grado del modelo que siguen los datos, en este caso, se observa que, la primera y segunda barra son significativas, por lo que se asume un modelo de promedio móvil grado-2.

Figura 8*Correlación de datos y tendencia*

En la Figura 8, se evidencia que existe un ajuste de los datos y su correlación para un futuro análisis de pronósticos sobre la velocidad del viento.

Diseño y selección de bobinas para tratamiento del campo magnético en el aerogenerador sin aspas

A través de un alambre en el que circula una carga o una corriente eléctrica se obtiene un campo eléctrico y magnético. El campo eléctrico es la alteración que produce una carga o partícula en el espacio y el campo magnético es la fuerza invisible que se ejerce en objetos o sustancias que sean sensibles al magnetismo. Por la definición que el campo magnético tiene: sentido y magnitud. Para encontrar su valor en cualquier alambre en el cual circula corriente eléctrica es importante la geometría. En el caso particular del aerogenerador sin aspas, se requiere de una bobina con núcleo de aire para ser inducida por un campo magnético variante, producido por la vibración de un mecanismo que oscila en función de la velocidad del viento. Este a su vez está en medio de un imán, el cual presenta un campo magnético que se induce

en el interior de la bobina para la producción de corriente eléctrica; para ello, a continuación, se procede a indicar el diseño de la bobina mencionada.

Diseño de bobinas

Se tuvo en cuenta las dimensiones del núcleo: diámetro interno y la altura; se usaron los datos junto con el valor de la inductancia de la bobina y estimar el número de vueltas necesarias para un voltaje determinado (que se deben realizar para este núcleo). Por consiguiente, para calcular el número de vueltas de una bobina de núcleo de aire se requiere la ecuación 1:

$$\theta = \int_0^{\delta} \frac{u}{u_0} \left(1 - \frac{u}{u_0}\right) dy \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

N: Número de vueltas.

L: Inductancia de la bobina (henrios).

A: Área de núcleo de aire (cm²).

l: Longitud de arrollamiento (cm).

Número de vueltas calculadas

Los cálculos de la bobina de aire son correctos, ya que el número de vueltas estimado y el número de vueltas realizadas es muy cercano. A continuación, se plasma la comparación de los datos mencionados.

Tabla 3

Comparación de datos medidos y calculados

Numero de vueltas realizadas	10.500
------------------------------	--------

Se tuvo en cuenta la generación de energía que se obtuvo con cada voltio por vuelta; se estima un cálculo aproximado de cuántas vueltas se necesita para poder llegar al voltaje considerable. En este caso, el voltaje al que se pretende llegar es de 6 V, para esto, se tiene como condición realizar más de 11.000 vueltas. En la Figura 9, se muestra la elaboración de la bobina:

Figura 9

Creación de bobina núcleo de aire



Para su elaboración, se tuvo en cuenta el calibre y el número de vueltas previamente calculado. En este caso, se utilizó un calibre 30, se realizó un aproximado de 14.000 vueltas; después de realizar la bobina, se procede a sellar con resina epoxi aislante sin solventes para inducidos y bobinados; esto ayuda a que el embobinado no se raspe o ingrese agua, ya que puede producir un corto.

Cálculos de bobinas

Los cálculos realizados para las bobinas se basaron en la geometría del núcleo, teniendo en cuenta que sería circular y de aire, el material de cobre que ocupaban las espiras enrolladas en el núcleo circular y el valor de la corriente que circulaba a través de este. Para calcular la permeabilidad del material, se utilizó la ecuación 2:

$$\mu = \mu_r * \mu_0 \text{ (Ecuación 2)}$$

Donde:

μ_r : Es la permeabilidad relativa del material.

μ_0 : Es la permeabilidad del vacío.

Dado que el núcleo es de aire y la permeabilidad μ es la misma que la del vacío, se obtuvo el resultado de la inductancia en la bobina mediante la ecuación 3:

$$L = \mu \frac{N^2 * A}{l} \text{ (Ecuación 3)}$$

Las unidades que conforma la Ecuación 3, no se encuentra el origen de la referencia son las siguientes:

N: número de espiras.

A= área transversal de la espira (cm²).

l = longitud de arrollamiento (cm).

μ = Permeabilidad del material.

Cálculos de la inductancia en la bobina con núcleo de aire

Para encontrar la inductancia de la bobina con núcleo de aire, se procedió a recopilar los datos que conforman el núcleo, tales como longitud del alambre que enrolla la bobina, permeabilidad del material, número de vueltas y área del núcleo en donde fue embobinado. Estos datos en conjunto fueron usados en la μ Error! No se encuentra el origen de la referencia, para dar el resultado de la inductancia de cualquier bobina, en la Tabla 4 se muestran los resultados.

Tabla 4

Cálculos de la inductancia de una bobina con núcleo de aire

Permeabilidad de vacío	Vueltas del embobinado	Área del núcleo	Longitud alambre (cm)
125663706	10.500	9.6211275	101.022

Tabla 5

Cálculos de la inductancia de una bobina con núcleo de aire

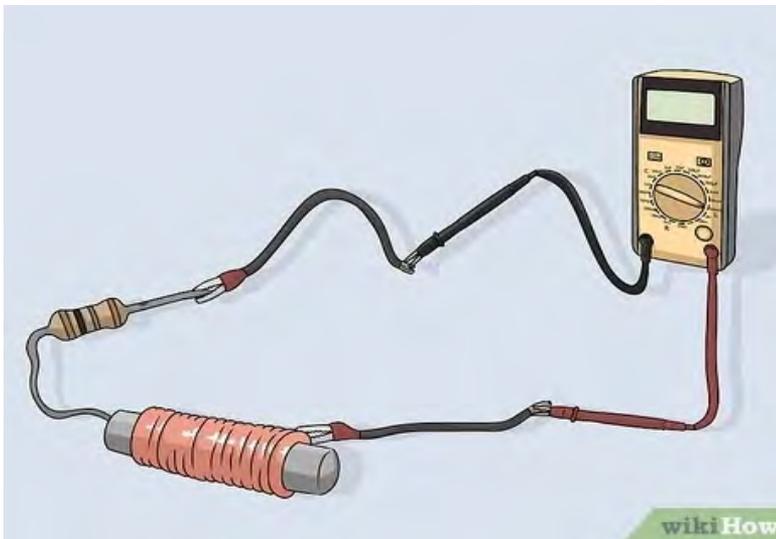
Valor inductancia	1.32E+12	Henrios
-------------------	----------	---------

Bobina para pruebas preliminares

Una vez se finalizó la elaboración de la bobina, se procedió a comprobar, por medio de un instrumento digital, que el filamento se encontrara en perfecto estado, por esa razón, se optó por usar la herramienta multímetro digital, que cuenta con una escala de continuidad y aplica una pequeña carga de corriente en la bobina. Otro análisis que se pudo realizar con la misma herramienta fue medir el valor de su resistencia en escala de Ohm.

Figura 10

Pruebas de bobinas con multímetro



Medidas de la bobina con diferentes instrumentos.

Para verificar los datos que fueron medidos y calculados, se realizó la Tabla 3, con el fin de compararlos.

Tabla 6

Valor medido y calculado de la inductancia en una bobina

Valor medido de la Inductancia	Valor experimental medido	Error medido	Error absoluto
1.32E+12 Henrios	0.77350 Henrios	0.9723	97.2 %

Se determinó que los datos obtenidos y calculados son correctos, puesto que los valores fueron muy cercanos. En la Figura 11, se observa el valor de la resistencia que tiene la bobina en la escala de ohm.

Figura 11

Bobina medida en escala de resistencia

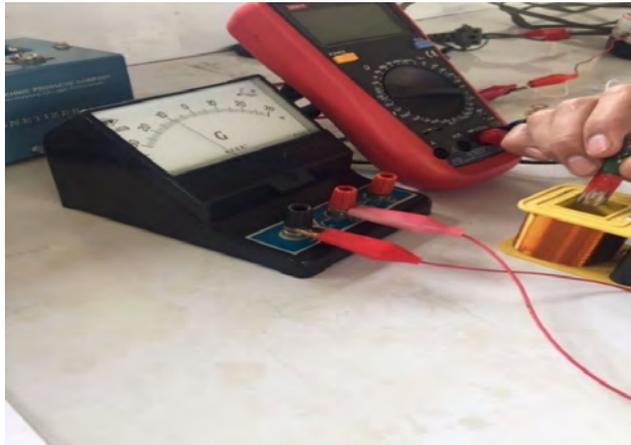


Galvanómetro analógico

En el aerogenerador sin aspas, los valores de voltaje y la corriente fueron inducidos por el imán a la bobina, aunque el valor puede ser mayor o menor, esto depende de la fuerza que se aplique para distorsionar el campo magnético del imán y así inducir una carga en la bobina. En el momento que el imán se queda inmóvil, el voltaje y corriente son equivalentes a cero. En la Figura 12 se muestra el comportamiento del galvanómetro con una bobina siendo inducidas por un imán.

Figura 12

Galvanómetro con bobina de 14.000 vueltas

**Medidas de voltaje y corriente de la bobina**

Se puede comprobar el funcionamiento de cualquier bobina a través de un multímetro digital, el cual contiene una escala de continuidad, cuya función es determinar si el cable que conforma la bobina está interrumpido en algún punto. Con la misma herramienta es posible obtener el valor de la resistencia de dicha bobina. En la Tabla 4, se muestra los datos que se obtienen al utilizar los instrumentos mencionados, pero después de realizar cambios en la cantidad de vueltas de cada bobina.

Figura 13

Núcleo móvil con imán de ferrita

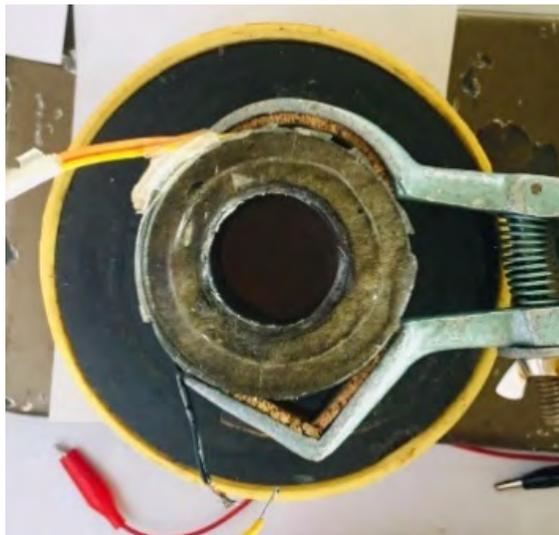


Tabla 7*Medición de voltajes y corrientes AC de bobina con núcleo de aire*

Escala medida	Número de vueltas	Campo magnético	Voltaje y corriente	Inductancia	Resistencia
AC	200	17.2	12 V	.0003810	2.70
AC	400	17.7	12 V	.073409	7.73
AC	600	11.4	12 V	.096882	15.26
AC	800	6.5	12 V	.088558	38.16
AC	1000	2.6	12 V	.040615	159.87
AC	1200	-	12 V	.077350	0.9076

Tabla 8*Medición de voltajes y corrientes DC de bobina con núcleo de aire*

Escala medida	Número de vueltas	Campo magnético	Voltaje y corriente a 12 V	Resistencia
DC	200	9.6	4.57A	270
DC	400	21.5	4.57A	9.73
DC	600	11.3	4.15A	15.26
DC	800	6.1	1.18A	38.16
DC	1000	2.9	0.08A	159.87
DC	1200	0.5	0.01A	0.9076

Se observa que los valores medidos a mayor número de vueltas generan un mayor campo magnético, más eficiente para este prototipo, ya que, para obtener un campo magnético como el primer dato de la tabla, se requiere un mayor trabajo de vibración de los imanes, lo cual evita un trabajo forzado, dado que el prototipo necesita un menor trabajo de vibración, esto hace que el último dato genere un campo magnético más eficiente y con menor trabajo vibratorio.

Construcción del núcleo móvil

El núcleo móvil basa su funcionamiento en las perturbaciones generadas por el viento, haciendo que el campo magnético influya al momento de acercarse a una bobina, en consecuencia, se induce un voltaje y corriente en ella. Para este caso, el núcleo se construyó con un imán potente, capaz de generar un campo magnético lo suficientemente fuerte para inducir una bobina situada en medio del imán mencionado. Imanes con estas características son comúnmente usados para parlantes de sonido. Por lo tanto, se procedió a retirar el imán por medio de calor; con mucho cuidado se retira la ubicación de la bobina de la protección metálica adherida con pegante, como se puede observar en la Figura 14, se tiene en cuenta que la bobina va fija y el imán es el que se encarga de oscilar.

Figura 14*Ensamblaje del aerogenerador sin aspas*

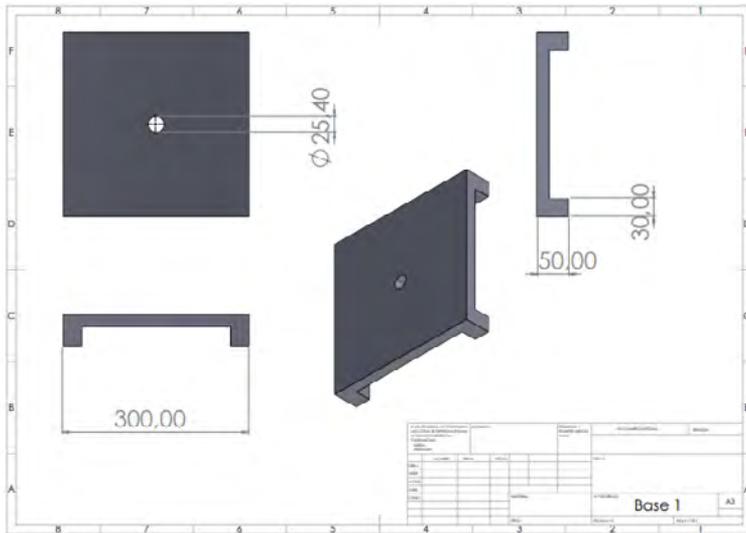
Teniendo establecido todo lo mencionado con anterioridad, se empieza la construcción del aerogenerador con la unión de las partes a la respectiva base, que se une con una cinta adhesiva plateada, la cual brinda un movimiento libre y da soporte adicional en la parte donde se ejerce más deflexión por la fuerza del viento (ver Figura 15).

Figura 15*Construcción del Aerogenerador sin aspas*

De esta manera, se logra observar cada una de las piezas que conforman al aerogenerador sin aspas, el conjunto de estas partes hace que el momento de diseñar y construir sea muy importante.

Figura 16

Diseño de la base del aerogenerador



Diseño de estructura realizado en Solid Work

Se realiza la estructura del aerogenerador sin aspas en el software SolidWorks con las medidas en milímetros que cada pieza contiene.

Figura 17

Diseño del eje del aerogenerador



La geometría de la estrella depende de cuánta potencia requiera la turbina. Por lo tanto, se necesitan diferentes geometrías para diferentes aplicaciones. El aerogenerador sin palas puede tener forma de cono o de cilindro.

Figura 18

Diseño de mástil

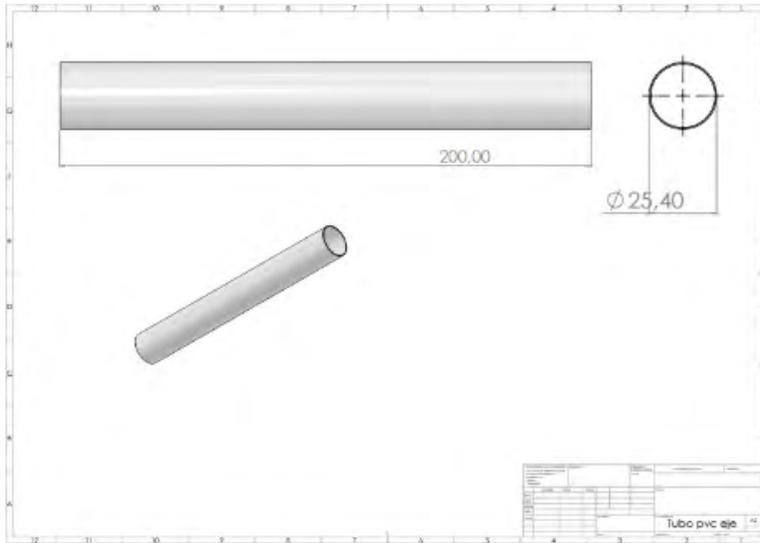
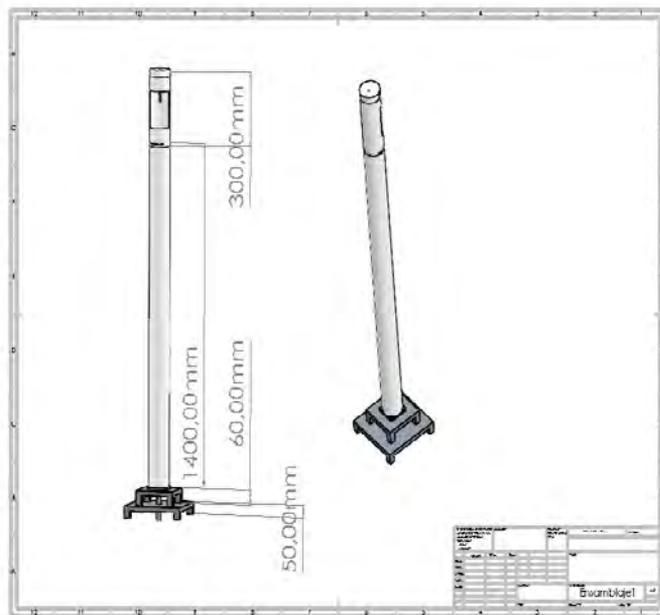


Figura 19

Ensamble del aerogenerador



Conclusiones

Por medio del estudio de una serie de tiempo de los datos contenidos de la estación meteorológica es posible determinar valores promedio de la velocidad del viento en diferentes épocas del año y considerarla como variable de entrada para la producción de energía eléctrica por medio del aerogenerador sin aspas. Para ello, es importante garantizar una velocidad del viento mínima de 3 m/s, la cual se dispone en instalaciones de los laboratorios de la Universidad Mariana, donde, durante todo el año, se presentan velocidades con el requerimiento mínimo, lo cual se puede evidenciar en los datos de la serie temporal.

La generación de voltaje por medio del movimiento periódico del mástil permite comprobar el fenómeno denominado aeroelasticidad, que consiste en la producción de vórtices, los que, por sus turbulencias, ocasionan perturbaciones y choques del viento con la estructura consiste en un eje que oscila dentro del núcleo de una bobina inducida magnéticamente. Estas oscilaciones permiten la conversión de la energía mecánica a energía eléctrica, a través del campo magnético generado en el núcleo de la bobina y así, de manera proporcional, determinar el valor de una corriente eléctrica favorable para su uso en cargas de bajo consumo. En el caso particular de este proyecto, se obtiene una corriente entre 10 y 80 mA, que son apoyados en un inversor para encender una lámpara incandescente de 3 W, mientras se mantenga el flujo de corriente constante.

Se comprueba la generación de un fluido eléctrico proporcional al campo magnético, producido de acuerdo con la ley de Faraday, así, es el caso en el que se obtiene un voltaje que se incrementa proporcionalmente al número total de espiras e inverso al calibre del alambre. En el caso particular de este proyecto, se encuentra un valor de voltaje de 3VDC proporcionales a las 14.500 espiras con un error de 0,9 %.

Se obtuvo el 25 % de eficiencia en la producción de energía por medio de la bobina inducida, a través de un proceso mecánico efectuado por la fuerza del viento, luego, su posterior almacenamiento y transformación.

La velocidad generada por el viento ingresa con turbulencias, golpeando un imán de neodimio, el cual genera movimientos oscilatorios en el núcleo de la bobina, que a su vez produce un campo magnético en proporción a las vibraciones mencionadas, esto conlleva a la producción de corriente eléctrica para ser utilizada en distintas cargas. Como variable de entrada se considera la velocidad del viento traducida a un voltaje esperado y como variable de salida el voltaje producido real para una velocidad constante de 3 m/s, con estos dos parámetros de entrada y salida se logra obtener una eficiencia del 25 %, la cual, para el efectos de investigación en este prototipo, es considerable y valida el funcionamiento del aerogenerador sin aspas; sin embargo, se recomienda ahondar en el uso de nuevos materiales, distintas formas de los imanes, implementación de otros dispositivos para amplificar la velocidad del viento y mejores métodos de construcción para bobinas, lo cual se puede hacer en otras etapas del proyecto.

