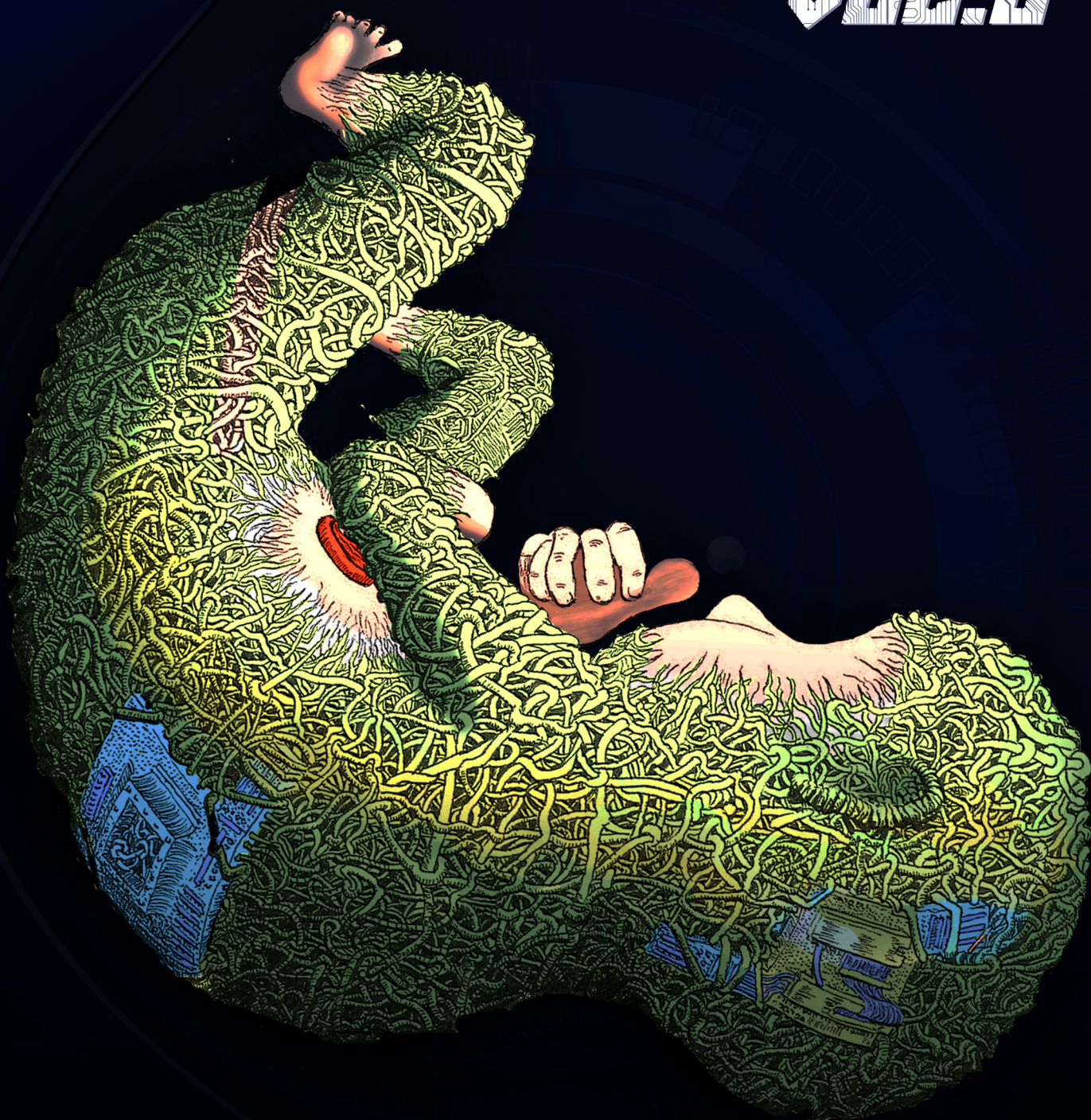


METALNOVA

VOL. 5



REVISTA SENA - CENTRO METALMECÁNICO
REGIONAL DISTRITO CAPITAL
SENNOVA

METAL MONSTER

THESE





REVISTA
METALNNOVA
SENA

*Centro Metalmecánico
Regional Distrito Capital*

Director General del SENA

Jorge Eduardo Londoño Ulloa

Director de Formación Dirección General

Claudia Patricia Forero Londoño (E)

**Coodinador SENNOVA
Dirección General**

Edgar Adrian Zambrano Tamayo

Subdirector Centro Metalmecánico

Alicia Lara Ahumada

Coordinador Misional

Jose Gionanni Lozano

Coodinadora Administración Educativa

Yenny Adriana Vargas Artunduaga

**Coordinación Automatización
y Mecatrónica**

Leonel Alberto Gómez Pérez

**Coordinación Mecanizado, plasticos
y Mantenimiento**

Dagan Arturo Rodriguez Briceño

**CÓMITE EDITORIAL
REVISTA METALNNOVA**

Gestor Editorial

Darwin Durbay Rodríguez Pinto

Auxiliar Editorial y Diagramación

Chelsy Galvis López

Revisión de Estilo

Marjorye Villabona Cárdenas

Portada y Caricatura

*Carlos Alfonso Rodriguez Castillo,
Juan Sebastian López Bernal y
Chelsy Galvis López*



***“Podemos ver sólo un corto trecho del futuro,
pero lo suficiente para darnos cuenta de que
hay mucho por hacer.”***

*Alan Turing. Considerado uno de los padres de la ciencia de
la computación y precursor de la informática moderna.*



CONTENIDOS

Páginas

Sistema electrónico para un prototipo de precipitador electrostático para la purificación de emisiones de gases contaminantes. 5

Sistema Producción de hidrógeno por hidrólisis con fuente solar (PRO-H) 13

Caracterización del Ácido Poliláctico (PLA) en filamento y piezas producidas por tecnología FDM 21

SOOTHE - Dispositivo de terapia dirigida por el usuario, para tratamiento del tunel del carpo 27

Análisis de condiciones en ambientes de formación para la población sorda en la Universidad ECCI Bogotá 37

NANOTECNOLOGÍA: Sobre las diminutas estructuras en las que se edifica la comprensión del universo 43

ConCiencia 47

Sistema electrónico para un prototipo de precipitador electrostático para la purificación de emisiones de gases contaminantes

MsC. María C. Duque S

Esp. Carlos M. Clavijo P

MsC Oscar M Duque S

MsC. Jorge Leonardo Fuentes F

macduques@sena.edu.co

cmclavijo@sena.edu.co

omduque@unipamplona.edu.co

jlfuentes@sena.edu.co

Centro CEDRUM, Grupo CEDRUM NDS, Regional N.D.S, Tecnoparque Cúcuta, Tecnoacademia Cúcuta

Universidad de Pamplona, Grupo automatización y control, Cúcuta, Colombia

Resumen.

El objetivo de este proyecto es utilizar un sistema electrónico que genere campos eléctricos de alta tensión mediante placas de metales, los cuales atraparán las partículas contaminantes presentes en el aire. El dispositivo ha sido diseñado con componentes accesibles y utiliza un circuito que aumenta la tensión de la red local de 4 V a 2400 voltios utilizando un transformador conocido como flyback. Se trata de comprender cómo este tipo de dispositivo puede ser utilizado y adaptado para diferentes tipos de materiales, especialmente en relación con la temperatura que puede ser manejada por una tubería de expulsión de gases contaminantes.

Los resultados obtenidos hasta el momento han sido prometedores. El prototipo ha demostrado ser capaz de capturar partículas contaminantes de diferentes tamaños y formas, incluso a temperaturas elevadas. Sin embargo, aún se requieren más pruebas para determinar su eficiencia y durabilidad a largo plazo. El desarrollo de este prototipo representa un avance importante en el campo de la purificación del aire contaminado. Ofrece una solución efectiva y de bajo costo para la eliminación de partículas contaminantes, especialmente en entornos industriales.

Palabras Clave: Flyback, campo magnético, gases contaminantes, material particulado, precipitador electrostático.

Abstract

This article presents the development of a prototype of an electronic system for an electrostatic precipitator aimed at purifying emissions of contaminating gases. The primary objective of this project is to employ an

electronic system that generates high-voltage electric fields using metal plates, which will capture the contaminating particles present in the air. The device has been designed with accessible components and employs a circuit that increases the voltage from the local grid from 4 V to 2400 volts using a transformer known as a flyback. The main focus of the project revolves around understanding how this kind of device can be used and adapted for different materials, particularly concerning the temperature that can be managed by an exhaust pipe for contaminating gases.