Bibliografía

- Avila Blas, O., Musso de Dip, H., y Avila, G. N. (2014). Modelización bivariada de series de tiempo no lineales de SO₂ y velocidad de viento en Salta Capital, Argentina, con soporte de perceptrones multicapa ponderados. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, 33, 25-36. <https://bit.ly/3uKP7aS>
- Baillarie, P. (2007). *Diseño de aerogeneradores con imanes permanentes para aplicaciones en electrificación rural* [Tesis de grado, Universidad de Chile]. Repositorio Académico de la Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104789>
- Vortex Bladeless. (s.f.). Energía eólica sin palas. <https://vortexbladeless.com/es/>
- Castillo Molina, D. J. y Gómez Cuervo, D. (2017). *Diseño y construcción de un aerogenerador basado en la ley de la inducción de Michael Faraday* [Tesis de pregrado, Corporación Universitaria Minuto de Dios]. Repositorio institucional UNIMINUTO. <https://repository.uniminuto.edu/handle/10656/4921>
- Coordinación de Universidades Politécnicas. (2013). *Manual de asignatura ELM-CV REV00. Academia de Ciencias Básicas Electricidad y Magnetismo*. México D.F.
- Decreto 1623 de 2015 (2015, 11 de agosto 11). El Presidente de la República de Colombia. Diario Oficial No. 49.601. <https://bit.ly/3KNMafr>
- Decreto 2143 de 2015 (2015, 4 de noviembre). El Presidente de la República de Colombia. Diario Oficial No. 49686. <https://bit.ly/37NCxyF>
- Decreto 2469 de 2014 (2014, 2 de diciembre). El Presidente de la República de Colombia. Diario Oficial No. 49.353. <https://bit.ly/3rvq7Jo>
- Decreto 2492 de 2014 (2014, 3 de diciembre). El Presidente de la República de Colombia. Diario Oficial No. 49.354. <https://bit.ly/3JNfjGj>
- Gómez, A. (coord.) (2002). *Análisis y operación de sistemas de energía eléctrica*. McGraw-Hill Interamericana de España S.L.
- González, M. E., Vázquez, F. y Morilla, F. (2010). Control multivariable centralizado con desacoplo para aerogeneradores de velocidad variable. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 7(4), 53-64. [https://doi.org/10.1016/S1697-7912\(10\)70060-1](https://doi.org/10.1016/S1697-7912(10)70060-1)
- Ministerio de Minas y Energía-Unidad de Planeación Minero Energética –UPME-. (2015). Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia (Convenio ATN/FM-12825-CO). En Unidad de Planeación Minero Energética. <https://bit.ly/38LNmSh>
- Ley 1715 de 2014 (2014, 13 de mayo). Congreso de la República. Diario Oficial No. 49.150. <https://bit.ly/37UgZ3z>

- Ley 1955 de 2019 (2019, 25 de mayo). Congreso de la República. Diario Oficial No. 50.964. <https://bit.ly/3JQr9iO>
- Mazadiego, T., Guerrero, L. y Vega, C. (2017). Propuesta para incrementar la resiliencia en una muestra de niños de educación básica. En *Memorias 28° Encuentro Nacional de Investigación Científica y Tecnológica Golfo de México* (pp. 41-46). Academia Tamaulipeca de Investigación Científica y Tecnológica A.C. <https://bit.ly/3jLE4b6>
- Osorio, C. (2018). *La Consulta popular ante los impactos ambientales de la construcción de Proyectos Hidroeléctricos en Colombia. Estudio del Caso de la hidroeléctrica El Quimbo* [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio Institucional. <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/15905>
- Resolución 0281 de 2015 (2015, 5 de junio). Unidad de Planeación Minero Energética - UPME. Diario Oficial No. 49.534. <https://bit.ly/3JL1DM2>
- Resolución 1283 de 2016 (2016, 3 de agosto). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Diario Oficial No. 49.976. <https://bit.ly/3KPu4JN>
- Resolución 1303 de 2018 (2018, 13 de julio). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Diario Oficial No. 50.653. <https://bit.ly/3uKObmX>
- Resolución 1312 de 2016 (2016, 11 de agosto). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Diario Oficial No. 49.977. <https://bit.ly/37PB0bo>
- Resolución 24 de 2015 (2015, 13 de marzo). Comisión de Regulación de Energía y Gas – CREG. Diario Oficial No. 49.490. <https://bit.ly/37YIGZ6>
- Resolución 703 de 2018 (2018, 14 de diciembre). Unidad de Planeación Minero Energética - UPME. Diario Oficial No. 50.812. <https://bit.ly/3KMoBDz>
- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2016). Plan de Expansión de Referencia. Generación -Transmission 2015-2029. Ministerio de Minas y Energía.

Desarrollo de un prototipo desfibrador semiautomático de fique para la obtención de fibra en el municipio del Tambo, Nariño

Mario Andrés Rivera Solarte¹

Daniel Styven Suarez Burbano²

Richard Geovanni Moran Perafán³

Cítese como: Rivera-Solarte, M. A., Suarez-Burbano, D. S. y Moran-Perafán, R. G. (2023). Desarrollo de un prototipo desfibrador semiautomático de fique para la obtención de fibra en el municipio del Tambo, Nariño. En R. G. Moran-Perafán, F. C. Gómez-Meneses, T.M. Piamba-Mamian, F. A. Guasmayán-Guasmayán, A. L. Ibarra-Ordoñez y E. M. Moncayo-Torres (comps.), *Tecnología e Innovación: el camino a la transformación productiva* (pp. 27-42). Editorial UNIMAR. <https://doi.org/10.31948/editorialunimar.173.c261>

Resumen

En este escrito se presentan los resultados obtenidos del desarrollo de un prototipo desfibrador semiautomático de fique para la obtención de fibra en El Tambo, Nariño, debido a que, en la actualidad, la extracción de cabuya se realiza de una forma casi manual, es decir, los operadores introducen las hojas en máquinas rotatorias, que retiran la materia orgánica y separan la fibra. Infortunadamente, el proceso es peligroso y muchos operadores han sufrido lesiones o han perdido sus manos o dedos. Para mitigar este problema, se planteó desarrollar el prototipo anteriormente mencionado, que ofrece mejores las condiciones de seguridad para los operadores. En este sentido, para el desarrollo del prototipo, se utilizó la metodología clásica del diseño mecánico, la cual se puede resumir como definición del problema, investigación, síntesis y análisis. En la fase de síntesis, se desarrolló un prototipo a escala de madera para probar el concepto, se verificó que cumpla con las condiciones de funcionamiento. En el diseño detallado, se usaron herramientas teóricas como diseño de ejes, juntas atornilladas, selección de rodamientos y bandas. Para el diseño de la estructura, se usaron simulaciones con elementos finitos. Los dibujos tridimensionales y planos de fabricación fueron desarrollados en el software Solidwoks 2016, finalmente, para el control del prototipo, se escogió el módulo ESP32.

Palabras clave: fique, cabuya, fibras naturales, diseño mecánico.

Introducción

En Colombia, hay una gran riqueza en los cultivos de fique, por lo que la extracción de las fibras naturales y los estudios de nuevas aplicaciones industriales constituyen un amplio campo para el desarrollo del país. En este sentido, El Tambo, Nariño es uno de los principales productores de fique a nivel nacional, el municipio cuenta con características que benefician el cultivo de agave, como lo es el microclima de la región, el cual brinda condiciones óptimas

¹Correo electrónico: maririvera@umariana.edu.co

²Correo electrónico: dasuarez@umariana.edu.co

³Correo electrónico: rmoran@umariana.edu.co

para la producción agrícola. Por otro lado, las distribuciones de las tierras son entre 2 a 3 hectáreas, por lo que se puede decir que, la economía del sector agropecuario se sustenta, en un alto porcentaje, en los cultivos de fique.

De igual forma, es importante mencionar que las implementaciones de máquinas desfibradoras de fique no han tenido un estudio detallado, debido al insuficiente incentivo para la utilización de fibras naturales y las alternativas para cuidar el medioambiente, por ello, las máquinas que existen en Colombia y en el departamento de Nariño no son aptas para el proceso de desfibrado, ya que provocan un alto índice de accidentabilidad laboral. Por lo tanto, el presente proyecto nace de la necesidad de desarrollar un prototipo desfibrador semiautomático de fique para la obtención de fibra en el municipio de El Tambo, Nariño. Para ello, se debe estudiar los equipos desfibradores disponibles en el mercado nacional y determinar las necesidades, características y especificaciones de equipo a construir, enseguida, se debe plantear diferentes alternativas para que la maquina se adapte y desfibre las diferentes hojas de agave.

En el transcurso de esta investigación se halló información del diseño y construcción del prototipo desfibrador semiautomático de fique, que permite transformar la materia prima de una forma rápida y segura para los operadores.

Fundamentos para el desarrollo del proyecto

El fique (comúnmente conocido como cabuya en Colombia) es una planta de la familia *Agavaceae* y del género *Furcraea*. Esta planta ha sido usada ancestralmente en muchos países del mundo como material para elaborar cuerdas, cordeles, sacos, telas y tapetes. Las fibras de fique son fuertes y biodegradables, y su descomposición no tiene ningún impacto ambiental porque es material orgánico. Actualmente, se presentan como una alternativa sostenible para sustituir productos plásticos como los costales y bolsas sintéticas, las cuales contaminan el medioambiente, por lo general, son utilizadas una vez y desechadas.

No obstante, el fique en Colombia ha dejado de ser importante en varios aspectos, pero todavía es utilizada en labores campesinas colombianas. También facilita un gran servicio al sector cafetero, en la elaboración de costales para el almacenamiento del café. Estos costales son utilizados porque tienen la característica de mantener el café fresco. Asimismo, el fique es usado en el sector artesanal y constituye una fuente de ingresos para muchas familias colombianas, puesto que los artesanos producen una diversidad de elementos decorativos y objetos para el hogar a base de este material.

Así, el departamento de Nariño es considerado uno de los mayores productores de cabuya del país, con once mil toneladas de fibra anuales, según la Corporación de Fiqueros. Los artesanos del municipio de el Tambo realizan el proceso de desfibrado del fique con una máquina rotatoria, la cual alimentan manualmente con motor de gasolina para retirar la materia orgánica y extraer la fibra. Sin embargo, esta actividad constituye un peligro para las personas que operan estos equipos, ya que se han presentado varios accidentes que han ocasionado lesiones y amputaciones de dedos y manos, perdiendo la capacidad de realizar actividades de la vida diaria y ocupacional, además de causar traumas psicológicos, tal como lo manifiesta López y Estrada (2009), “la pérdida de dedos de la mano genera diferentes grados de minusvalía ocupacional según los dedos afectados” (p. 41). Una alternativa para

disminuir los riesgos es rediseñar estos equipos con sistemas de seguridad y alimentación semiautomática.

Por lo tanto, el proyecto se justifica porque pretende mejorar las condiciones laborales de los productores de fibras de fique en el departamento de Nariño, principalmente disminuir los riesgos de accidentes, puesto que, según una encuesta realizada a los fiqueros del departamento, el 30,3 % de 33 trabajadores que manipulan la maquina tiene accidentes en las manos y el 18,1 % presenta complicaciones en los miembros superiores (Instituto Departamental de Salud Nariño y Universidad de Nariño, 2011). Con respecto a los procesos de alimentación manual que actualmente se llevan a cabo, existe un 9,4 % que queda atrapado por la trasmisión de fuerzas entre el motor y el cilindro desfibrador. También, se presentó el caso donde 3 personas tuvieron la amputación de alguno de sus miembros superiores.

Por lo anterior, se pretende solucionar esta problemática mediante la fabricación de una máquina que disminuya el riesgo laboral. La implementación de la máquina no afectará de ninguna manera el empleo del campesino, ya que seguirá dependiendo de un operario tanto para introducir la cabuya como para el momento de sacarla.

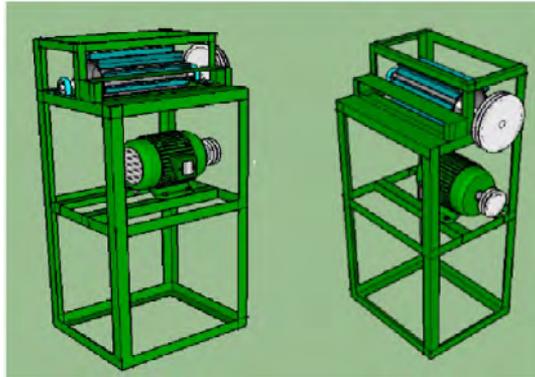
Por otro lado, el desarrollo de este proyecto es muy importante debido a que constituye un aporte tecnológico al sector rural de varios municipios de Nariño y de Colombia, además, mejorará las condiciones de la aplicación de la Ingeniería Mecatrónica al sector agroindustrial e impulsará el desarrollo del campo Nariñense.

Antecedentes

A continuación, se presenta una investigación preliminar sobre máquinas y prototipos relacionados con el proyecto, con el fin de identificar sistemas y especificaciones.

Fabricación y prueba del descortezador de fibra de abacá

El proyecto fue realizado por Villanueva (2018), el objetivo del autor fue desarrollar una máquina que extrajera fibra de abacá en Filipinas. La máquina fue diseñada con un rodillo de tambor al cual estaban adheridas unas barras angulares de 2 pies de largo. Las barras fueron distribuidas alrededor del cilindro y fueron sujetas con pernos roscados. También, contó con un motor eléctrico de 1.5 hp, con una velocidad de 1.740 rpm, suficiente para mover el cilindro por medio de un sistema de transmisión por polea y ejes giratorios. Las poleas tuvieron una relación de velocidad de 5:7 (poleas 5" y 7" de diámetro) y utilizó un eje de una pulgada de diámetro donde se fijaba el rodillo. El marco estructural fue resistente para evitar las vibraciones que generaba el motor. En las pruebas de funcionamiento de la máquina, el autor se dio cuenta que el mejor resultado fue cuando ajustaron el largo de las hojas de abacá a 1.5 metros de largo. Este proyecto arrojó como resultado 10 kilos de fibra al día.

Figura 1*Descortezador de abacá eléctrico*

Fuente: Villanueva (2018).

Desarrollo de un decortizador de agave para pequeños agricultores

Este proyecto fue desarrollado por Matiru et al. (2011), en la universidad de Nairobi Kenia, con el objetivo de perfeccionar los diseños de decortizadores a pequeña escala. El proyecto contó con un cilindro compuesto de un tubo de acero dulce, con un diámetro externo de 457.2 mm, una longitud de 655 mm y un espesor de 5 mm. También, tuvo cuchillas con los bordes de ataque redondos, con el fin de no cortar las hojas. Las cuchillas fueron montadas alrededor del cilindro y aseguradas con soldadura.

Además, el eje del tambor tenía un diámetro de 35 mm y 975 mm de longitud de acero de bajo carbono. Los bujes fueron hechos de hierro fundido de diámetro externo 70 mm y un diámetro interno de 35 mm y con una longitud de 70 mm. El dispositivo contó con un motor de combustión interna de 5.5 hp, con una velocidad de 2.400 rpm. Los autores eligieron una transmisión por correas, ya que encontraron que el sistema por cadena tenía inconvenientes. La polea impulsora fue de 56.25 mm de diámetro, mientras que el de la polea impulsada fue de 135 mm, con una relación de trasmisión de 10:24. Asimismo, seleccionaron una correa de 173 pulgadas de longitud tipo trapezoidal.

Figura 2*Modelo de decortizador equipado con ruedas*

Fuente: Matiru et al. (2011).

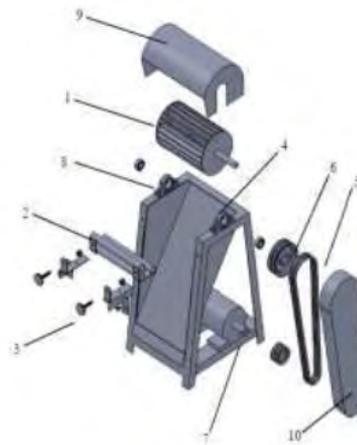
Diseño y construcción de una máquina extractora de fibra multipropósito

Este proyecto fue desarrollado por Lanjewar y Awate (2017), con el objetivo de diseñar y desarrollar una máquina de extracción de fibra multipropósito que pueda extraer cualquier clase de fibra. La máquina tuvo solo un rodillo que rueda sobre un soporte fijo, un motor de 1 hp, que proporcionó la potencia a los rodillos mediante una banda. Para triturar los tallos de la planta, en la entrada, la máquina tiene dos rodillos listos para suavizar los tallos de las hojas. Los tallos preferiblemente deben ser ingresados con una longitud de 100 a 2000 cm de largo.

En este proyecto, el rodillo fue la pieza más importante, ya que aplica fuerzas de apriete necesaria para separar el material pulposo y los pigmentos, de esta manera, deja solo la fibra. Al final del proyecto, se dieron cuenta que la calidad de la fibra no era buena, ya que el rodillo no era suficiente para separar los pigmentos de la fibra.

Figura 3

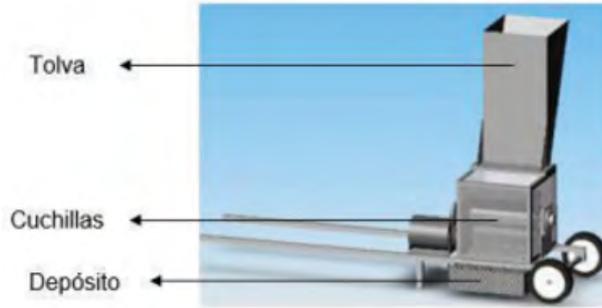
Modelado 3D máquina extractora



Fuente: Lanjewar y Awate (2017).

Equipo descortezador con tolva vertical

Este prototipo desfibrador de agave fue propuesto por el Departamento de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad de Nairobi, Kenia. Este diseño es muy interesante, ya que la mayoría de máquinas diseñadas no contienen una tolva vertical (Snyder et al., 2006). El diseño contó con un motor eléctrico de 1 hp con una velocidad de 1700 rpm, suficiente para mover el eje donde estaban ubicadas 6 cuchillas desfibradoras. Las cuchillas tuvieron una longitud de 30.5 cm. Para su funcionamiento, fue necesario activar el prototipo e introducir las hojas de forma lenta a través de la tolva. Una vez las cuchillas raspaban las hojas y el proceso estaba terminado, la fibra o el producto se colocaba en el depósito. El rendimiento de este prototipo fue de 140 kg de fibra por día.

Figura 4*Descortezadora con tolva vertical*

Fuente: Snyder et al. (2006).

Máquina descortezadora Cardoma

El diseño de la descortezadora Cardoma (Mayorga, 2004) cambia el método de desfibrado convencional, ya que el raspado de las hojas se realiza por medio de clavos periféricos ubicados en el tambor (ver Figura 5), tiene un motor eléctrico de 4 hp, con una velocidad de 1.720 rpm, una transmisión por medio de bandas encargada del giro del tambor, con un diámetro de 220 mm. La estructura de la máquina es de forma rectangular, con 1.210 mm de alto, 550 mm de ancho y 500 mm de largo. En cuanto a la introducción de la materia prima se realiza a través de una abertura pequeña.

Figura 5*Descortezadora tipo Cardona*

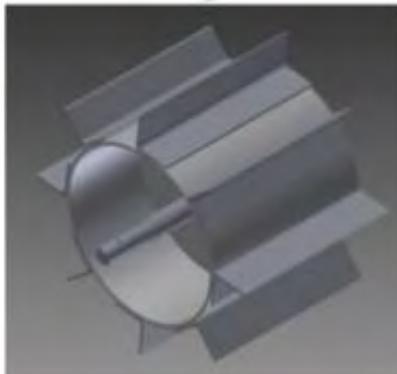
Fuente: Mayorga (2004).

Descortezadora tipo Searby

Se caracteriza por poseer cuchillas o paletas alrededor del rodillo (ver Figura 6). Las ventajas que tiene este sistema son las siguientes: presenta un buen desbridado, lo cual deja una fibra de buena calidad; no es difícil de fabricar y su mantenimiento no trae complicaciones.

Figura 6

Cilindro descortezador tipo Searby



Fuente: Espín y Tello (2015).

Diseño del prototipo

A continuación, se realiza una descripción metodológica, empleada para el desarrollo del prototipo de investigación, en la que se define las siguientes etapas: especificaciones de desempeño, soluciones del problema de estudio, bocetos y descripción del prototipo, definición final de sistemas y, finalmente, cálculos.

Especificaciones de desempeño

En esta fase, se identificó las funciones del prototipo y con base en ello se definió las especificaciones de desempeño, que son los requisitos mínimos que se espera cumplir con el prototipo.

- El prototipo construido debe costar menos de COP \$5'000.000.
- El prototipo debe de desfibrar hojas de agave hasta 1.5 metros de largo y de 3 cm máximo de espesor.
- La vida útil del prototipo debe durar mínimo 2 años.
- El prototipo tendrá una capacidad de desfibrado de 2 kilos de fibra por hora.
- El prototipo debe tener un sistema de alimentación segura de agave que no comprometa la integridad del operador

Soluciones al problema de estudio

Para definir la solución de diseño del proyecto, se realizó combinaciones con algunas especificaciones importantes (ver Tabla 1). Al realizar la investigación preliminar, se determinó que existen dos clases de motores que pueden ser implementados en el prototipo, a saber: motor de combustión interna y motor eléctrico AC. Por otro lado, se obtuvo que, para la transmisión de potencia, existen bandas y poleas, cadenas y engranajes.

Los cilindros encargados de desfibrar las hojas de agave son los siguientes: descortezadora tipo Maxwell, descortezadora tipo Searby, descortezadora de dos discos. Para la introducción de la materia prima, se realizó por medio de un sistema de rodillos; finalmente, la extracción de la materia prima se realizó de forma manual.

Tabla 1

Combinaciones de diseño

Diseño	Tipo de motor	Transmisión de potencia	Cilindro desfibrador	Introducción materia prima	Extracción de materia prima
Diseño 1	Motor de combustión	Bandas y poleas	Maxwell	Rodillos	Manual
Diseño 2	Motor de combustión	Bandas y poleas	Searby	Rodillos	Manual
Diseño 3	Motor de combustión	Bandas y poleas	Searby	Rodillos	Manual
Diseño 4	Motor de combustión	Cadenas y engranajes	Maxwell	Rodillos	Manual
Diseño 5	Motor de combustión	Cadenas y engranajes	Searby	Rodillos	Manual
Diseño 6	Motor de combustión	Cadenas y engranajes	Discos	Rodillos	Manual
Diseño 7	Motor eléctrico	Bandas y poleas	Maxwell	Rodillos	Manual
Diseño 8	Motor eléctrico	Bandas y poleas	Searby	Rodillos	Manual
Diseño 9	Motor eléctrico	Bandas y poleas	Discos	Rodillos	Manual
Diseño 10	Motor eléctrico	Cadenas y engranajes	Maxwell	Rodillos	Manual
Diseño 11	Motor eléctrico	Cadenas y engranajes	Searby	Rodillos	Manual
Diseño 12	Motor eléctrico	Cadenas y engranajes	Discos	Rodillos	Manual

Después de obtener los diseños, se pasó a evaluar cuál diseño es el más óptimo para el desarrollo del prototipo, teniendo en cuenta los siguientes criterios: costos, fiabilidad o calidad de desfibrado y consumo.

Tabla 2

Costos individuales de cada elemento

Componentes	Precio
Motor de combustión	1.100.000,00
Motor eléctrico Ac	800.000,00
Bandas y poleas	300.000,00
Cadenas y engranajes	350.000,00
Maxwell	700.000,00
Searby	500.000,00
Discos	650.000,00
Rodillos	180.000,00

Tabla 3

Evaluación calidad de desfibrado

Cilindros	Calificación 1-5
Maxwell	3,5
Searby	5
Discos	4,5

Tabla 4

Valoración consumo semanal

Motor	Consumo \$ COP
Motor de combustión	150.000,00
Motor eléctrico Ac	50.000,00

Posteriormente, se realizará una evaluación para cada diseño, teniendo en cuenta los criterios anteriormente mencionados.

Tabla 5*Evaluación final de diseños*

	Fiabilidad (30%)	Costo (40%)	Consumo(30%)	Calificación final
Diseño 1	0,35	0,31	0,03	0,70
Diseño 2	0,5	0,34	0,03	0,88
Diseño 3	0,45	0,32	0,03	0,80
Diseño 4	0,35	0,31	0,03	0,69
Diseño 5	0,5	0,33	0,03	0,87
Diseño 6	0,45	0,31	0,03	0,80
Diseño 7	0,35	0,36	0,10	0,81
Diseño 8	0,5	0,40	0,10	1,00
Diseño 9	0,45	0,37	0,10	0,92
Diseño 10	0,35	0,35	0,10	0,80
Diseño 11	0,5	0,39	0,10	0,99
Diseño 12	0,45	0,36	0,10	0,91

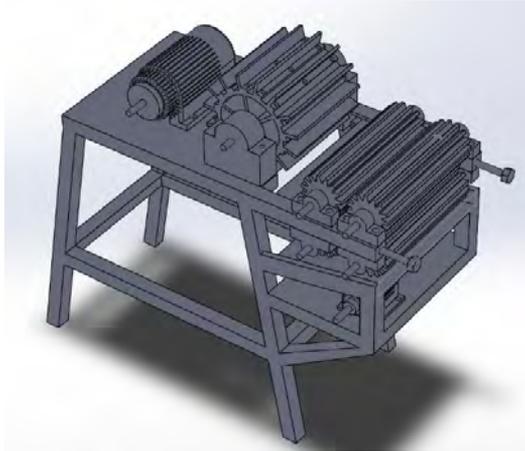
Como se puede observar en la Tabla 5, el diseño 8 es el que tiene mayor porcentaje, gracias a esto se llegó a la conclusión que este diseño es el más adecuado para la realización del prototipo.

Bocetos y descripción del prototipo

El boceto del prototipo que se presenta en la Figura 7 evidencia los cuatro sistemas, el primero, el sistema para transmitir potencia desde un motor eléctrico a las poleas que mueven el cilindro desfibrador. El segundo, el sistema formado por el cilindro desfibrador que está soportado por dos chumaceras y que es movido por la polea impulsada por el motor. El tercero, el sistema que comprende dos rodillos para la alimentación de la hoja de agave, sin intervención manual que comprometa la integridad del personal. El cuarto, el sistema que comprende los elementos que forman parte de la estructura y soportes.

Figura 7

Boceto del prototipo desfibrador



Arquitectura mecánica

Para la realización de cálculos, se tuvo en cuenta el libro de Budynas; de igual manera, las tablas para selección de poleas, bandas, cálculos de eje y rodamientos.

En primer lugar, se definió la capacidad del motor eléctrico, para ello, se concretó un motor de 5 caballos de potencia, con una velocidad de 1.800 rpm, lo cual brinda un torque de 19.78 Nm.

De acuerdo con las investigaciones, se evidenció que la velocidad del cilindro desfibrador debe ser de 1.250 rpm, ya que con esa velocidad se puede realizar de manera eficiente el desfibrado de la hoja de agave.

Como el cilindro rotatorio se lo definió a una velocidad de 1.250 rpm y el motor escogido gira a 1.800 rpm, se redujo la velocidad. Una vez encontrada la relación, se pasó a definir las poleas. Se encontró un par de poleas comerciales que se aproximan a la relación, siendo la polea del motor de 7 inch y la polea del cilindro 10.2 inch.

Para las bandas, se propuso usar una transmisión de banda en V de sección tipo B, ya que es suficiente y con la combinación de ellas se puede manejar potencias entre 1 a 25 hp. Por lo tanto, la referencia de la banda es B53

Después, se pasó a realizar el análisis del eje por rigidez para obtener la deformación total, de esta manera, fue necesario realizar la simulación en el software de elementos finitos ANSYS, donde se consideró los siguientes datos:

- Material: acero 1020
- Módulo de Young o E 200000 Mpa
- Coeficiente de Poisson: 0.3
- Límite elástico del material o S_y : 280 MPA
- Esfuerzo último a la tensión o S_{ut} : 350 MPA

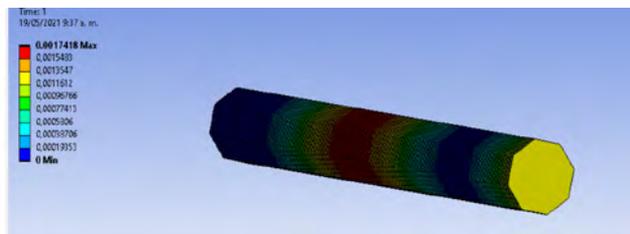
- Alargamiento a la rotura: 15
- Módulo tangente o Et: 471.06 Mpa

También, fue necesario conocer todas las fuerzas y reacciones que se lograron obtener gracias al estudio de tensiones en las bandas.

- Reacción chumacera By: 164.93 N
- Reacción chumacera Dy: 180.65 N
- Reacción chumacera Bz: 67.34 N
- Reacción chumacera Dz: -505.06 N
- Fuerza neta Cy: -320.96 N
- Fuerza polea: Ez= 437.72 N

Figura 8

Análisis del eje por rigidez

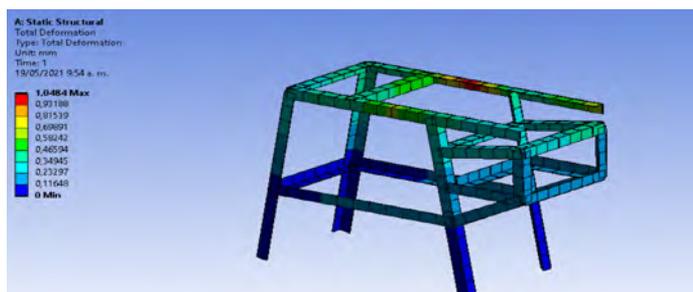


En el análisis de eje, se obtuvo que este se deforma 0.0017 mm, lo cual es favorable para el proyecto. Después, se procedió a realizar el análisis de la estructura del prototipo, para ello, se consideró las especificaciones y datos anteriormente indicados: Módulo de Young o E 200000 Mpa, Coeficiente de Poisson: 0.3, Modulo tangente o Et: 471.06 Mpa. Por otro lado, las fuerzas fueron las siguientes:

- Reacción chumacera By: 164.93 N
- Reacción chumacera Dy: 180.65 N
- Reacción chumacera Bz: 67.34 N
- Reacción chumacera Dz: -505.06 N
- Peso motor eléctrico y: -294 N(30kg)

Figura 9

Deflexión máxima en la estructura



Después de hacer la simulación, se obtuvo un factor de seguridad de 8.5. Para la estructura, se consiguió una deflexión máxima de 1 mm, con unos perfiles en ángulo de 50 X 50 mm, con un espesor de 2.5 mm.

Arquitectura electrónica

El circuito desarrollado tiene la implementación de tres finales de carrera, que sirven como sensores para garantizar la seguridad del operario; también se incluyen los pulsadores de inicio y encendido de los motores implementados, con interruptores de dos estados (estado ON y OFF). Además, se implementó un botón de paro de emergencia para apagar todo el sistema eléctrico del prototipo. Para el control, se implementó un módulo ESP32.

Figura 10

Lógica de programación



Para realizar el esquemático, primero, se hizo una prueba en protoboard, con el fin de garantizar el funcionamiento del circuito. Los PCB se construyeron en el programa Eagle, primero, se construyó el esquemático, donde se hizo la conexión de los pines de control de la placa ESP32 a los componentes que forman parte del circuito.

Figura 11*Circuito de control***Construcción del prototipo**

Una vez se haya finalizado las operaciones necesarias para un correcto acople de los elementos, se procede al montaje, el cual se hace de forma secuencial para lograr un óptimo ensamble de los diferentes elementos y garantizar su correcto funcionamiento, por ello, es necesario tener en cuenta los planos de fabricación.

Resultados

La máquina cuenta con cinco sistemas: el sistema eléctrico de control, que está conformado por 5 interruptores y tres finales de carrera para dar arranque y paro a los motores; el sistema de potencia, que incluye dos motores y sus bandas para dar movimiento al cilindro rotatorio y a los cilindros de alimentación; el sistema de desfibrado, donde se estima la calibración del pechero y el movimiento del cilindro rotatorio para el desfibrado de la hoja; sistema de alimentación, aquí se encuentran los 4 rodillos donde se introducirá la hoja de agavácea; sistema de soporte, que contiene la estructura y la localización de cada elemento que conforma la máquina.

La primera prueba realizada fue el sistema de control, donde se verificó que los interruptores encendieran y apagaran los motores. Posteriormente, se comprobó la activación y desactivación de los finales de carrera, finalmente, se colocó a funcionar los motores y se verificó que el paro de emergencia funcionara.

Después, se ensayó el sistema de potencia, donde se observó que las bandas y las poleas instaladas tanto en el motor de desfibrado como en el motor de alimentación funcionaban correctamente, ya que se dejó la máquina encendida por un tiempo de 15 minutos, antes de proceder a realizar la primera prueba con la hoja de agave.

Finalmente, se verificó el sistema de desfibrado, para ello, primero, se calibró la distancia entre el pechero y la cuchilla desfibradora del cilindro, para que estuviera a una distancia de 2 mm, luego, se prendió la máquina y se introdujo varias hojas de agave. Lo anterior evidenció que el desfibrado es óptimo y de muy buena calidad.

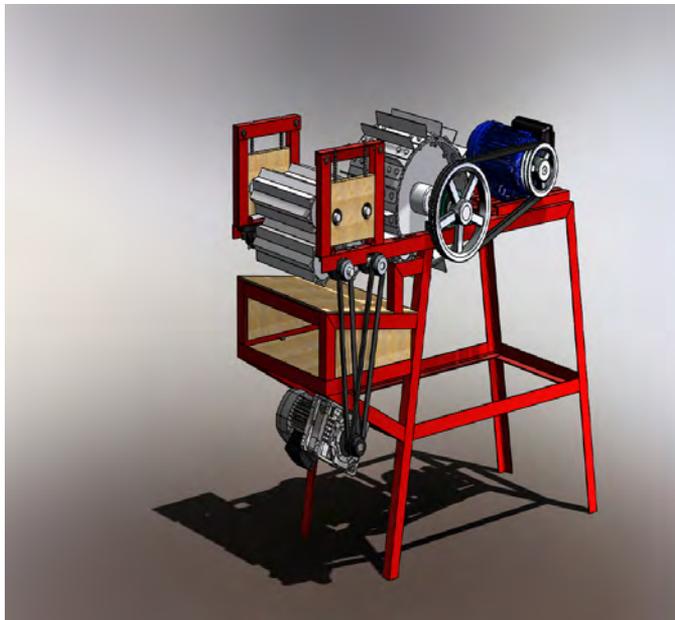
Figura 12

Hoja de agave desfibrada



Figura 13

Prototipo final desfibradora de fique



Para finalizar, se evidenció que el operario no ejerce ninguna fuerza para realizar el proceso de desfibrado, ya que el mecanismo de alimentación se encarga de este proceso, por la tanto, la seguridad e integridad del operario está garantizada en este prototipo.

Referencias

- Espín, L. y Tello, J. (2015). *Diseño y construcción de una desfibradora de hojas y pseudotallos para obtener material lignocelulósico a utilizar como refuerzo de polímeros* [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional]. Bibdigital. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/9221>
- Instituto Departamental de Salud de Nariño y Universidad de Nariño. (2011). Caracterización de las condiciones de salud y laborales de trabajadores del sector informal del departamento de Nariño. http://idsn.gov.co/site/images/publicaciones/riesgos_laborales/NARI%C3%91O/INFORME%20FINAL%20CARACTERIZACION%20NARI%C3%91O.pdf
- Lanjewar, P., & Awate, N. (2017). Review paper on design and modeling of multipurpose fiber extracting machine. *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, 6(4), 328-334. <https://doi.org/10.5281/zenodo.556240>
- López, L. y Estrada, R. (2009). Repercusión ocupacional de las amputaciones traumáticas en dedos de la mano por accidente de trabajo. *Medicina y Seguridad del Trabajo*, 55(217), 41-48. <https://scielo.isciii.es/pdf/mesetra/v55n217/original4.pdf>
- Matiru, K., Osore, A., & Kamande, J. (2011). *Development of a sisal decorticator for small holder* [Tesis de pregrado, University of Nairobi]. Archivo digital. <https://mechanical.uonbi.ac.ke/sites/default/files/cae/engineering/mechanical/DEVELOPMENT%20OF%20A%20SISAL%20DECORTICATOR%20FOR%20SMALL%20HOLDER%20FARMERS-TRADERS.pdf>
- Mayorga, E. (2004). *Evaluación funcional y modificaciones a una maquina desfibradora de lechuguilla (Agave lecheguilla Tott.)* [Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados]. DSpace JSPUI. <http://hdl.handle.net/10521/1845>
- Snyder, B., Bussard, J., Dolak, J., & Weiser, T. (2006). A Portable Sisal Decorticator for Kenyan Farmers. *International Journal for Service Learning in Engineering*, 2(1), 92-116. <https://doi.org/10.24908/ij sle.v1i2.2087>
- Villanueva, J. (2018). Fabrication and Testing of Abaca Fiber Decorticator [Memoria]. *Proceedings of International Conference on Technological and Social Innovation*. http://www.e-jikei.org/Conf/ICTSI2018/proceedings/materials/proc_files/GS_papers/GS_A003/CameraReadyICTSI2018_GS_A003.pdf

Sistema electrónico para el funcionamiento de un minitractor fotovoltaico en pequeños terrenos de agricultura

Jeremías Bravo Tapia¹
Francisco Ramos Guzmán²
Miguel Fuentes Cortés³
Ana Laura Nieto Rosales⁴
Julio Cesar Rojas Nando⁵
Graciela Santos Martínez⁶

Cítese como: Bravo-Tapia, J., Ramos-Guzmán, F., Fuentes-Cortés, M., Nieto-Rosales, A. L., Rojas-Nando, J. C. y Santos-Martínez, G. (2023). Sistema electrónico para el funcionamiento de un minitractor fotovoltaico en pequeños terrenos de agricultura. En R. G. Moran-Perafán, F. C. Gómez-Meneses, T.M. Piamba-Mamian, F. A. Guasmayán-Guasmayán, A. L. Ibarra-Ordoñez y E. M. Moncayo-Torres (comps.), *Tecnología e Innovación: el camino a la transformación productiva* (pp. 43-60). Editorial UNIMAR. <https://doi.org/10.31948/editorialunimar.173.c262>

Resumen

La energía fotovoltaica es aprovechada como fuente de alimentación de dispositivos electrónicos, una de las aplicaciones se presenta en el sector agroindustrial al ser utilizada en el sistema eléctrico o electrónico de tractores, minitractores, motocultores, etc. En esta investigación, se presenta un sistema electrónico propuesto para el funcionamiento de un minitractor fotovoltaico, el cual está en proceso de diseño y construcción. El sistema se forma por un módulo de paneles solares, un controlador de carga con entrada de 60 V de cd a 10 A, un banco de baterías, un motor de corriente directa con sistema de fuerza controlador y accesorios para su control. Los beneficios de este proyecto son sustituir los costos y reducir contaminantes provocados por el uso de combustible fósil, será viable para utilizarlo en terrenos pequeños con la posibilidad de sustituir a una yunta, que también demanda costos de alimentación y cuidado de los animales; el minitractor, en el tiempo que no se lo utilice, almacenará energía y también puede ser utilizado para alimentar el sistema de alumbrado de una casa con poco consumo eléctrico.

Palabras clave: minitractor, energía solar, motor, controlador eléctrico.

Introducción

La agricultura es una actividad esencial en el desarrollo de la región mixteca poblana. La producción agrícola se ha visto afectada por los cambios climáticos que han generado alteraciones en la temporada de precipitación, siendo la escasez de agua el principal factor que afecta a los agricultores y ganaderos. Lo anterior provoca un cambio de actividad, donde

¹Instituto Tecnológico Superior de Acatlán de Osorio, México. Correo electrónico: jrmsbt1@gmail.com

²Instituto Tecnológico Superior de Acatlán de Osorio, México. Correo electrónico: francisco_ramosguzman@yahoo.com.mx

³Instituto Tecnológico Superior de Acatlán de Osorio, México. Correo electrónico: academico_mfc@hotmail.com

⁴Instituto Tecnológico Superior de Acatlán de Osorio, México. Correo electrónico: analaura.nieto.r@gmail.com

⁵Instituto Tecnológico Superior de Acatlán de Osorio, México. Correo electrónico: jc.rojas@hotmail.com

⁶Instituto Tecnológico Superior de Acatlán de Osorio, México. Correo electrónico: graciela.santos@itsao.edu.mx

se abandona los terrenos de cultivo, tendiendo, en mayor parte, paso a la migración, con el fin de mejorar la economía familiar, llegando a ser un factor importante económico para la región y el desarrollo social de las personas. La región mixteca poblana es rica en radiación solar, la cual debe ser aprovechada para la tecnificación y desarrollo de maquinaria agrícola y, con ello, contribuir con el progreso ambiental de la región, en pequeños terrenos de agricultura de riego, temporal y agricultura protegida.

Ante los problemas ambientales derivados de la quema de combustibles como consecuencia de su uso en motores de combustión interna, especialmente diésel para tractores, así como la escasez de existencias de combustibles fósiles a lo largo del tiempo, es vital pensar en una fuente de energía alternativa. La adopción de un tractor eléctrico es una de esas soluciones, especialmente utilizando energía solar como fuente de energía renovable para ayudar a cargar la batería (Abouel-Seoud et al., 2020).

La agricultura familiar o en pequeña escala sigue siendo, en muchas partes del mundo, un factor importante en la producción de alimentos; sin embargo, las explotaciones agrícolas de las regiones subdesarrolladas a menudo carecen de los medios adecuados para llevar a cabo actividades agrícolas con la ayuda de maquinaria motorizada (Vaidya, 2018). Por otro lado, existen regiones que generalmente poseen una fuente de energía renovable confiable, principalmente en forma de radiación solar, que debe ser utilizada para mejorar el rendimiento de la agricultura en forma ambiental.

Por su parte, la tecnología ha sido un factor importante que ha contribuido en la forma de vivir, comunicarse, viajar e interactuar en la sociedad moderna. El gran auge de la tecnología tiene un gran impacto en todas las industrias, especialmente en la agricultura. En este sentido, la agricultura es la columna vertebral de la mayoría de las economías en desarrollo; hoy, está atravesando una transformación masiva debido a la digitalización. Se supone que las nuevas tecnologías, como robots, drones y aprendizaje automático, ayudarán a los agricultores a mejorar la eficiencia y maximizar el rendimiento. Las tecnologías emergentes ya han demostrado ser un factor clave en la sostenibilidad y rentabilidad futura de la agricultura (Sadiku et al., 2020).

Michail (2015) indica que después de la revolución industrial, la humanidad dio paso a la invención de nuevas formas para transformar la energía del sol en energía útil para todo tipo de actividades. En la práctica, el sol no caducará antes del final de la vida de la tierra, este hecho lleva a suponer que este tipo de fuentes de energía son renovables. Aparte de la energía, otro bien importante y fundamental para todas las sociedades es la alimentación. La agricultura es la ciencia por la que circulan todas las actividades relacionadas con la producción de alimentos. Parece que, el futuro de ambos bienes estará ligado, y la producción de alimentos dependerá directamente de la energía. Sumado a esto, la demanda de la industria de producción de alimentos aumentará y requerirá más energía, por lo tanto, se sumará al agotamiento ambiental al liberar CO₂ a la atmósfera.

Cabe mencionar que, la mayoría de las pequeñas explotaciones familiares de las regiones subdesarrolladas carecen de maquinaria agrícola motorizada adecuada, maquinaria que permite una agricultura eficiente y una buena productividad. Dicha carencia se debe a que no hay equipos desarrollados para condiciones específicas de pequeña agricultura en estas regiones. En general, la adopción de nuevas tecnologías por parte de las explotaciones familiares se produce únicamente por criterios técnicos, sin consideraciones económicas,

sociales o ambientales. Así las cosas, se pretende desarrollar un tractor agrícola eléctrico de pequeño tamaño para que la agricultura familiar haga la transición energética entre la energía fósil y la energía eléctrica. Esta fuente de energía se desarrolló mediante un método de innovación frugal.

El principal parámetro de optimización del sistema fue la autonomía de trabajo; el cual fue un desafío que se superó mediante una planificación y gestión innovadoras de baterías en diversas configuraciones operativas de transmisión de energía. El principal aporte de este trabajo fue demostrar que existe viabilidad económica y técnica (en comparación con un tractor convencional) en el uso de un tractor eléctrico para pequeñas fincas cuando existe un adecuado manejo de la tierra y uso de las baterías (Vogtb et al., 2021).

En este contexto, al buscar la reducción de la dependencia de la agricultura de los combustibles fósiles debido a su suministro limitado y los impactos adversos asociados en el medioambiente, el uso de infraestructuras adaptadas con las fuentes alternativas de energía serían una necesidad crucial. Entre todas las fuentes renovables, la energía solar tiene la mayor compatibilidad con las actividades agrícolas. La aparición de la tecnología de conversión de energía solar fotovoltaica (PV) en la agricultura disminuye la necesidad de combustibles a base de petróleo en este sector, ofreciendo una técnica de generación de electricidad más asequible y sostenible, y provocando una reducción notable de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). En las actividades agrícolas modernas, se ha planteado la necesidad de electrificación, lo que ha llevado a la creación de una gran oportunidad para el empleo de la tecnología fotovoltaica en este sector (Gorjian et al., 2021).

Por su parte, Michail (2015) presenta una posible solución alternativa en cuanto al revestimiento de necesidades energéticas, necesarias para las actividades agrícolas relacionadas con las tierras cultivables. A medida que la industria del automóvil se dirige gradualmente a los motores eléctricos y a los vehículos eléctricos, la industria de los tractores agrícolas no se queda atrás con los motores diésel tradicionales. Por lo tanto, se asume que es posible fabricar tractores agrícolas eléctricos, donde se utilice la energía solar y supla las demandas de las actividades agrícolas en el campo.

La elaboración de este tipo de tractores involucra un esquema de paneles solares, un motor eléctrico del tractor y, por supuesto, una batería que almacenará la energía de los paneles, que la producirá en el tractor agrícola mientras opera en el campo. Sin embargo, falta evaluar la viabilidad técnica y financiera del proyecto, que fusiona a la agricultura con la ingeniería sostenible, para prácticas de agricultura sostenible.

En este sentido, se hace necesario la creación de un modelo de minitractor fotovoltaico, que implique la reducción del gasto económico, al eliminar el combustible fósil y el mantenimiento constante de yuntas para la labranza de la tierra, situación que se complica cuando se reduce la producción de pastura por la escasez de agua.

Así las cosas, el sistema propuesto tendrá un motor eléctrico que se alimentará de energía fotovoltaica, producida por un módulo de paneles solares, los cuales se almacenarán en un banco de baterías, un controlador de carga solar para el sistema de alimentación, y un control eléctrico para la operación del minitractor. El objetivo principal en esta etapa es diseñar un sistema electrónico para el funcionamiento de un minitractor impulsado por energía solar para ser utilizado en pequeños terrenos de agricultura.

Uno de los beneficios principales será la reducción del uso del combustible fósil, al ser un dispositivo autosustentable y eliminar la inversión de pastura que se requiere para alimentar a una yunta. También, con el almacenamiento de la energía fotovoltaica en los días que el minitractor no se utilice, se podrá utilizar para sistemas de iluminación y carga de dispositivos de baja potencia.

El término diseño abarca una amplia gama de significados. Tratándose del automóvil la palabra diseño puede estar dada en función de su apariencia externa; pero también los elementos que lo constituyen son diseñados, no por artistas sino por ingenieros, aunque en algunos casos este tenga oportunidad de mostrar algo de capacidad artística.

Por tanto, el diseño de un automóvil alimentado por energía solar consiste en definir y calcular movimientos, fuerzas y cambios de energía a fin de determinar el tamaño, las formas y los materiales necesarios para cada uno de los componentes interrelacionados del vehículo y de esta manera plantear procesos tecnológicos de fabricación apropiados que permitan llegar a la construcción de la máquina logrando que cumpla, sin falla, la función pretendida. (Carreño et al., 2012, p. 91)

En la India, un agricultor de Gujarat ha venido con una solución innovadora; ha fabricado un tractor que funciona con energía solar y electricidad para reducir los crecientes costos del combustible. El agricultor utilizó un taller de carrocería local y su conocimiento acerca de los circuitos eléctricos para fabricar este tractor en su casa. El tractor tiene un panel solar en su techo, que se utiliza para cargar las baterías del tractor. Si no hay luz solar o la carga no es suficiente para operar el tractor, hay otra forma de cargarlo, por medio del tomacorriente de la casa (Nag, 2021).

Teniendo en cuenta lo anterior, los requerimientos para estos sistemas consisten en el uso de paneles solares, controlador de carga, banco de baterías, inversores y controladores del motor de cd o de ca. Cuando la batería requerida se haya cargado por completo, se adhiere al motor eléctrico y se quita la carga del dispositivo. Aunque los motores de CC son de uso común, la industria recientemente se cambió a los motores de inducción de CA por varias razones; por lo tanto, la corriente CC de la batería debe convertirse en CA para permitir la operación del motor en una relación simple entre el motor eléctrico de CA, convertidores CD/CA y la batería (Suhas y Milind, 2020).

Por su parte, Chadalavada et al. (2021) desarrollaron un prototipo de una máquina multiusos que se utiliza para la siembra de semillas, agua, pulverización, corte de hierba. Esta máquina ayuda a reducir el costo de trabajo no calificado en la agricultura, aumentar la tasa de producción, reducir el tiempo para la siembra de semillas, la pulverización de fertilizantes y corte de césped. Esto es útil también porque la población está aumentando gradualmente. La máquina es impulsada por energía solar, con esto se demuestra que el sector agrícola está listo para la implementación de tecnología agroindustrial impulsada por energía solar.

Los autores Abouel-Seoud et al. (2020) crean un modelo de simulación de un tractor eléctrico asistido por energía solar, para lo cual utilizan ecuaciones con MATLAB / Simulink. El consumo de energía y el SOC de la batería se determinan en diferentes condiciones del tractor. La simulación del módulo fotovoltaico consideró el efecto de la insolación de la temperatura y la luz solar. Los resultados del modelo PV se validan con las curvas I-V y P-V, examinan el efecto de los parámetros sobre el rendimiento del tractor del consumo de energía y el SOC de la

batería. La influencia del campo fotovoltaico en el SOC de la batería se presenta en diferentes condiciones del tractor.

Vishu et al. (2015) proponen un enfoque para implementar sistemas-vehículo de ingeniería multiuso, que se puede operar desde cualquier lugar dentro de la radiofrecuencia para reducir los esfuerzos humanos. En este caso, es un vehículo solar multiusos controlado por radio basado en sensores, a fin de facilitar el arado en la agricultura; basado en la autonomía de supervisión, el tractor puede arar el campo con una presión definida sobre el suelo. Una simple computadora de escritorio puede operar este tractor controlado por radio, a través de las teclas de flecha y por la escena de la cámara que se dirige al frente. Este es un modelo prototipo que se puede implementar en un entorno del mundo real. El experimento con esta demostración muestra un efecto significativo y positivo al arar el campo sin la necesidad de visitarlo, y tan solo utilizar baterías cargadas con energía solar. Las estimaciones a futuro son que los agricultores serán los más beneficiados.

En la página web Motorpasión México, Bureau (2014) publicó:

La Facultad de Ciencias Físico Matemáticas (FCFM) de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) presentó un prototipo de vehículo solar que es impulsado con paneles solares.

Apolonio Juárez Núñez, responsable del Centro de Estudios en Energía y Ambiente de la FCFM, comentó que la construcción del prototipo denominado Vehículo Universitario Solar (VUS) surgió de la idea de que la movilidad en este recinto universitario sea a través de este tipo de vehículos.

Tendrá una velocidad máxima de 30 kilómetros por hora, aunque puede alcanzar de 60 a 70 kilómetros en este tiempo, y puede llevar a tres personas.

Además, el VUS puede funcionar de manera mecánica, gracias a que cuenta con un juego de paneles que ayudan a generar movimiento y promueven el ejercicio físico. (párr. 1-4)

El fabricante japonés Kubota afirma que la agricultura va a cambiar, con la presentación de X Tractor, un tractor autónomo capaz de realizar trabajos en el campo por su cuenta, sin la necesidad de ser vigilado ni ayudado de ninguna manera.

Este vehículo forma parte de la nueva generación de productos de Kubota para la automatización de la agricultura, pero es sin duda alguna el más avanzado. No solo por su diseño, que se parece menos a un tractor y más a una especie de animal cibernético, sino también por todas las innovaciones que incluye.

Y es que este tractor es capaz de moverse por sí solo y atender el cultivo gracias a la combinación de varias tecnologías, desde el GPS para definir su localización a sensores de a bordo, como las cámaras integradas. Usando todos esos datos, el sistema de guía por Inteligencia Artificial es capaz de conducir el tractor tanto por cultivos tradicionales como por arrozales, tan importantes en Japón.

En lo que respecta a la motorización, este tractor abandona el clásico motor diésel en favor de cuatro motores eléctricos conectados a baterías de ion de litio. Lo interesante es que esas baterías no solo se pueden recargar con un enchufe, sino que la parte superior del tractor está cubierta de paneles solares; tiene sentido, ya que pasará la mayor parte del tiempo al sol. (Raya, 2020, párr. 4-8)

En Europa, Lombardi y Berni (2021) realizaron un estudio relacionado con un tractor multifuncional de batería, es decir, con funcionamiento eléctrico. Los autores estudiaron la

disposición al evaluar las preferencias de los consumidores potenciales hacia los atributos del tractor eléctrico con respecto a los convencionales, aplicando un experimento de elección para investigar la toma de decisiones del consumidor hacia las características técnicas y ambientales entre tres tractores diferentes y considerando las características de las fincas con viveros, así: un tractor eléctrico de batería completa recargado por energía fotovoltaica, un tractor de biocombustible y un tractor diésel (T1: RAMses, eléctrico; T2: Mejor, biocombustible; T3: ProGator 2030A, diésel). Los tres conjuntos de opciones se diseñaron para ofrecer, a los encuestados, diferentes niveles de los atributos clave de los tractores, como características técnicas y financieras, potencia del motor, emisión de gases, costos operativos y gastos mensuales.

En los resultados de la investigación de Vogtb et al. (2021), se evidencia que el tractor prototipo eléctrico logró fuerzas de tracción constantes que iban desde 1770 N (prueba 1) a 4754 N (prueba máxima). En la prueba preliminar 0, con solo 8 kg de peso de lastre, se produjo un deslizamiento excesivo. Por tanto, los resultados de la prueba 0 no se consideraron válidos. Todas las pruebas siguientes se llevaron a cabo con un pasajero adicional con una masa de 99 kg, que sirvió como lastre en el tractor. En este estudio, se concluyó que, para aplicaciones agrícolas con acceso a la red, un tractor eléctrico es una buena opción, tiene una buena viabilidad económica para hacer una transición energética exitosa.

Así, se ha comprobado que las configuraciones de planificación y gestión de la transmisión de energía eléctrica son una excelente solución y permiten autonomía funcional para los tractores eléctricos que operan en la agricultura familiar. El rendimiento del tractor eléctrico es superior al de un tractor con motor de combustión convencional. Además, el costo por hora del tractor eléctrico es de 2 a 3 veces menor que el del tractor tradicional.

Por su parte, Gorjian et al. (2021), en su estudio, investigan la integración de la tecnología fotovoltaica con tractores agrícolas eléctricos y robots agrícolas, mediante la discusión de trabajos de investigación y estudios de casos comerciales. Los resultados indican dos grandes desafíos en contra del despliegue generalizado de maquinaria agrícola eléctrica moderna alimentada con energía solar, están los altos costos iniciales asociados principalmente a los módulos fotovoltaicos y a las unidades de almacenamiento de baterías, junto con las deficiencias en las tecnologías de almacenamiento de electricidad. Debido al funcionamiento en condiciones exteriores, también se debe considerar el efecto de los parámetros ambientales en el rendimiento de los módulos fotovoltaicos integrados con máquinas agrícolas, incluida la temperatura de la superficie, la acumulación de polvo, la sombra y la humedad del aire. Otras mejoras técnicas, reducciones de costos y la obtención de incentivos gubernamentales pueden facilitar el despliegue en el mundo real de estas máquinas sostenibles. Los autores esperan promover la integración de la tecnología fotovoltaica con la maquinaria agrícola eléctrica moderna y animar a los agricultores, productores, planificadores y tomadores de decisiones a emplear esta técnica en la agricultura mecanizada, brindándoles una idea acerca de los últimos avances junto con los principales desafíos.

En los recientes y rápidos desarrollos de la ciencia y la tecnología en todo el mundo, la agricultura es un dominio que requiere desarrollos continuos para mejorar el estilo de vida de los agricultores, los estándares de la nación en términos de producción agrícola en un período de tiempo limitado y lograr la calidad, productos y servicios. El principal problema en la agricultura, a pesar de la amplia variedad de ayudas tecnológicas proporcionadas durante

las últimas décadas en temas agrícolas, es que los agricultores tienen dificultades para adoptar dichas tecnologías, debido a varios factores: costo, conocimiento de funcionamiento, mantenimiento y ahorro de combustible. Como resultado, la mayoría de los agricultores de mediana escala adoptan animales; algunos de ellos, que cuentan con un poco más de recursos, hacen uso de tractores; sin embargo, ambas opciones aún no son económicas (Sajjan et al., 2021).

Por lo tanto, Sajjan et al. (2021) hacen una propuesta para reducir las dificultades que enfrentan los agricultores, incluso en esta era, a través del mecanismo de Theo Jansen, en campos agrícolas provistos de múltiples sistemas destacados, de manera que el sistema resulta ser económico y eficiente a lo largo de los años de utilización. Este documento, aunque no muestra las ecuaciones cinemáticas necesarias y el análisis de prueba paramétrico, proporciona las posibilidades de aplicación del mecanismo de Theo Jansen en los campos agrícolas, pero con cambios en la configuración estándar, de modo que representa un reemplazo eficiente para los tractores y animales que se emplean.

Por otra parte, Mousazadeh et al. (2010) analizaron las diversas tecnologías de baterías disponibles para su uso en tractores eléctricos híbridos enchufables con asistencia solar. En este contexto, los tractores eléctricos híbridos enchufables con asistencia solar son los que se pueden utilizar en operaciones agrícolas ligeras. Para determinar la batería más adecuada, se analizan cuatro tecnologías comunes, teniendo en cuenta los efectos y costos ambientales del ciclo de vida. Las baterías utilizadas son VRLA, Ni – Cd, Ni-MH y Li-ion. El número de reemplazos necesarios durante la vida fotovoltaica para VRLA, Ni – Cd, Ni-MH y Li-ion es 12, 4, 14 y 5 veces, asumiendo un ciclo de carga / descarga de 24 h, siendo la de Li-ion la mejor opción.

En la investigación de Spykman et al. (2021), se menciona y demuestra que las actitudes de los agricultores hacia los robots de cultivos de campo en un entorno europeo apenas se han estudiado, a pesar de la creciente disponibilidad de la tecnología. Sin embargo, dada la relevancia de los robots para la agricultura a pequeña escala, su aceptabilidad, en regiones dominadas por la agricultura a pequeña escala como Baviera, Alemania, es de particular interés. Los datos se recopilaron mediante cuestionarios en dos eventos que incluyeron conferencias y demostraciones de campo y se analizaron mediante pruebas bivariadas. Considerando el tamaño de la finca, el sistema agrícola (orgánico/convencional) y la estructura ocupacional (tiempo parcial/tiempo completo) fueron atributos relevantes que influyeron en la evaluación de las ventajas y desventajas de los robots de cultivo de campo.

En general, los encuestados de granjas más grandes se centran más en los beneficios económicos de los robots y prefieren grandes tractores autónomos. Por el contrario, los agricultores orgánicos o de pequeña escala consideran que los beneficios ambientales de los robots de cultivo de campo son relativamente más importantes y favorecen a los robots pequeños. La agricultura orgánica también se correlaciona positivamente con la intención de comprar robots para cultivos de campo en los próximos cinco años. Generalmente, más agricultores pueden imaginarse poseer pequeños robots en lugar de un tractor autónomo en diez años, pero, al mismo tiempo, ven los tractores autónomos más adecuados para la mayoría de las tareas agronómicas específicas. Las opciones de no compra, como los servicios de contratistas y el uso compartido de maquinaria, representan los modos preferidos de implementación de robots.

Desarrollo

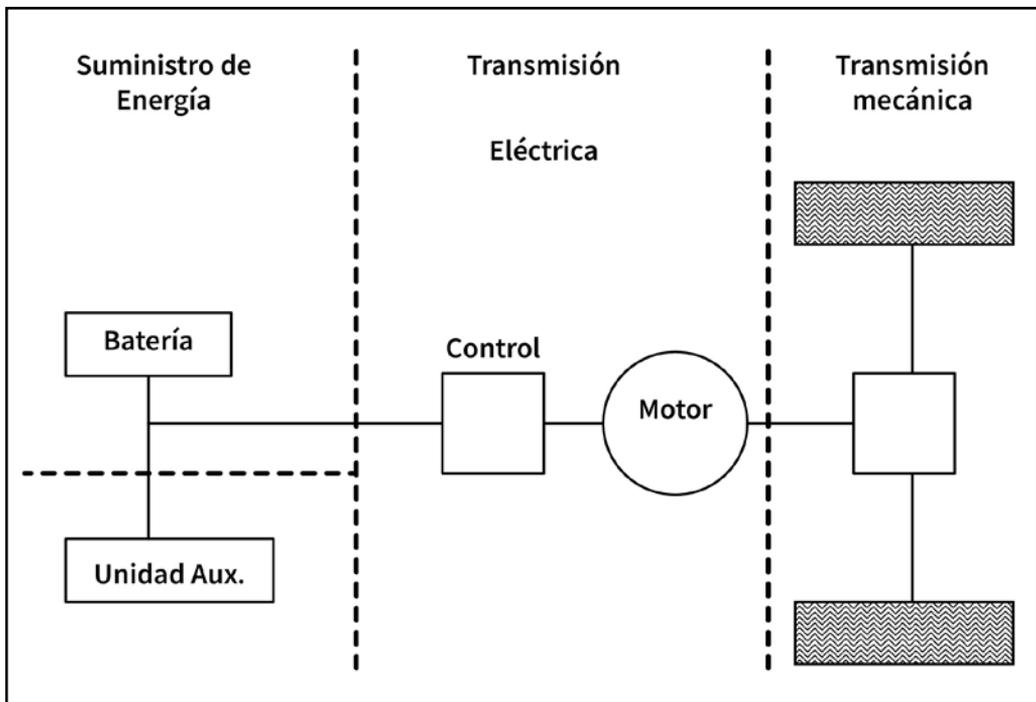
La metodología utilizada y planteada por Carreño et al. (2012), para el diseño y construcción de vehículos eléctricos que actualmente existen en el mercado, es sistemas de transmisión, originalmente desarrollados para su uso en vehículos de combustión interna, basándose en la simple idea de reemplazar el motor térmico por uno eléctrico; sin embargo, los motores eléctricos ofrecen una utilización mucho más flexible que los térmicos, por lo que se puede pensar para diferentes configuraciones de cadenas de tracción. En general, la cadena de tracción de un vehículo eléctrico puede dividirse en tres subsistemas principales: suministro de energía, transmisión eléctrica y transmisión mecánica (ver Figura 1).

Dentro de las consideraciones a tener en cuenta en el diseño de la cadena de tracción se pueden citar las siguientes:

- Tipo de tracción: delantera, trasera o a las cuatro ruedas.
- Número de motores que van a utilizarse.
- Transmisión comparable a la de un VCI o directa.
- Utilización o no de caja de velocidades.
- Cadena de tracción en las que se utiliza un solo motor.

Figura 1

Subsistemas de la cadena de tracción de vehículos eléctricos



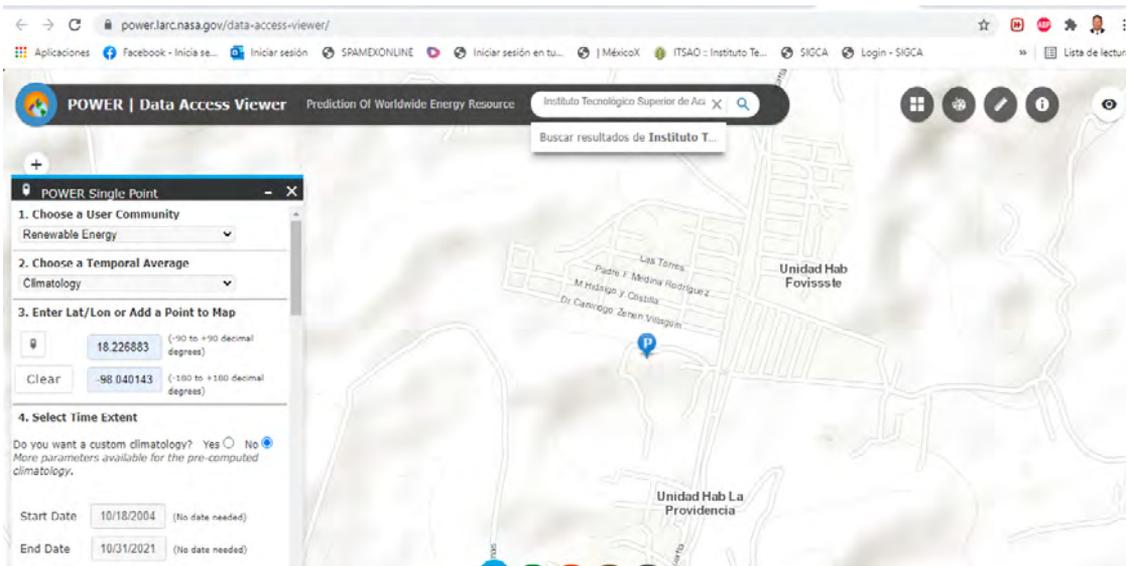
Fuente: Carreño et al. (2012).

Sistema fotovoltaico

En este proyecto, se utiliza la misma metodología de Carreño et al. (2012). El suministro de energía utilizado es fotovoltaico, que es un recurso muy abundante en la región de Acatlán de Osorio, Puebla, México. La investigación se está desarrollando en el Instituto Tecnológico Superior de Acatlán de Osorio, cuya ubicación se muestra en la Figura 2.

Figura 2

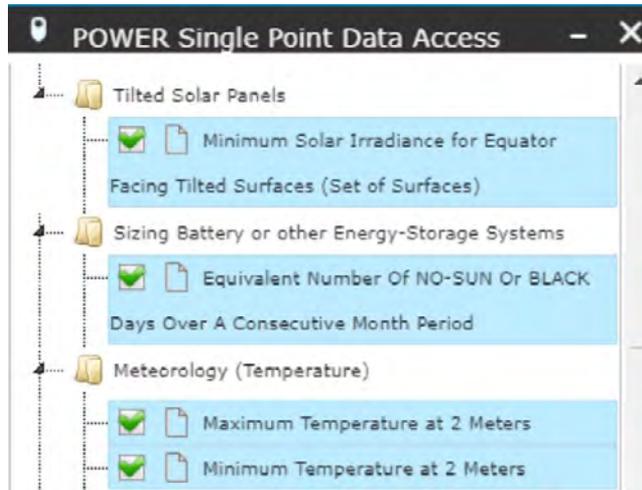
Ubicación del TecNM Campus Acatlán de Osorio



Para el cálculo de la dimensión del sistema fotovoltaico, se realizó la identificación de tres factores principales: la radiación solar mínima, los días nublados, la temperatura máxima y mínima a una altura de 2 metros, mediante la consulta en base de datos de la NASA POWER Single Point Data Access, en la Figura 3 se muestra la selección de estos parámetros para su consulta.

Figura 3

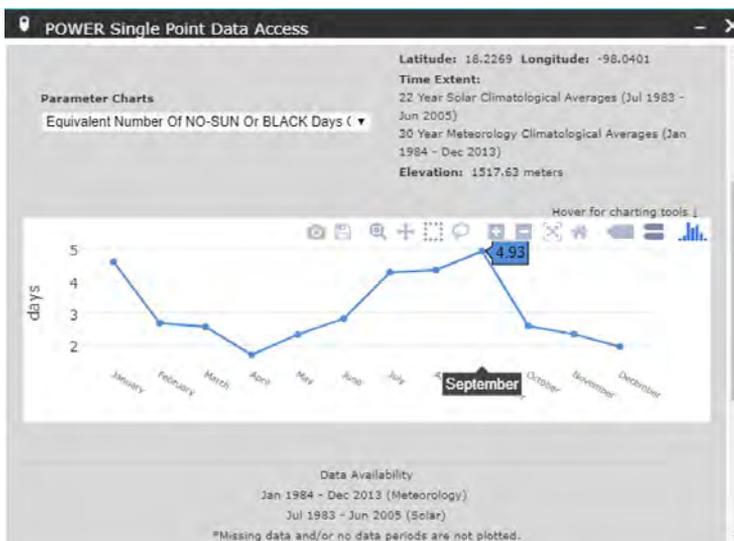
Selección de parámetros para sistema fotovoltaico



Uno de los factores consultados fue el número de días nublados, en la Figura 4 se visualiza y se identifica que el mes con más días nublados es septiembre con 5 días, aproximadamente; sin embargo, esto varía de acuerdo con los cambios climáticos que se presentan globalmente.

Figura 4

Cálculo de días nublados



Es importante considerar la temperatura mínima y máxima, ya que se debe conocer su comportamiento para identificar el punto de operación y rendimiento del panel solar; 2 metros es la altura aproximada en la que se encontrarán ubicados los módulos de paneles solares. En este caso, en Acatlán la temperatura mínima aproximada es de 16.91 °C (ver Figura 5) y la temperatura máxima es de 32.49 °C (ver Figura 6).

Figura 5

Temperatura mínima aproximada

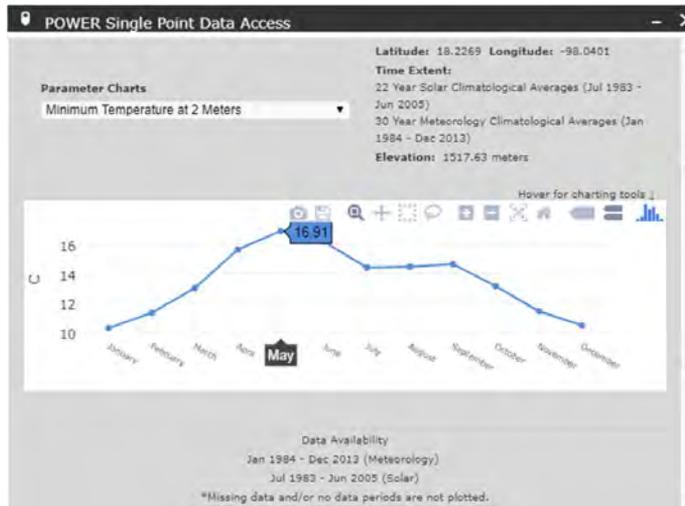
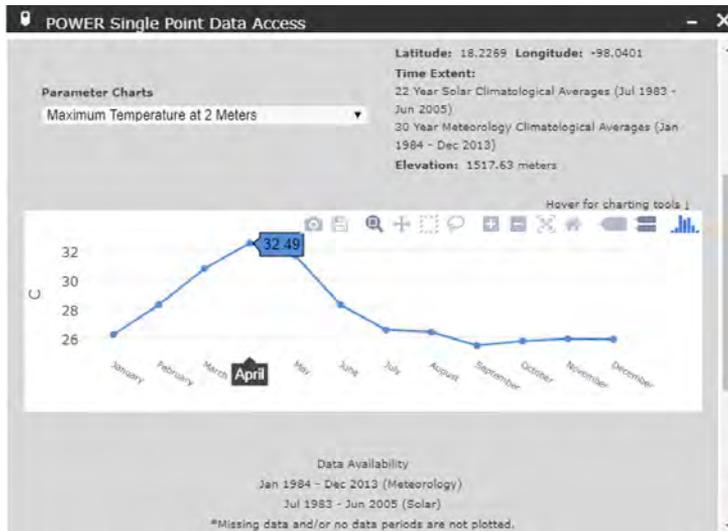


Figura 6

Temperatura máxima aproximada



En la Figura 7 se muestra el concentrado de los parámetros consultados para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico como temperatura, días nublados, inclinación, horas de radiación solar, etc., se concentra en forma mensual y anual.

Figura 7

Parámetros para el dimensionamiento fotovoltaico

Parameter(s):

PARAMETER	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN
T2H_MAX	26.18	28.25	30.72	32.49	31.63	28.24	26.52	26.37	25.45	25.75	25.91	25.88	27.78
T2H_MIN	10.30	11.34	13.02	15.65	16.91	16.19	14.42	14.48	14.66	13.14	11.44	10.48	13.50
EQVINT_NO_SUN_BLACKDAYS_MONTH	4.60	2.69	2.57	1.70	2.33	2.83	4.27	4.34	4.93	2.60	2.34	1.95	-999
SI_EF_MIN_TILTED_SURFACE_0	4.37	5.40	6.20	6.50	6.12	5.63	5.66	5.36	4.70	5.08	4.91	4.57	5.38
SI_EF_MIN_TILTED_SURFACE_10	5.14	6.06	6.52	6.39	6.03	5.67	5.60	5.17	4.76	5.52	5.77	5.56	5.69
SI_EF_MIN_TILTED_SURFACE_33	4.53	5.54	6.29	6.52	6.14	5.67	5.69	5.35	4.73	5.18	5.00	4.76	5.46
SI_EF_MIN_TILTED_SURFACE_90	4.01	3.90	3.85	1.90	1.97	2.36	2.20	1.60	2.07	3.17	4.31	4.68	2.94
SI_EF_MIN_OPTIMAL	5.53	6.25	6.52	6.52	6.14	5.70	5.71	5.36	4.78	5.58	6.16	6.17	5.87
SI_EF_MIN_OPTIMAL_ANG	42.00	33.00	20.00	5.00	-6.00	-11.00	-9.00	0.00	12.00	27.00	40.00	46.00	16.00
SI_EF_MIN_TILTED_ANG_ORI	S	S	S	S	N	N	N	S	S	S	S	S	S

En la Figura 8 se muestra el concentrado mensual y anual, de horas de sol e inclinación, en este caso, se cuenta con 5.87 h de radiación solar por día, con una inclinación de 16°, que es el valor de referencia.

Figura 8

Horas de radiación solar e inclinación de paneles solares

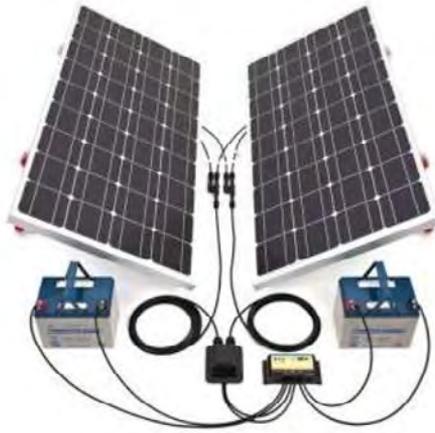
Parameter(s):

PARAMETER	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN
T2H_MAX	26.18	28.25	30.72	32.49	31.63	28.24	26.52	26.37	25.45	25.75	25.91	25.88	27.78
T2H_MIN	10.30	11.34	13.02	15.65	16.91	16.19	14.42	14.48	14.66	13.14	11.44	10.48	13.50
EQVINT_NO_SUN_BLACKDAYS_MONTH	4.60	2.69	2.57	1.70	2.33	2.83	4.27	4.34	4.93	2.60	2.34	1.95	-999
SI_EF_MIN_TILTED_SURFACE_0	4.37	5.40	6.20	6.50	6.12	5.63	5.66	5.36	4.70	5.08	4.91	4.57	5.38
SI_EF_MIN_TILTED_SURFACE_10	5.14	6.06	6.52	6.39	6.03	5.67	5.60	5.17	4.76	5.52	5.77	5.56	5.69
SI_EF_MIN_TILTED_SURFACE_33	4.53	5.54	6.29	6.52	6.14	5.67	5.69	5.35	4.73	5.18	5.08	4.76	5.46
SI_EF_MIN_TILTED_SURFACE_90	4.01	3.90	3.85	1.90	1.97	2.36	2.20	1.60	2.07	3.17	4.31	4.68	2.94
SI_EF_MIN_OPTIMAL	5.53	6.25	6.52	6.52	6.14	5.70	5.71	5.36	4.78	5.58	6.16	6.17	5.87
SI_EF_MIN_OPTIMAL_ANG	42.00	33.00	20.00	5.00	-6.00	-11.00	-9.00	0.00	12.00	27.00	40.00	46.00	16.00
SI_EF_MIN_TILTED_ANG_ORI	S	S	S	S	N	N	N	S	S	S	S	S	S

Para la conexión de los paneles solares, se realiza de acuerdo con la configuración de conexión en serie o en paralelo, dependerá del tipo de motor o carga que va alimentar el sistema fotovoltaico, en la Figura 8 se muestra la configuración de las conexiones en paralelo; se muestran paneles solares estándar, controlador de carga de batería, baterías y accesorios para realizar las conexiones.

Figura 9

Conexión típica de paneles solares, controlador de carga y baterías



Fuente: Suhas y Milind (2020).

Sistema de transmisión eléctrica y mecánica.

En la parte del sistema de transmisión eléctrico se utilizará un controlador de potencia eléctrica que se conectará a un motor eléctrico de cd sin escobillas, el cual estará acoplado con el diferencial; lo anterior es factible debido a que los motores eléctricos, a diferencia de los convencionales de combustible fósil, desarrollan un alto en el arranque y ofrecen, en general, un amplio rango de velocidad. Por el tipo de alimentación y de motor no se requiere utilizar embrague, caja de velocidades y árbol de transmisión, porque el motor irá acoplado directamente en el diferencial; se utilizará un solo motor (Carreño et al., 2012). En la Figura 10 se muestran los elementos que se utilizarán para el minitractor fotovoltaico.

Figura 10

Partes del sistema de alimentación, eléctrico y mecánico propuesto



La potencia de consumo se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$P=Tt*W_r$$

Donde:

Tt = par de tracción.

Wr = velocidad angular de la rueda.

A partir de estos cálculos se establecerá la potencia necesaria del motor y, según la autonomía deseada, se identificará la capacidad necesaria de almacenamiento en las baterías. Para empezar, se trabajará con 5 paneles de 50 Watts a 12 V conectados en serie, de lo cual se obtendrá 60 V, que producirá 250 W-h. Al tomar 6 h de radiación solar se obtiene una producción diaria de 1,500 w-h/día para hacer funcionar al motor y al controlador eléctrico del motor. El controlador de carga (ver Figura 11) se eligió para soportar la configuración fotovoltaica de 60 V de entrada, ya que deberá controlar la carga y descarga de un banco de 5 baterías de 12 V a 120 A conectadas en serie, con esto se logrará una capacidad de almacenamiento de 1,440 W.

Figura 11

Controlador de carga solar de 60 V a 10 A



Fuente: ZHCSolar, 2022.

El controlador utilizará un algoritmo activo de software avanzado para rastrear de forma rápida y precisa el punto de potencia máximo del voltaje del módulo de paneles fotovoltaicos, también un seguimiento activo en el punto de máxima potencia del módulo de células solares permitirá obtener más energía solar y mejorar la corriente de carga y la generación de energía.

Características del controlador de carga solar:

- Modos de funcionamiento: MPPT y DC-DC seleccionable, MPPT para la aplicación de paneles fotovoltaicos y DC-DC para alimentación de potencia.
- Selección de carga: Aplicable a la batería de iones de litio y la célula acumuladora.
- La energía de salida es 600 W, conveniente para el panel solar 100 W-600 W.
- Entre mayor es la carga el efecto MPPT es más obvio.
- Protección reversa de la carga: Evita que la célula del acumulador proporcione carga reversa la batería solar.
- Protección de conexión inversa: Circuito de protección inversa MOS en el extremo de entrada y salida para proteger eficazmente el controlador y la batería.
- Protección de sobrecarga: El controlador cortará automáticamente el circuito si hay sobrecarga.

El motor eléctrico, el diferencial, el controlador, el acelerador y el reversero que se muestran en la Figura 12 presentan las siguientes características:

1. Diferencial con motor integrado
 - Medida: entre ruedas 80 cm
 - Medida: largo total 100 cm
 - Peso: 35 kilos
 - Paso: 9.3 a 145 km/h soporta 900 k
 - Paso: 12.5 a 135 km/h soporta 1100 k
 - Freno: Tambor
 - Motor: Directo al diferencial
2. Motor Brushless
 - Voltaje: 48/60 V
 - Potencia: 800 W / 1000 W / 1200 W
 - RPM: 3200 / 3500
 - Reversa: Si
 - Carbones: Sin carbones
3. Controlador
 - Voltaje: 48/60 V.
 - Potencia: 800 W/1000 W/1200 W
 - Corriente max: 45 A.
 - Controlador: Para motor sin carbones

Figura 12

Diferencial con motor, controlador eléctrico y accesorios



Pruebas de funcionamiento del controlador de carga solar

Como primera etapa, se realizaron pruebas de funcionamiento del controlador de carga solar, donde se logró tener el ajuste de voltaje proveniente de los paneles solares; además, se ajustó el voltaje de carga y sobrecarga del banco de baterías, la corriente de carga para las baterías; igualmente, se muestra la energía almacenada en las baterías, el amperaje almacenado y el tiempo de operación de carga o funcionamiento. Con este controlador se programan y ajustan las características de carga para obtener un mejor rendimiento de la producción de la energía fotovoltaica. En la Figura 13 se muestra el controlador en funcionamiento con una fuente de alimentación de cd y una batería de ciclo profundo, estas pruebas se han realizado en el laboratorio de Ingeniería Electrónica.

Figura 13

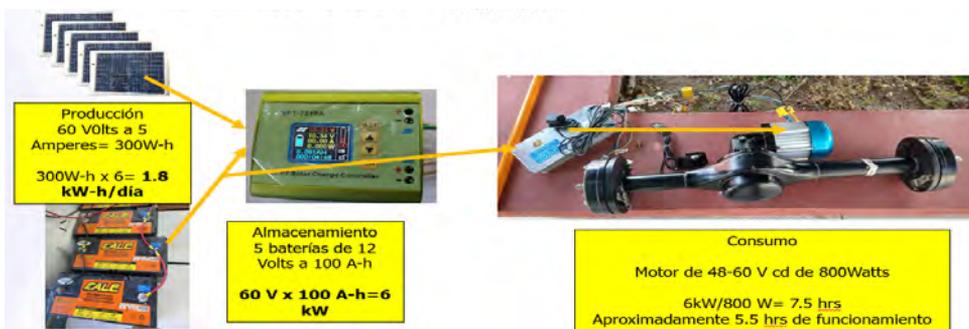
Pruebas de funcionamiento del controlador de carga solar



Como segunda etapa, se realiza la conexión del sistema fotovoltaico con el controlador eléctrico del motor que está acoplado con el diferencial para evaluar su funcionamiento. Cabe mencionar que, el estudio se encuentra en el proceso del diseño del chasis para el minitractor, en el cual se realizará el montaje del sistema fotovoltaico, controladores, baterías, motor con diferencial y accesorios (ver Figura 14).

Figura 14

Propuesta de conexión del sistema fotovoltaico, eléctrico y mecánico



Conclusiones

El sistema electrónico propuesto es viable para el funcionamiento del minitractor fotovoltaico, debido a que los elementos principales como el motor con diferencial y su controlador tendrán la energía suficiente para su funcionamiento. El controlador de carga es programable para realizar los ajustes necesarios de la energía entregada por los paneles solares y la que entrega en la salida para carga de las baterías, el controlador de carga tiene una pantalla digital en la que se muestra y monitorea el estado de carga de la batería y permite realizar los ajustes necesarios.

El aprovechamiento de la energía solar es viable porque en esta región se presentan días soleados la mayor parte del año; solo en temporada de calor la temperatura es algo elevada, esto teóricamente afecta en el rendimiento de los paneles solares; sin embargo, se obtiene una producción muy buena en la mayor parte del año y esto sustituye al combustible fósil, cuyo consumo es costoso.

Referencias

- Abouel-Seoud, S., El-Adros, A., Metwalley, S., & Watany, M. (2020). Simulation and Performance Indices Analysis of Solar Assist Plug-in Electric Tractor. *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 9(10), 62-78.
- Carreño, E., Vacca, E. y Lugo, I. (2012). Diseño y fabricación de un vehículo autónomo impulsado por energía solar. *Tecnura*, 16(32), 91-106. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2012.2.a08>
- Chadalavada, H., Bharath, N., Shaila, P., Lakshmi, O., & Naveen, C. (2021). Solar powered semi-automated mutlipurpose agriculture machine. *Materialstoday: Proceedings*, 46(9), 3469-3473. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.864>
- Gorjian, S., Ebadi, H., Trommsdorff, M., Sharon, H., Demant, M., & Schindele, S. (2021). The advent of modern solar-powered electric agricultural machinery: A solution for sustainable farm operations. *Journal of Cleaner Production*, 292. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126030>
- Lombardi, G., & Berni, R. (2021). Renewable energy in agriculture: Farmers willingness-to-pay for a photovoltaic electric farm tractor. *Journal of Cleaner Production*, 313(1). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127520>
- Marcos, B. (2014). Crean en Puebla un vehículo impulsado por energía solar. *Motorpasion México*. <https://www.motorpasion.com.mx/autos-mexicanos/crean-en-puebla-un-vehiculo-impulsado-por-energia-solar>
- Michail, K. (2015). *Solar Charged Electric Farming Tractors* [Tesis de maestría, University of Strathclyde Engineering]. Archivo digital. http://www.esru.strath.ac.uk/Documents/MSc_2015/Akritidis.pdf
- Mousazadeh, H., Keyhani, A., Javadi, A., Mobli, H., Abrinia, K., & Sharifi, A. (2010). Evaluation of alternative battery technologies for a solar assist plug-in hybrid electric tractor. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 15(8), 507-512. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2010.05.002>

- Raya, A. (2020, 2 de febrero). El tractor autónomo con paneles solares que puede acabar con el trabajo en el campo. *El Español*. https://www.elespanol.com/omicrono/tecnologia/20200202/tractor-autonomo-paneles-solares-puede-acabar-trabajo/463704147_0.html
- Sadiku, M., Ashaolu, T., & Musa, S. (2020). Emerging Technologies in Agriculture. *International Journal of Scientific Advances*, 1(1), 31-34. <https://doi.org/10.51542/ijscia.v1i1.6>
- Sajjan, S., Nadaf, S., Deshpande, S., Malik, M., & Sushma, N. (2021). Mechanical ox – Replacement of tractors and farm animals for agriculture practices. *Materialstoday: Proceedings*, 47(10), 2529-2536. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.047>
- Shuhas, S., & Milind, B. (2020). Solar Powered Multi-Functioned Electric Tractor for Agriculture Usage. *International Journal of Research in Engineering, Science and Management*, 3(3), 374-376. https://www.ijresm.com/Vol.3_2020/Vol3_Iss3_March20/IJRESM_V3_I3_98.pdf
- Spykman, O., Gabriel, A., Ptacek, M., & Gandorfer, M. (2021). Farmers' perspectives on field crop robots – Evidence from Bavaria, Germany. *Computers and Electronics in Agriculture*, 186, 106176. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106176>
- Vaidya, A. (2018). A Study of Solar Electric Tractor for Small Scale Farming. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 8(3), 1255-1259.
- Vishu, Agrawal, P., Kumar, S., Kaur, K., & Kaur, K. (2015). Sensor Based Radio Controlled Multi-utility Solar Vehicle to Facilitate Plough in Agriculture. En Satapathy, S., Govardhan, A., Raju, K., Mandal, J. (Eds.), *Emerging ICT for Bridging the Future - Proceedings of the 49th Annual Convention of the Computer Society of India CSI* (Vol. 2; pp. 35-42). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-13731-5_5
- Vogtb, H., De Melo, R., Daher, S., Schmuelling, B., Antunes, F., Dos Santos, P., & Albiero, D. (2021). Electric tractor system for family farming: Increased autonomy and economic feasibility for an energy transition. *Journal of Energy Storage*, 40. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102744>
- ZHCSolar. (2022). MPT-7210A MPPT Charge Controller Intro. <https://zhcsolar.com/product/mpt-7210a-mppt-controller-48v-60v-72v-boost/>

Desarrollo de prototipo de máquina automática de pulverizado de miel de caña

Juan Felipe García Zarama¹

Anderson Steven Figueroa Mora²

Richard Geovanni Moran Perafan³

Cítese como: García-Zarama, J. F., Figueroa-Mora, A. S. y Moran-Perafan, R. G. (2023). Desarrollo de prototipo de máquina automática de pulverizado de miel de caña. En R. G. Moran-Perafán, F. C. Gómez-Meneses, T.M. Piamba-Mamian, F. A. Guasmayán-Guasmayán, A. L. Ibarra-Ordoñez y E. M. Moncayo-Torres (comps.), *Tecnología e Innovación: el camino a la transformación productiva* (pp. 61-70). Editorial UNIMAR. <https://doi.org/10.31948/editorialunimar.173.c263>

Resumen

El procesamiento de panela es una actividad productiva y económica importante en el departamento de Nariño. Infortunadamente este proceso aún se lleva a cabo con bajo desarrollo tecnológico. En un esfuerzo por mejorar las condiciones del sector panelero del departamento, se propone automatizar el proceso de pulverización de miel de caña a través del desarrollo de un prototipo mecatrónico. Para el desarrollo del hardware mecánico del prototipo, se usó la metodología de diseño de máquinas presentada por Norton y Shigley, la cual se puede resumir como definición del problema, investigación, síntesis y análisis. En las fases de síntesis y análisis se usaron herramientas de diseño e ingeniería asistida por computadora como las tecnologías CAD/CAE. El control electrónico se basa en un microcontrolador inteligente, el cual está programado para que el usuario pueda operar la máquina de forma automática y manual. Una vez completada la fase de diseño, el prototipo se construyó usando procesos de mecanizado comunes tales como corte, soldadura y maquinado. El prototipo tiene la capacidad de procesar 5 kg de miel de panela y tarda un tiempo aproximado de 20 minutos en completar esta tarea. Evaluaciones preliminares sugieren que el prototipo se desempeña de acuerdo con las especificaciones de diseño, sin embargo, una evaluación a largo plazo es necesaria para determinar la durabilidad y confiabilidad del equipo.

Palabras clave: panela pulverizada, prototipo, diseño mecánico, control electrónico, microcontrolador.

Introducción

La panela es un producto agroindustrial consumido en el mundo, pero principalmente en Colombia y la India (García et al., 2011). Colombia ocupa el primer lugar en consumo de panela, el cual se estima en 34,2 kg de panela por habitante al año, seguido de la India con un consumo de 7,9 kg por habitante al año (Finkeros, 2015). El departamento de Nariño es uno de los mayores productores de panela en Colombia, una actividad que se realiza en 41 de los 64 municipios de la región (Rodríguez, 1997).

¹Correo electrónico: juangarcia@umariana.edu.co

²Correo electrónico: andersonfigueroa64@gmail.com

³Correo electrónico: r Moran@umariana.edu.co

La producción y consumo de panela en Colombia se destina casi en su totalidad al mercado nacional, y solo cerca del 0,3 % se exporta. Por lo cual, este sector tiene el potencial de desarrollarse y proyectarse a mercados extranjeros. No obstante, a pesar del potencial de este producto, su producción en el departamento de Nariño presenta varias dificultades. Primero, la transformación de miel de caña a panela en bloque se realiza en pequeñas explotaciones campesinas o plantas agroindustriales, mediante procesos artesanales en los que prevalece una alta intensidad de trabajo y una muy baja introducción de tecnología (Gómez, 2007). Como resultado de ello, este proceso es ineficiente, genera problemas de calidad en el producto, altos costos y tiempos de producción, grandes cantidades de desperdicios y problemas ambientales. Otra dificultad es la oferta de panela falsa a menor costo, la cual se obtiene por la fundición de los excedentes de azúcar, que ingresa al país en cantidades excesivas y que saturan el mercado nacional. Además, es evidente que el 90 % de la población mundial prefiere otros derivados de la caña como el azúcar, ya que esta se encuentra en una presentación pulverizada y es más práctico su consumo (Castellanos, 2019).

Todas estas dificultades provocan una crisis en el sector panelero, debido a que el precio de venta del producto está por debajo del costo de producción, lo que quiere decir que los productores están trabajando a pérdida, siendo los departamentos más afectados Huila y Nariño. Por lo tanto, se necesitan mejorar los procesos para producir panela o sus derivados, así diversificar los productos y generar mejores rendimientos económicos (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2002).

Recientemente, la panela pulverizada ha mostrado un alto potencial de comercialización. La pulverización de panela es un proceso en la cual la miel de caña se extrae a 140 °C y con 90° brix, punto en el cual es agitada vigorosamente por un tiempo de aproximadamente 30 minutos hasta que la panela se enfría y se quiebra y se forma panela pulverizada. En muchos trapiches se realiza este proceso de forma manual, sin un control preciso de la velocidad de agitación, tiempo y temperatura, por lo cual, en algunos casos, se presenten inconvenientes como la generación de grumos en el pulverizado, en cuyo caso, el producto se vuelve a fundir, representado una pérdida de tiempo y trabajo.

En este documento se presenta el desarrollo de un prototipo de pulverizado de panela con el que se pretende aumentar la eficiencia de este proceso, mejorar la calidad y disminuir el impacto ambiental. Por otro lado, este proyecto permite aportar al desarrollo de la Ingeniería Mecatrónica en la Universidad Mariana, ubicada en la región del departamento de Nariño, zona caracterizada por su actividad agroindustrial.

Metodología

La metodología utilizada, para este estudio, es adaptada de la presentada detalladamente por Norton (2004), de la cual se adoptaron los 9 primeros pasos, a saber: definición de la necesidad, investigación, planteamiento de objetivos, definición de especificaciones de desempeño, ideación, análisis de alternativas, evaluación y selección, diseño detallado y construcción del prototipo. Teniendo en cuenta que el problema fue presentado previamente, así como los objetivos del proyecto, la metodología empieza con una breve investigación y llega hasta la construcción del prototipo de acuerdo con el alcance del trabajo.

Tipos de máquinas de pulverizado

En el mercado existen diversos equipos utilizados para el pulverizado, estos equipos utilizan agitadores de diversas formas dispuestos en ejes verticales u horizontales (ver Figura 1). Los ejes de los agitadores son impulsados por motores AC bifásicos y trifásicos con una potencia entre 2 hp y 3 hp. Las máquinas de tamaño medio manejan capacidades entre 70 y 100 kg de producto y pueden tardar entre 15 a 30 minutos en procesarlo. El material en contacto con el producto es acero inoxidable AISI 304 para cumplir con las buenas prácticas de manipulación de alimentos.

Figura 1

Algunos tipos de pulverizadoras de panela disponibles en el mercado



Fuente: García y Figueroa (2021).

Con base en la investigación preliminar, se propuso una serie de especificaciones de desempeño (ver Tabla 1), las cuales se ajustan al alcance de la investigación y presupuesto.

Tabla 1

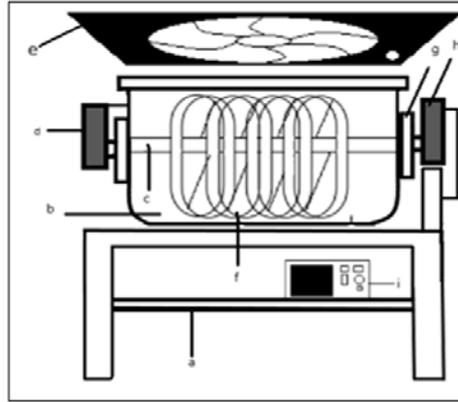
Especificaciones de desempeño del prototipo

Tipo de Material	Material inoxidable para uso en alimentos
Alimentación	Energía eléctrica (AC 220V-330V)
Tiempo de mezclado	10-15 (min)
Costo de la máquina	Precio inferior a (COP \$2.500.000)
Capacidad	5 kg
Dimensiones	Equipo portable
Control inteligente	Sistema inteligente para controlar el tiempo de pulverizado

Teniendo en cuenta los equipos existentes en el mercado y las especificaciones de desempeño definidas, se propuso el boceto del prototipo (ver Figura 2). Este prototipo está compuesto por las siguientes partes: (a) estructura soporte, (b) recipiente de mezclado, (c) eje principal, (d) motor para vaciado, (e) ventiladores de enfriamiento, (f) agitadores, (g) soportes del eje, (h) motor reductor del eje principal y (i) sistema eléctrico de monitoreo y control.

Figura 2

Boceto de prototipo de máquina automática pulverizadora de miel de caña



Diseño

Con base en la capacidad de 5 kg, la cual fue definida en las especificaciones de desempeño, se estimó el volumen del recipiente, considerando la densidad máxima de la miel como 1400 kg/m^3 a 96°C . El volumen mínimo calculado resultó de 3.57 litros, el cual se aproximó a 4 litros para tener un margen de seguridad y evitar el desborde del producto. El diseño seleccionado utiliza un recipiente con una forma compuesta de una caja rectangular y una base semicilíndrica (ver Figura 3) y cuyas dimensiones se resumen en la Tabla 2. El espesor del recipiente de 1.2 mm se obtuvo de varias simulaciones con elementos finitos en el programa SolidWorks, donde se supuso que este está construido con una lámina de acero AISI 304 y se le aplicó una carga vertical de 56 N, distribuida sobre la base del recipiente simulando el peso del material.

Figura 3

Geometría del recipiente

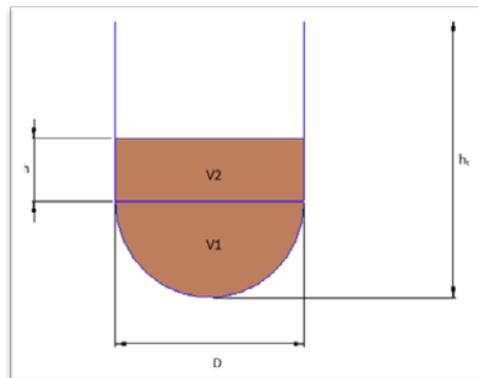
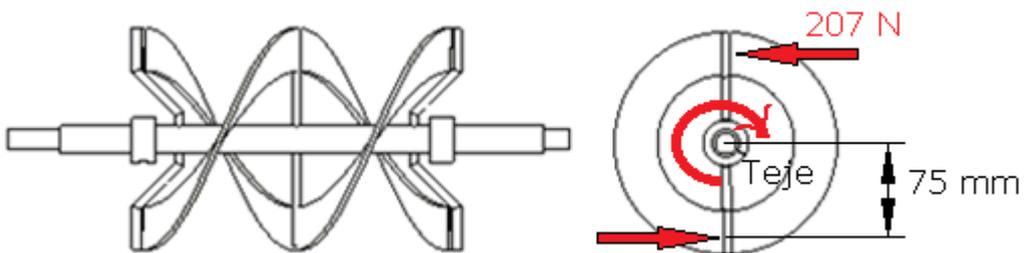


Tabla 2*Resumen de las dimensiones del recipiente*

Descripción	Ecuación	Resultado
Volumen ocupado	$V_o = \frac{m}{p} = \frac{D^2}{4} * L \left(\frac{\pi}{2} + 1 \right)$	0.004m ³
Altura total del recipiente	$h_t = \left((h) + \left(\frac{D}{2} \right) \right) * 2$	0.24m
Diámetro del fondo del repiente	$D = \sqrt{\frac{8 * V_o}{(\pi + 2) * L}}$	0.16m
Longitud del recipiente	Por construcción	0.25m
Espesor de pared	Simulación de cargas de las fuerzas resultantes en SolidWorks	1.2 mm

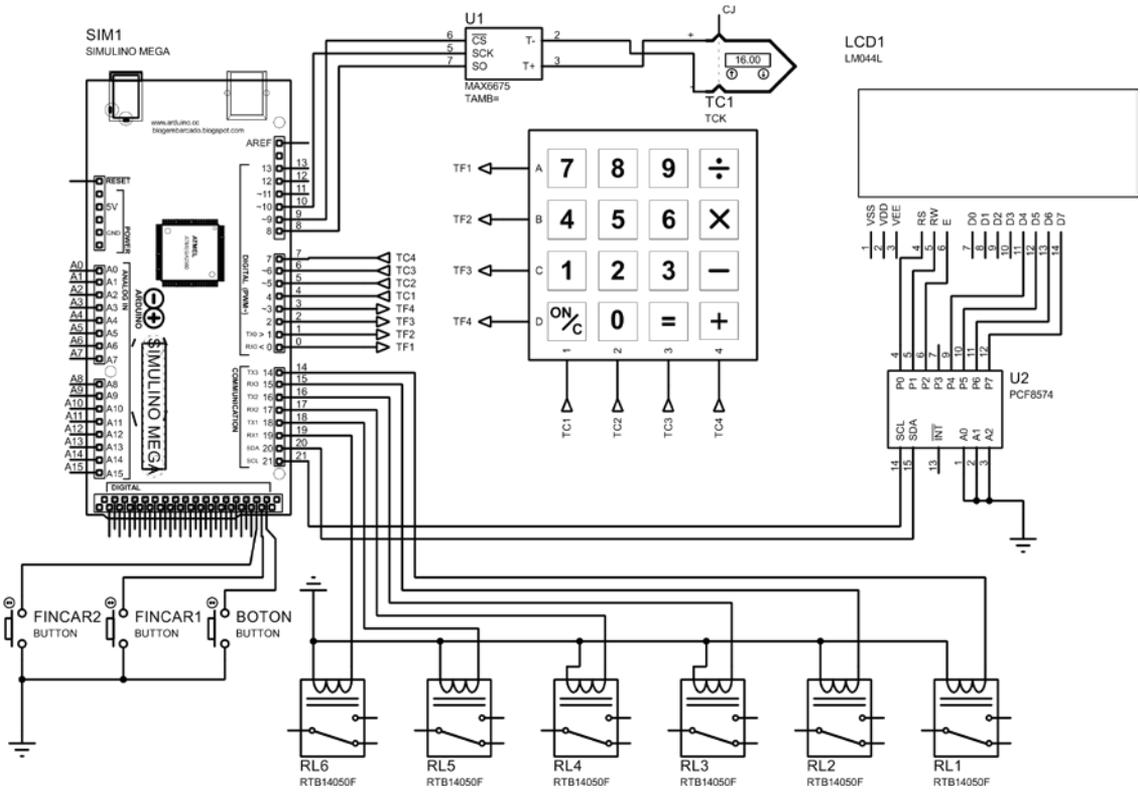
La potencia del motor que mueve las aspas de agitación se estimó considerando la fuerza viscosa y de arrastre con base en la metodología presentada por Crespo y Cruz (2018), con lo cual se obtuvo una fuerza tangencial de 207 N sobre cada una de las dos hélices (Figura 4). Así, el torque requerido en el eje del agitador sería igual al producto de la fuerza tangencial sobre el aspa multiplicado por el radio promedio del aspa (75 mm) y por el número de aspas (2), el cual resultó de 31.4 N.m., considerando una velocidad de 60 rpm, la potencia requerida en el motor resultó de 197 W, para lo cual, se eligió un motorreductor con una potencia nominal de un tercio de caballo girando a 60 rpm.

Figura 4*Fuerzas resultantes en las aspas del agitador y torque requerido en el eje*

Para el diseño eléctrico y electrónico, se consideró circuitos de mando y control del motor de agitación y accesorios adicionales. El control se realizó de manera digital usando una tarjeta Arduino Mega con sus periféricos de entrada y salida como son un teclado y una pantalla LCD (ver Figura 5).

Figura 5

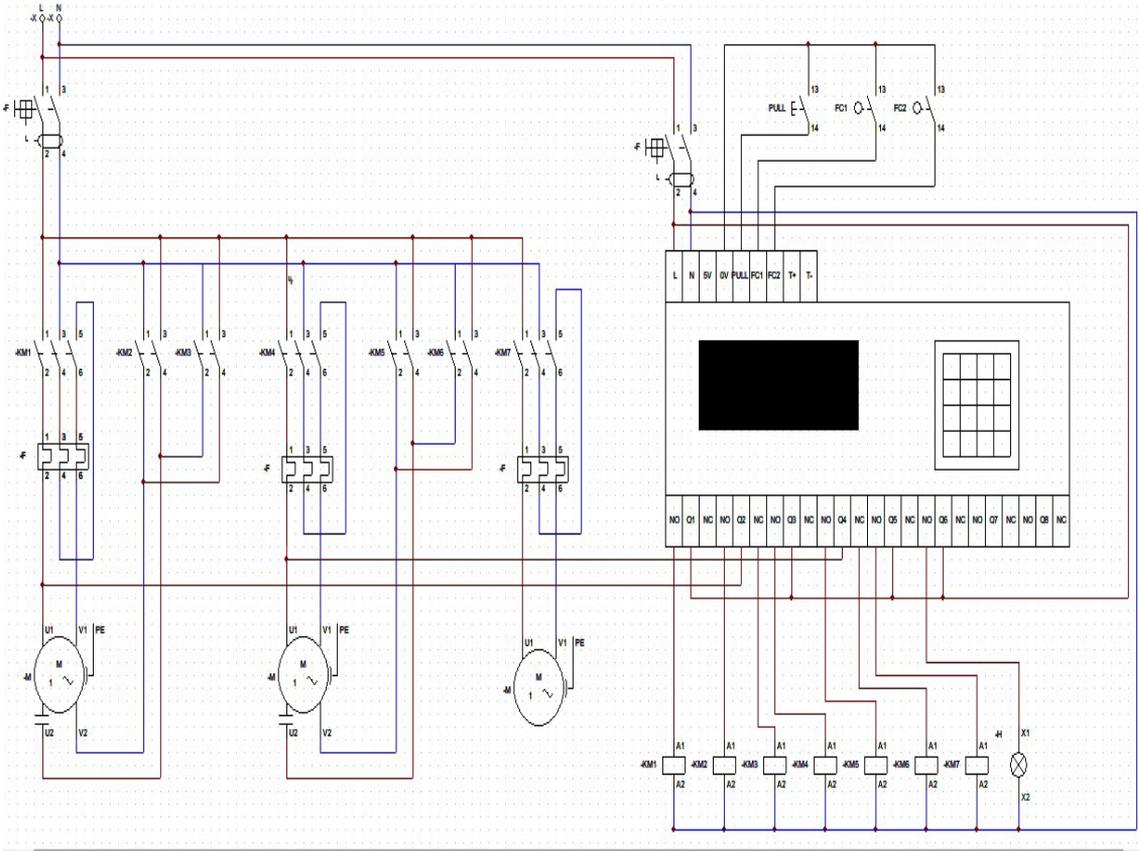
Esquema del circuito de control y periféricos de entrada y salida



La etapa de potencia incluyó contactores y protecciones para el motor principal y un motor que controla el giro del recipiente en el proceso de descarga. Así mismo, se incluyó un ventilador ubicado en la parte superior del recipiente principal que acelera el enfriamiento de la miel. Con estos componentes es posible controlar la temperatura y el tiempo del proceso (ver Figura 6).

Figura 6

Esquema de los circuitos de potencia

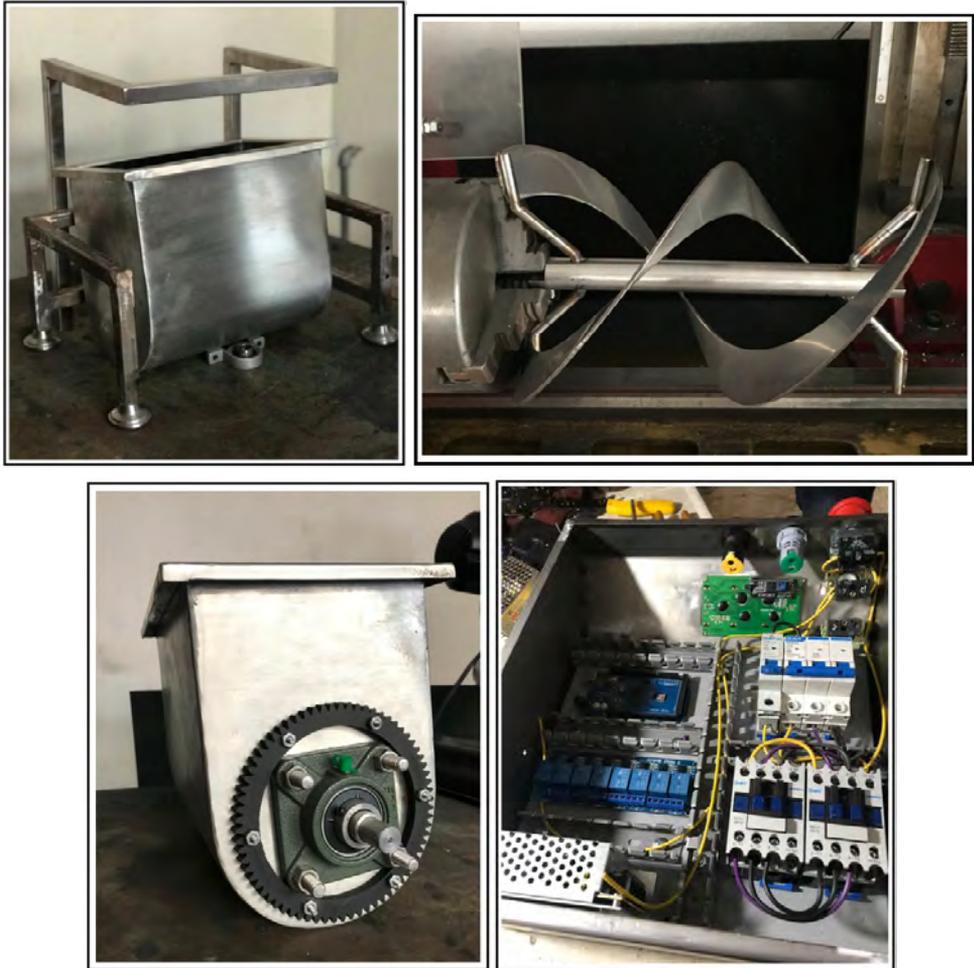


Construcción

En la etapa de construcción se utilizaron procesos comunes de mecanizado como corte con discos abrasivos, soldadura con electrodo revestido, torneado y taladrado. En la Figura 7 se presentan algunos componentes, mientras se completaba su fabricación.

Figura 7

Estructura en proceso de ensamble y adecuación



En la Figura 8 se presenta una fotografía con el estado final del prototipo. Después de completar la construcción y el ensamble, se realizaron pruebas preliminares con miel de caña a 120° y 93° Brix, con una masa de 3 kg (ver Figura 9). Después de 6 minutos se completó la pulverización, en la Figura 10 se presentan los resultados de las pruebas de granulometría con tamices número 4, 16, 30 y 40, en los cuales se obtuvieron los correspondientes porcentajes en masa de 31 %, 44 %, 24 % y 1 %.

Figura 8

Prototipo final



Figura 9

Proceso de agregación de miel de caña en la tolva



Figura 10

Prueba de granulometría a través del tamiz



Conclusiones

La metodología de diseño mecánico abordada permitió exitosamente desarrollar el prototipo. Asimismo, en el ensayo preliminar del prototipo en donde se procesaron 3 kilos de panela se obtuvo un pulverizado completo con 6 minutos de duración, en el cual, el 68 % del producto procesado atravesó los tamices 16 y 30, lo que sugiere un alto porcentaje de pulverizado fino, estos resultados deben confirmarse con pruebas posteriores.

El desarrollo del prototipo es un aporte al desarrollo de la industria panelera en el departamento de Nariño.

Referencias

- Castellanos, J. (2019). *Diseño y construcción de máquina para la producción de panela pulverizada* [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma de Bucaramanga]. Repositorio UNAB. <http://hdl.handle.net/20.500.12749/7025>
- Crespo, M. y Cruz, E. (2018). *Diseño y construcción de una pulverizadora de miel de caña a panela en polvo para la asociación de pequeños productores maquita* [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio digital EPN. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19896>
- Finkeros. (2015, 27 de mayo). La panela en el mundo. *Abc del finkero*. <https://abc.finkeros.com/la-panela-en-el-mundo/>
- García, F. y Figueroa, A. (2021). *Desarrollo de prototipo de máquina automática de pulverizado de miel de caña* [Tesis de pregrado, Universidad Mariana].
- García, H., Peña, A., López, R., Duran, E. y Olvera, G. (2011). Desarrollo de un sistema de evaporación y concentración de jugos de múltiple efecto para mejorar la eficiencia térmica y productividad y disminuir el impacto ambiental en la producción de panela. *Boletín Técnico*, (335). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/1258>
- Gómez, F. (2007). *Estudio de factibilidad para la elaboración de panela pulverizada saborizada con limón y canela en la empresa Delizia de la ciudad de Pasto* [Tesis de pregrado, Universidad de Nariño]. Sired. <https://sired.udenar.edu.co/5688/>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2002). *Capacitación en la obtención de nuevos productos derivados de la caña y el manejo adecuado de la agroindustria panelera municipio de Mocoa. Diversificación de productos derivados de la caña panelera*. <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/handle/11348/4773?mode=full>
- Norton, R. (2004). *Diseño de máquinas. Un enfoque integrado* (4.ª ed.). Pearson.
- Rodríguez, G. (1997). La panela en Colombia frente al nuevo milenio: Un análisis de la cadena agroindustrial. En *Manual de caña de azúcar para la producción de panela* (pp. 25-39). Corpoica - Fedepanela - Fondo Nacional de Panela.

Desarrollo de un sistema de monitoreo cardiaco para móviles android

Rebeca Rosa Viloria Amaya¹

Alejandro Utria García²

Giovanni Alberto Bracho Tovar³

Liliana Patricia Torres Obregón⁴

Cítese como: Viloria-Amaya, R. R., Utria-García, A., Bracho-Tovar, G. A. y Torres-Obregón, L. P. (2023). Desarrollo de un sistema de monitoreo cardiaco para móviles android. En R. G. Moran-Perafán, F. C. Gómez-Meneses, T.M. Piamba-Mamian, F. A. Guasmayán-Guasmayán, A. L. Ibarra-Ordoñez y E. M. Moncayo-Torres (comps.), *Tecnología e Innovación: el camino a la transformación productiva* (pp. 71-81). Editorial UNIMAR. <https://doi.org/10.31948/editorialunimar.173.c264>

Resumen

Con el paso del tiempo, el monitoreo cardíaco ambulatorio ha tomado gran relevancia, siendo un producto de gran ayuda para el diagnóstico de las arritmias cardíacas. En este trabajo se presenta el desarrollo de un prototipo biomédico de monitoreo cardiaco ambulatorio, implementando tecnología Bluetooth y aplicaciones móviles Android. El prototipo consta de un sensor con tres electrodos para la captura de la señal cardiaca, un módulo de instrumentación electrónica central que se encarga de amplificar, filtrar y acondicionar la señal cardiaca, la cual es transmitida vía Bluetooth a un dispositivo móvil con Android, en donde se realiza el envío de la señal capturada hacia internet, los datos son alojados en un servidor web en la nube. El último componente del sistema desarrollado es un software de interfaz que permite, al personal médico, visualizar y monitorear los datos del paciente. Se construyó un sistema de monitoreo cardiaco capaz de capturar las señales cardiacas por un periodo mayor a 24 horas.

Palabras clave: android, bluetooth, biomédico, señal cardiaca, servidor web.

Introducción

La electrocardiografía es el registro de la actividad eléctrica que se genera en el corazón. Su análisis detallado suministra información que se registra en la historia clínica de un paciente como apoyo diagnóstico a un examen físico (Portillo, 2008). Es un procedimiento simple, de bajo costo, que se ha convertido en una de las herramientas primordiales en el diagnóstico de trastornos y enfermedades del corazón (Carrión et al., 2009). Entre las técnicas empleadas para el diagnóstico de los trastornos del ritmo cardíaco que se acompañan de síntomas se encuentra la monitorización ambulatoria del ritmo cardiaco, donde se detectan arritmias en pacientes que presentan síntomas como palpitaciones y/o desmayos. Esta técnica también es empelada en la valoración de la eficacia y seguridad del tratamiento farmacológico y no farmacológico de las arritmias, especialmente la fibrilación auricular, entre otros (Arce-León et al., 2015).

¹Universidad Popular del Cesar, Colombia. Correo electrónico: rviloria@unicesar.edu.co

²Universidad Popular del Cesar, Colombia. Correo electrónico: autria@unicesar.edu.co

³Universidad Popular del Cesar, Colombia. Correo electrónico: giovannibracho@unicesar.edu.co

⁴Universidad Popular del Cesar, Colombia. Correo electrónico: lpatriciatorres@unicesar.edu.co

En Colombia, según un estudio publicado en la revista científica estadounidense Plos One en diciembre de 2018, desarrollado en conjunto por la Fundación Salutia y la Asociación Colombiana de Empresas de Medicina Integral (Acemi), el número de personas diagnosticadas con enfermedades cerebrovasculares (ECV) ha aumentado hasta representar el 28,7 % del índice de mortalidad en el país (Camacho et al., 2018).

Los equipos de monitoreo cardiaco más utilizados requieren de la intervención del paciente para el almacenamiento de los datos, convirtiéndolos en procedimientos con características limitadas y susceptible a errores, una vez finaliza el periodo de monitoreo, el médico cardiólogo se encarga de analizar los datos. Como es el caso del monitoreo cardiaco con Holter, en donde el análisis automático sobrestima ciertos eventos por detección de anomalías, informando más arritmias de las que el paciente realmente tiene; por otro lado, la duración del registro es limitada a 24 horas, por lo cual existe una probabilidad alta de que el paciente no presente síntomas cuando se le practica el examen (Pava, 2006).

A lo largo del tiempo, se han realizado diversos estudios relacionados con el monitoreo cardiaco, como es el caso de Mendoza et al. (2012), quienes diseñaron un sistema portátil de adquisición de datos de señales cardiacas por eventos que transmitía los datos mediante la tecnología inalámbrica Zigbee hasta el dispositivo receptor conectado a un computador ubicado en el hogar del paciente. Estos datos son capturados, almacenados y procesados mediante un software y luego son transmitidos a través de internet a un centro especializado (Mendoza et al., 2012).

En Bogotá, Gualteros (2016) desarrolló un prototipo ECG portátil de tres derivaciones que transmite la información a dispositivos Android para su visualización.

Trabajos similares fueron realizados en Ecuador por Calle y Señalín (2015), quienes diseñaron un electrocardiógrafo, en el cual la señal obtenida se digitaliza y se transmite vía Bluetooth hacia una *Tablet*. La señal adquirida se muestra en una aplicación Android y es compartida vía internet hacia instituciones especializadas o hacia cualquier destino del mundo.

En México, los autores Cifuentes (2016) diseñaron un electrocardiógrafo portátil, el cual adquiere, procesa, digitaliza y envía la señal cardiaca vía Bluetooth a un dispositivo móvil. El dispositivo grafica la señal en tiempo real mientras se realiza la prueba y la envía a un especialista a través de una aplicación web para que valore al paciente en función de la señal obtenida de forma remota.

Métodos

En este trabajo se implementó una metodología de forma ordenada y secuencial plasmada de la siguiente manera:

Fase de investigación y documentación

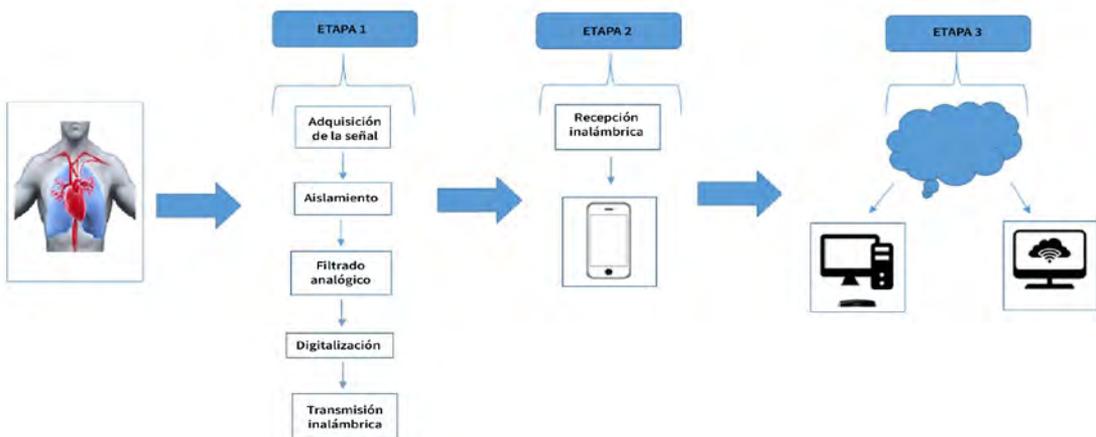
Se adquirió la fundamentación teórica necesaria para el desarrollo del proyecto, con la ayuda de libros, revistas, fotografías, tablas y documentos.

Fase de diseño

Para esta fase se elaboró un diagrama de bloques (ver Figura 1), en el cual se describe las etapas que conforman el prototipo, desde la adquisición de la señal cardiaca hasta la visualización y procesamiento de dicha señal. Se desarrolló un prototipo por medio de componentes de bajo consumo de potencia; el cual captura las señales eléctricas del corazón y las envía a un servidor remoto, la información capturada es enviada de forma continua o en periodos de tiempos configurables, definidos según criterio del médico especialista.

Figura 1

Diagrama de bloques de funcionamiento del prototipo

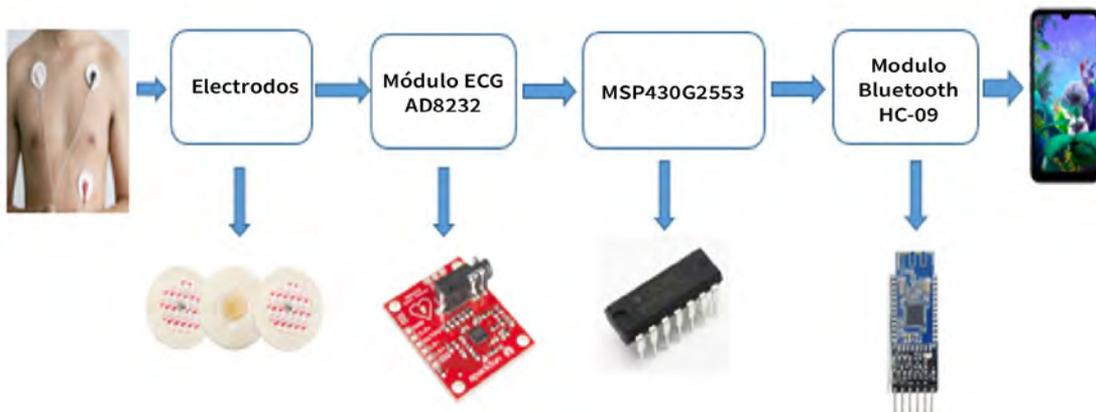


Fase de implementación

Para la adquisición y visualización de la señal ECG, se desarrolló un aplicativo en Java con interfaz de usuario, el cual recolecta los datos almacenados en la base de datos e ilustra la señal cardiaca, permitiendo la visualización al médico especialista. En la Figura 2 se puede apreciar el diagrama de bloques de los componentes del prototipo.

Figura 2

Diagrama de bloques del monitor cardíaco



Evaluación de resultados

Para finalizar con la fase de desarrollo del prototipo, se creó el manual de usuario para el correcto manejo del sistema y se realizaron las pruebas necesarias para determinar la confiabilidad del sistema con el médico cardiólogo.

Resultados

Para el desarrollo del prototipo se llevó a cabo las siguientes etapas:

Etapas de desarrollo de hardware

Se desarrolló el hardware del prototipo que permite obtener la señal cardíaca y transmitir los datos recolectados hacia el dispositivo móvil por medio de comunicación Bluetooth.

Electrodos

Un electrodo es un dispositivo sensor fijado a la piel que detecta actividad eléctrica positiva o negativa en el corazón (Wesley, 2017), cumpliendo la función de actuar como transductor del circuito de adquisición de la señal. Para el desarrollo de prototipo, se eligieron electrodos universales de ECG con 50 piezas, los cuales son electrodos de bajo costo, de acceso fácil y cuentan con hidrogel que mejora la conducción.

Para la obtención de la señal, se utilizaron 3 electrodos. Los conectores de los electrodos vienen con colores diferentes para diferenciarlos:

R: Parte superior derecha del pecho (Right), evitando prominencias óseas (rojo).

L: Parte superior izquierda del pecho (Left), evitando prominencias óseas (amarillo).

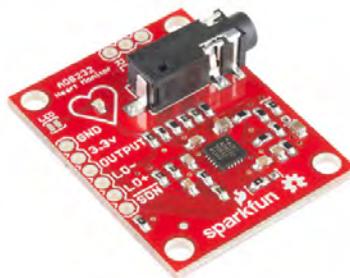
F: Parte inferior izquierda del abdomen (Foot), evitando prominencias óseas (verde).

Módulo ECG AD8232

“El AD8232 es un módulo de acondicionamiento de señales integrado para ECG, diseñado para extraer, amplificar y filtrar pequeñas señales biopotenciales en presencia de condiciones ruidosas, como las creadas por el movimiento o la colocación remota de electrodos” (Analog Devices, 2020, párr. 1). En la Figura 3 se puede observar el módulo AD8232.

Figura 3

Módulo AD8232



Fuente: Sparkfun Electronics (s.f.).

Microcontrolador MSP430G2553

Una de las principales razones de elegir este microcontrolador es que dispone de programador y emulador, lo que facilita las tareas de desarrollo. Además, emplea un compilador C específico con generación de código optimizada y posibilidad de control directo de las interrupciones y periféricos (Texas Instruments, 2020).

Adquisición de la señal ECG

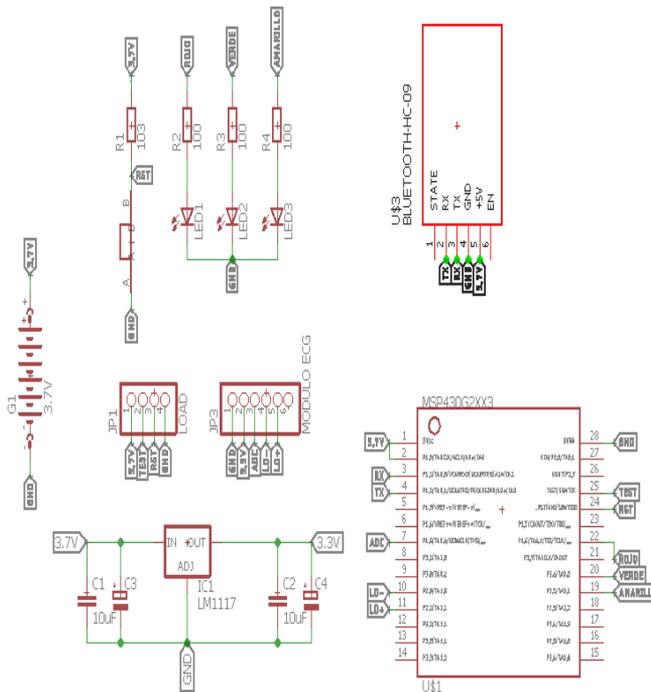
La etapa de adquisición de datos está conformada por tres electrodos pegados a la piel que detectan la actividad eléctrica positiva o negativa en el corazón y un componente de hardware compuesto por el módulo AD8232, el cual recibe los datos proporcionados por los tres electrodos, estos datos son tomados por el microcontrolador MSP430G2553 para procesarlos y convertirlos en pulsos cardiacos.

Módulo de instrumentación y control

El módulo de instrumentación y control se encarga de centralizar los procesos y la toma de decisiones en el prototipo. Está compuesto por un microcontrolador, un módulo Bluetooth HC-09 y un regulador LM1117, como se puede observar en la Figura 4. El microcontrolador MSP430G2553 recibe la señal de entrada proveniente del módulo de adquisición, las procesa y toma las decisiones preconicionadas en el código de programación (firmware). El modulo Bluetooth HC-09 es el encargado de comunicar la interfaz de usuario desarrollada en el sistema operativo Android con el módulo de control e instrumentación.

Figura 4

Esquema del módulo de instrumentación y control



Etapa de desarrollo del firmware

El firmware que se desarrolló tiene el control directo del hardware, lo que permite la interacción con el software, de esta manera, se controlan las instrucciones externas como la adquisición de la señal, además de la transmisión de datos hacia el software.

Figura 5

Esquema de etapa de desarrollo del firmware



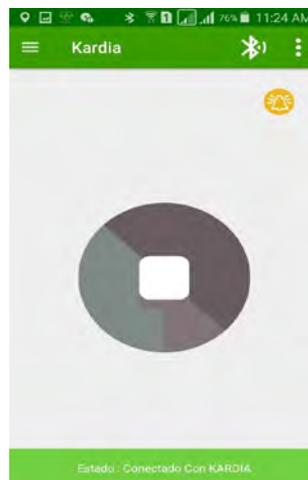
El firmware captura la señal cardiaca proveniente de los electrodos, para luego ser procesada en el conversor ADC, el cual convierte la señal análoga a digital para ser enviada por medio de Bluetooth al móvil Android. El microcontrolador MSP430G2553 permite la recepción y emisión de datos a través del puerto serie del microcontrolador.

Etapa de diseño de aplicativo Android

Se desarrolló un aplicativo en la plataforma Android, el cual recibe los datos provenientes del hardware y los transmite hacia internet, esta información es alojada en una base datos. En la Figura 6 se puede observar la pantalla principal de la App Kardia. La App registra los datos del usuario asociados a una cuenta de Google, además, cuenta con un botón de pánico que envía un mensaje de texto al número de emergencia ingresado por el usuario con la ubicación del paciente. El paciente debe contar con saldo para poder enviar el mensaje de texto y el botón de pánico no requiere que el dispositivo tenga acceso a internet para poder operar. La aplicación móvil funciona para versiones Android 5.0 y versiones posteriores.

Figura 6

Pantalla principal App Kardia



La App Kardia captura y almacena los datos provenientes del prototipo para luego ser enviados a un servidor web, cumpliendo la función de puente, que enlaza el prototipo con el móvil Android, permitiendo la captura, almacenamiento y envío de los datos a internet. El programa de desarrollo de la App permite acceder a funciones del móvil, para esto solicita permisos para uso de GPS, Bluetooth, envío de mensajes de textos, etc., además, está conformado por múltiples actividades para acceder a funciones de la App como login, modificación de perfil, etc.

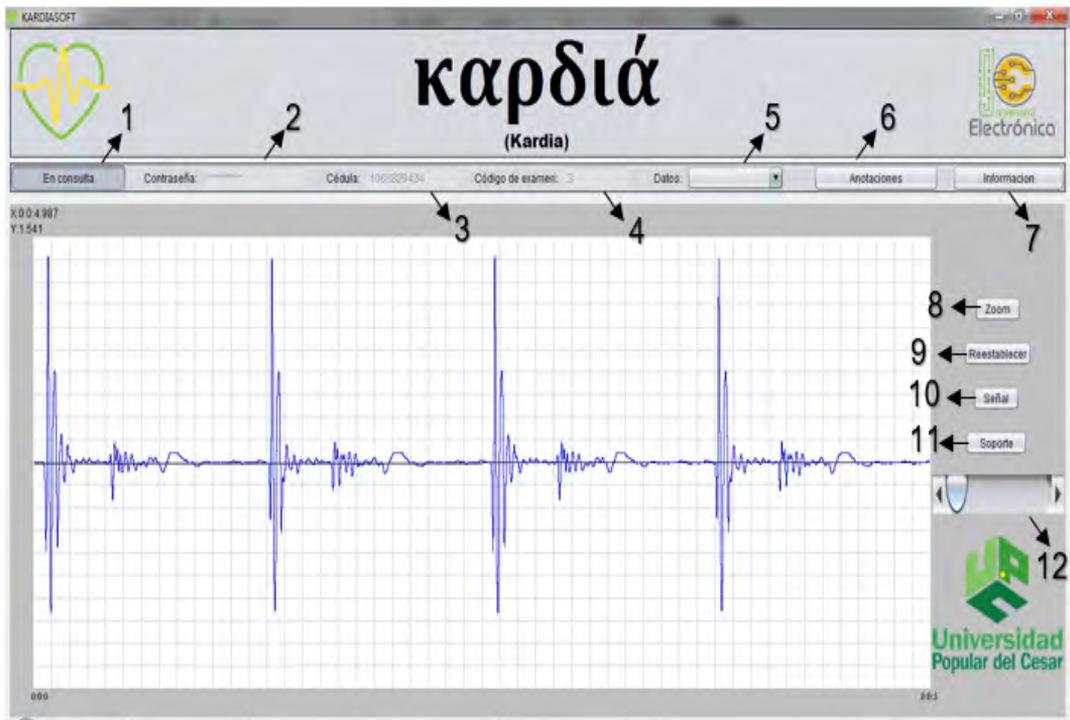
Etapa de diseño de aplicativo Java

Se desarrolló un aplicativo en Java con interfaz de usuario, que extrae los datos almacenados en el servidor web gratuito MyASP.NET y grafica la señal cardiaca, permitiendo, al médico especialista, visualizar la señal obtenida para su análisis. La interfaz gráfica fue desarrollada en el entorno de desarrollo NetBeans IDE 8.0.2, la interfaz requiere de una conexión a internet para operar y no tiene interacción con la aplicación móvil, es de uso exclusivo para el personal médico capacitado.

La pantalla principal de la interfaz permite interactuar con la señal graficada, permitiendo realizar zoom, modificar los niveles de amplitud, restablecer a la señal original y brindar la información del equipo de trabajo (ver Figura 7).

Figura 7

Pantalla principal Software aplicativo



Botón 1: consultar las pruebas realizadas al paciente.

Botón 2: se ingresa la contraseña del servidor web.

Botón 3: se ingresa el número de cédula del paciente a consultar.

Botón 4: sirve para ingresar el código del examen que se desea visualizar.

Botón 5: permite seleccionar y visualizar las pruebas realizadas.

Botón 6: permite consultar las anotaciones realizadas por el especialista.

Botón 7: consultar la información del paciente.

Botón 8: sirve para ampliar la señal.

Botón 9: sirve para volver a las propiedades iniciales de la señal.

Botón 10: sirve para modificar la amplitud de la señal.

Botón 11: sirve para consultar los datos de los autores.

Botón 12: permite el desplazamiento en la señal.

El programa de desarrollo del software está conformado por librerías y declaración de variables, que permiten extraer los datos alojados en el servidor web para ser graficados y visualizados por el personal médico. Asimismo, cuenta con un panel para graficar la señal cardiaca, así como múltiples botones y una barra deslizadora para interactuar con la señal graficada.

Etapas de ajustes y pruebas

Finalmente, se realizó los ajustes finales al proyecto: pruebas y correcciones pertinentes para su presentación, además, se realizó el manual de usuario del prototipo.

Discusión

Visualización de la señal

La señal es visualizada por medio de una interfaz de usuario llamado Kardia, consiste en un archivo ejecutable que no requiere instalación, se puede observar en la pantalla principal del software Kardia. Los datos provenientes del dispositivo móvil son alojados en un servidor web; para el envío de datos al servidor web, el teléfono móvil debe contar con una conexión a internet. La aplicación móvil, almacena los datos que recibe en la memoria del dispositivo móvil como un archivo txt, estos paquetes son enviados de forma automática cada 10 minutos y tienen un peso de 3.4 MB. Para efectos del proyecto, se utilizó un servidor web gratuito MyASP.NET, el cual tiene una capacidad de 1 GB de almacenamiento, lo que permite realizar un monitoreo continuo de hasta dos días.

Para la descarga de los datos desde el servidor web, se debe contar con una conexión a internet y tener disponible la contraseña para acceder a los datos, esta contraseña es de uso exclusivo del personal médico. Una vez se ingresan los datos del paciente como el número de

cédula, el código del examen, se inicia la descarga de los datos desde el servidor (ver Figura 8), si los datos ingresados no se encuentran registrados en la base de datos o son erróneos, el software muestra una ventana emergente para notificar al personal médico (ver Figura 9).

Figura 8

Descarga de datos desde el servidor

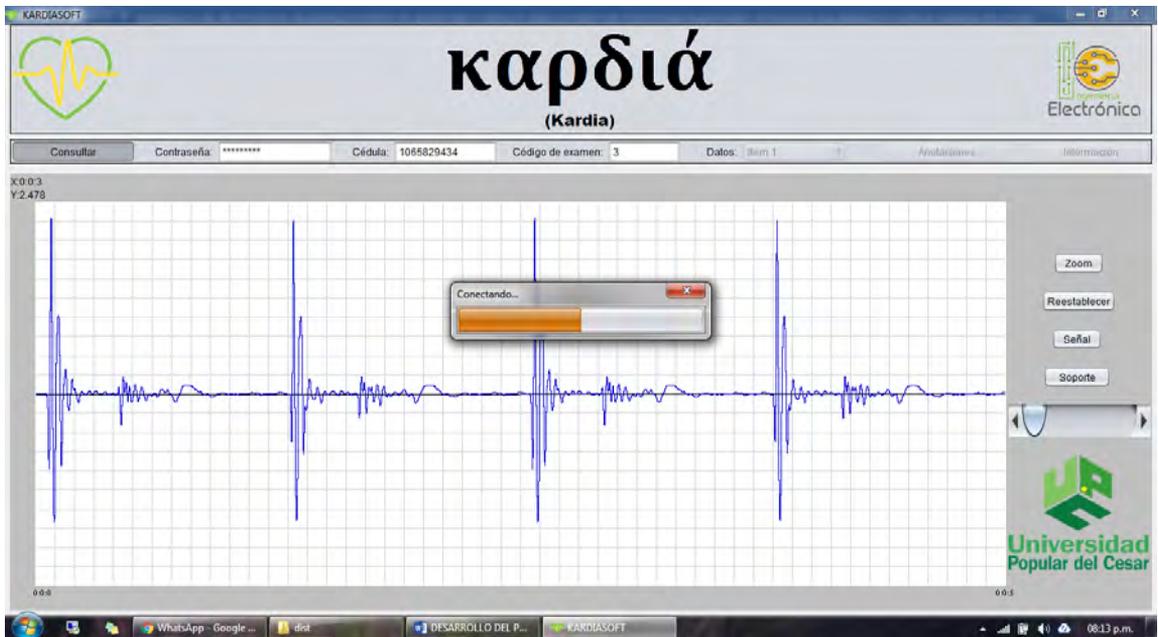
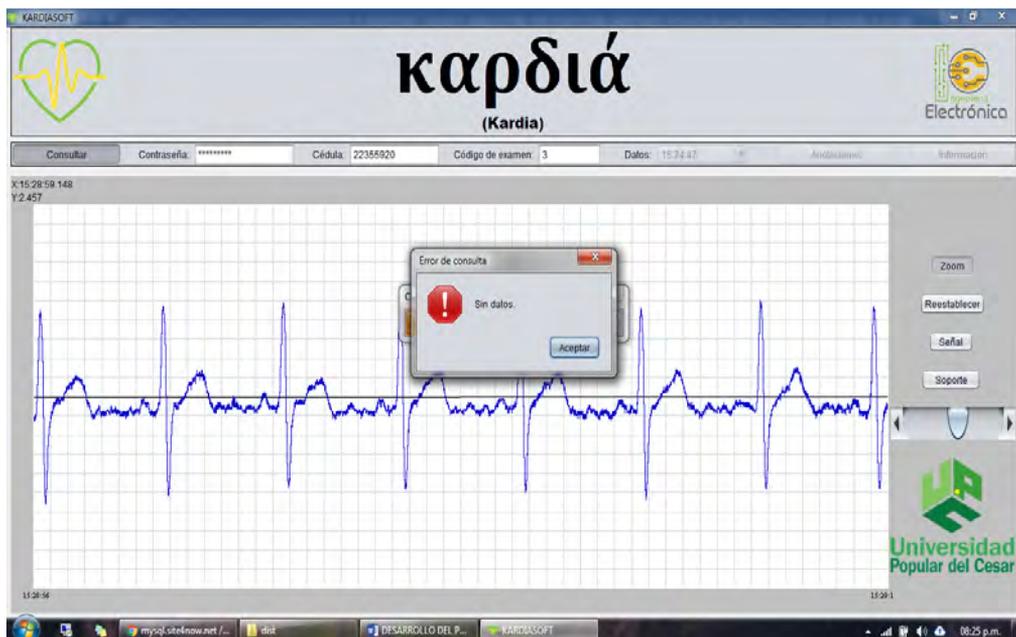


Figura 9

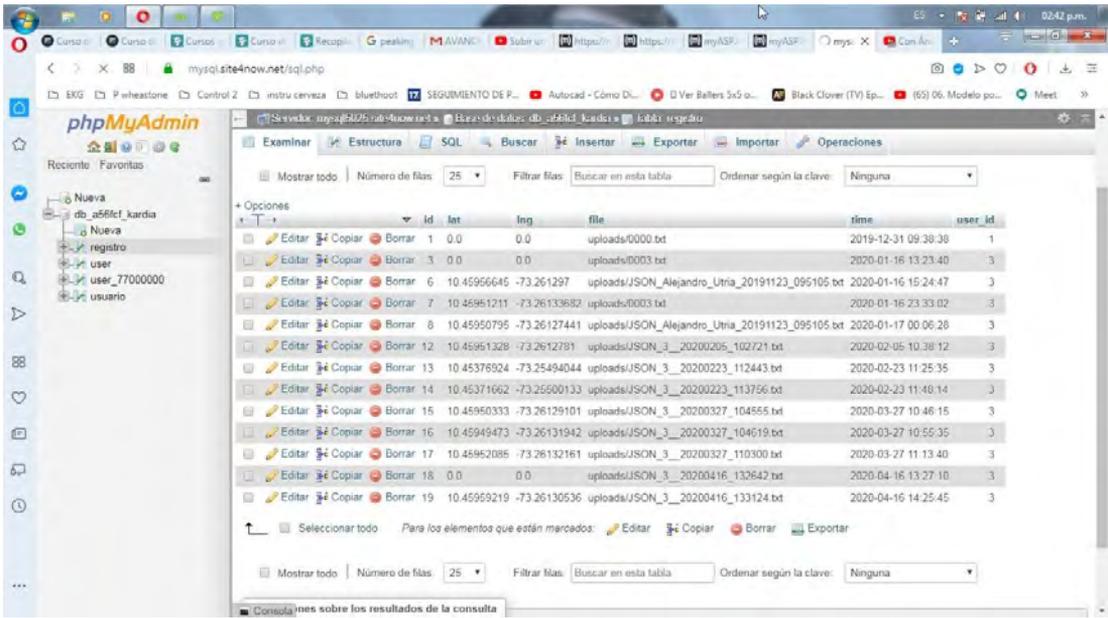
Prueba de error software aplicativo



Si el dispositivo móvil no cuenta con una conexión a internet, la aplicación activa el modo trabajar sin conexión a internet. La aplicación móvil recibe los datos y los almacena en la memoria del dispositivo móvil como un archivo txt hasta que el dispositivo tenga acceso a internet y pueda enviar los datos al servidor web; una vez el dispositivo móvil tenga acceso a internet, la aplicación buscará los archivos guardados y los envía de forma automática, luego emitirá una notificación del envío de los datos. El envío de los paquetes al servidor Web se ejecuta una vez el dispositivo cuente con una conexión a internet, en la Figura 10 se observa la hora en la que es recibido el archivo en el servidor web gratuito MyASP.NET.

Figura 10

Recepción de datos servidor web



Conclusiones

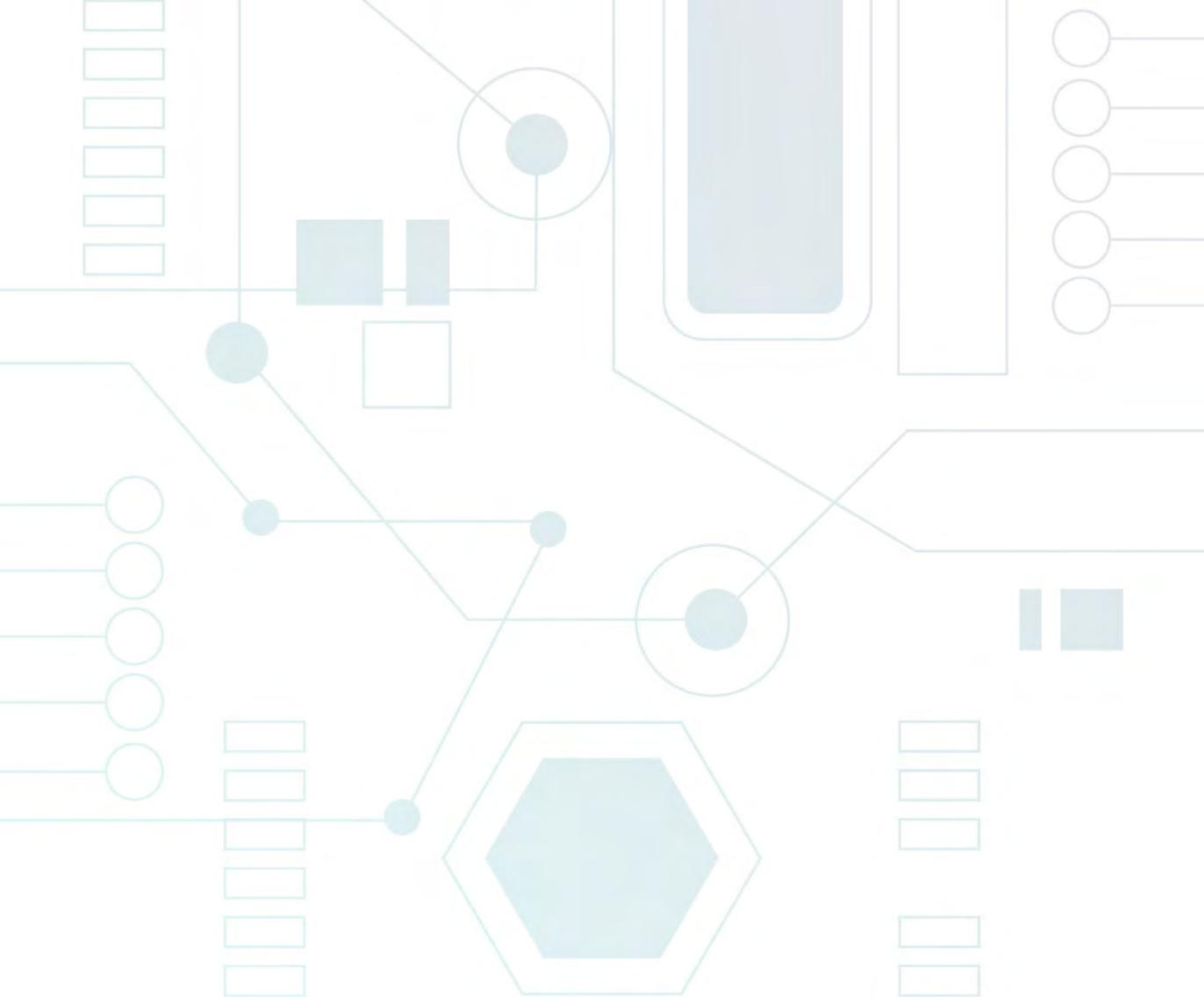
Se diseñó un sistema portátil de monitoreo cardíaco capaz de capturar las señales cardíacas por un periodo mayor a 24 horas, las señales son procesadas y enviadas vía Bluetooth al dispositivo móvil, los datos son almacenados y graficados por una interfaz gráfica para su posterior análisis.

El dispositivo es de estructura liviana, de tamaño reducido y cómoda para realizar el examen; cuenta con una App Android para la recepción de la señal cardíaca proveniente del prototipo, actuando como puente para la transmisión de los datos vía internet y como herramienta de recolección de la información del paciente.

La señal cardíaca es visualizada por medio un software aplicativo que obtiene los datos del monitoreo cardíaco procedente del dispositivo móvil alojados en un servidor web y permite visualizarlos, con el fin de ser presentados al personal médico especializado en un espacio de trabajo con múltiples herramientas que facilitan el análisis de los datos.

Referencias

- Analog Devices. (2020). AD8232 Datasheet - Analog Devices. <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/544648/AD/AD8232.html>
- Arce-León, A., Rodríguez-Rodríguez, J. y Pedrote, A. (2015). Monitorización ambulatoria del ritmo cardíaco. Más allá del Holter de 24 horas. *CardiCore*, 50(3), 102-105. <https://doi.org/10.1016/j.carcor.2015.05.004>
- Calle, A., y Señalín, B. (2015). Diseño de un EKG (electrocardiógrafo) con visualización en tiempo real de la señal cardíaca en una Tablet o dispositivo Android [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. Repositorio Dspace. <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/41325>
- Camacho, S., Maldonado, N., Bustamante, J., Llorente, B., Cueto, E., Cardona, F. y Arango, C. (2018). How much for a broken heart? Costs of cardiovascular disease in Colombia using a person-based approach. *Plos one*, 13(12), e0208513. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208513>
- Cifuentes, C., Peña, J. y Prieto, T. (2016). *Electrocardiógrafo portátil para dispositivos móviles con monitoreo remoto* [Tesis de pregrado, Instituto Politécnico Nacional]. <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/21306>
- Gualteros, J. (2016). *Prototipo ECG con transmisión de información a dispositivos Android* [Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/11349/2843>
- Mendoza, F., Núñez, L. y Bracho, G. (2012). *Diseño y construcción de un prototipo de monitoreo cardiaco de señales cardiacas por eventos implementando la tecnología de transmisión inalámbrica Zigbee e Internet* [Tesis de pregrado, Universidad Popular del Cesar].
- Pava, L. (2006). Monitoria electrocardiográfica ambulatoria de 24 horas (Holter) en arritmias supraventriculares. En M. Cabrales y D. Vanegas (Eds.), *Manual de métodos diagnósticos en electrofisiología cardiovascular* (pp. 71-78). Sociedad Colombiana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular.
- Portillo, M. (2008). Electrocardiografía: técnica de interpretación básica. *VI Foro de Pediatría de Atención Primaria de Extremadura*. <https://spapex.es/foro-pediatrico/2009/realizacion-e-interpretacion-del-ecg-en-pediatria>
- Sparkfun Electronics (s.f.). SparkFun Single Lead Heart Rate Monitor - AD8232. <https://www.sparkfun.com/products/12650>
- SparkFun Electronics. (2020). Sparkfun Start Something. Obtenido de Sparkfun Web Site: <https://www.sparkfun.com/products/12650>
- Texas Instruments. (2020). MSP430G2553 Datasheet - Texas Instruments. <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/465770/TI1/MSP430G2553.html>
- Wesley, K. (2017). *Huszar. Interpretación del ECG: monitorización y 12 derivaciones* (5.ª ed.). Elsevier.



Tecnología e Innovación:
el camino a la
transformación
productiva





Universidad
Mariana



Editorial
UNIMAR

Universidad Mariana Calle
18 No. 34-104 San Juan de Pasto
<https://libros.umariana.edu.co/index.php/editorialunimar>