The results obtained thus far have been promising. The prototype has shown the capability to capture contaminating particles of various sizes and shapes, even at elevated temperatures. Nevertheless, further testing is still required to determine its long-term efficiency and durability. The development of this prototype represents a significant advancement in the field of contaminated air purification. It offers an effective and cost-efficient solution for eliminating contaminating particles, especially in industrial settings.

Keywords: Flyback, magnetic field, polluting gases, particulate matter, electrostatic precipitator.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la gestión de emisiones de partículas contaminantes se ha convertido en una preocupación global de primera magnitud. La contaminación del aire, definida como la presencia de gases dañinos o partículas en la atmósfera en concentraciones perjudiciales para la salud humana, el bienestar de las personas, la flora, la fauna y la propiedad, demanda soluciones eficaces [1].



En este contexto, se desarrolla un modelo de sistema electrónico diseñado para un prototipo de precipitador electrostático destinado a purificar las emisiones de gases contaminantes. Utilizando la alta tensión de voltaje generada por placas metálicas en un campo eléctrico con el fin de atrapar las partículas contaminantes presentes en el aire, logrando, de este modo, la purificación del entorno [2].

Para alcanzar esta meta, se ha concebido un circuito que amplifica la tensión de la red local (4 V) hasta alcanzar los 2400 voltios necesarios, mediante el empleo de un transformador conocido como flyback. Asimismo, se ha hecho hincapié en el uso de componentes de fácil adquisición, lo que viabiliza que este prototipo pueda ser replicado y adaptado a diferentes materiales, especialmente en relación con la temperatura que puede soportar una tubería de expulsión de gases contaminantes [3].

La trascendencia de este proyecto radica en la necesidad imperante de hallar soluciones efectivas y de bajo costo para la purificación del aire contaminado. Se propone difundir los resultados y avances obtenidos en la construcción de este modelo de sistema electrónico para el prototipo de precipitador electrostático, ofreciendo así una contribución valiosa a la investigación y desarrollo en este ámbito.

A. Antecedentes

En 2017, se llevó a cabo el trabajo titulado "Diseño y prototipo de un precipitador electrostático". Este estudio resaltó las ventajas del prototipo en términos de los materiales utilizados en su construcción, los cuales son fácilmente accesibles y tienen un costo de mantenimiento casi nulo. Se optó por el modelo de placas planas debido a que su diseño era más sencillo de construir utilizando elementos fácilmente disponibles. Este prototipo fue concebido para la aplicación en la remoción de contaminantes como el humo y las cenizas producidas por la quema de carbón, papel, cigarrillos y madera.

En 2019, se llevó a cabo el trabajo titulado "Precipitador electrostático a escala piloto para el laboratorio de aire de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga". Este estudio permitió determinar las condiciones óptimas de diseño y las dimensiones adecuadas para un prototipo a escala de laboratorio. Se proyectó que este prototipo funcionara con un voltaje aproximado de 10.000 a 13.000 voltios, y se estableció la necesidad de conectar el cuerpo del precipitador a un polo a tierra para garantizar la seguridad de los usuarios y minimizar cualquier riesgo para la salud.

En 2020, se realizó el trabajo titulado "Filtro por precipitación electrostática para la remoción de material particulado en el escape de motores diésel". Esta investigación reveló que, para la implementación del filtro, es necesario utilizar el efecto corona, el cual es capaz de cargar eléctricamente partículas con tamaños inferiores a 40 micras, como el material particulado resultante de la combustión del diésel. Se determinó que la carga corona

debe ser negativa para dirigir las partículas hacia las cavidades del filtro, y se encontró que los electrodos presentan una mejor resistencia a esta carga. De esta manera, se logra cargar las partículas de material particulado con tamaños inferiores a 1 μm .

Estos antecedentes proporcionan una base sólida para la comprensión y el desarrollo de los precipitadores electrostáticos, así como para la aplicación de estos dispositivos en la remoción de material particulado en diferentes contextos y fuentes de contaminación.

PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

A. Problema

El control de las emisiones de material particulado en las industrias ha adquirido una gran importancia en el siglo XX. Esto ha llevado a la implementación de sistemas eficientes de recolección de partículas con el objetivo de reducir dichas emisiones a niveles mínimos establecidos por organismos ambientales y de salud a nivel mundial. Este problema no solo afecta al personal que trabaja en estas industrias, sino también tiene repercusiones en el entorno circundante, la visibilidad, los espacios abiertos, la vida animal, la vegetación, los cultivos agrícolas, las máquinas, la infraestructura, los ambientes de trabajo y el medio ambiente en general.

En respuesta a las nuevas tendencias en salud, seguridad y control de procesos, así como a las regulaciones promulgadas anualmente para prevenir daños tanto a nivel personal como ambiental, las empresas se han comprometido a adoptar tecnologías innovadoras que permitan mejorar la eficiencia de sus equipos y reducir las emisiones. El objetivo es buscar soluciones que ofrezcan una adecuada relación inversión/beneficio para mitigar dichas emisiones.

En particular, en el caso de las industrias cementeras, se observa una alta demanda de control de emisiones de material particulado debido a que el proceso de producción del cemento involucra diversas etapas en las cuales se generan emisiones de material particulado, como el polvo. Estas emisiones son evidentes en áreas como la extracción, la trituración del material, el almacenamiento por derrames, el transporte entre máquinas y las operaciones de carga y descarga.

En este contexto, el objetivo de esta tesis es diseñar un prototipo a escala de un precipitador electrostático para la purificación de emisiones de gases contaminantes. El propósito es lograr una reducción significativa de los niveles de material particulado de acuerdo con los estándares establecidos.

B. Justificación

Justificación Económica

La implementación de una máquina colectora de polución permite a las industrias aumentar su capacidad de



producción al recolectar y recircular el material particulado que se desprende durante los procesos. Esto resulta en una reducción de los costos de producción al evitar la pérdida de material y permitir su reutilización en la línea principal. Además, al reducir las emisiones de polución, se disminuyen los costos de mantenimiento en infraestructura y equipos, ya que la polución tiende a degradar las partes móviles mecánicas y eléctricas. Esto a su vez aumenta los períodos de mantenimiento programados, optimizando los recursos económicos de la empresa.

Justificación Social

La implementación de una máquina colectora de polución beneficia a múltiples aspectos sociales. En primer lugar, mejora la salud y el bienestar del personal de trabajo y de las comunidades cercanas, al reducir la exposición a la polución y sus efectos perjudiciales. Asimismo, al controlar las emisiones de material particulado de acuerdo con los estándares ambientales, las industrias pueden obtener reconocimientos y certificaciones que respalden su gestión ambiental responsable. Esto no solo mejora su reputación, sino que también contribuye al desarrollo sostenible y a la preservación del medio ambiente a nivel local e internacional.

Justificación Ingenieril

En la actualidad, se están desarrollando y avanzando tecnologías de ingeniería para disminuir y controlar la polución a nivel ambiental. En este sentido, la implementación de un precipitador electrostático representa un avance significativo, ya que se ha demostrado que es uno de los métodos más eficientes para controlar la contaminación en las industrias. Al optar por este tipo de tecnología, se fomenta la innovación y se incentiva la búsqueda de nuevos métodos de control de material particulado en el futuro. Esto impulsa el progreso científico y tecnológico en el campo de la ingeniería ambiental, generando soluciones más efectivas y sostenibles.

Justificación Ecológica

La implementación de una máquina colectora de polución tiene un impacto positivo en el medio ambiente, al reducir las emisiones de material particulado en las industrias. Esto conlleva a una disminución del impacto ambiental en las zonas cercanas, protegiendo tanto a la fauna y flora como a la salud de las personas. Al controlar y minimizar la polución a niveles mínimos, se contribuye a la preservación del entorno ecológico, promoviendo la conservación de los recursos naturales y la sostenibilidad a largo plazo.

II. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

A. Objetivo General

- Desarrollar un modelo de sistema electrónico para un prototipo de precipitador electrostático para la purificación de emisiones de gases contaminantes.

B. Objetivos Específicos

- Definir los criterios de diseño, elementos de instrumentación, control, visualización, materiales y dimensiones para la generación del prototipo.
- Diseñar el sistema electrónico para un prototipo de precipitador electrostático para la purificación de emisiones de gases contaminantes.
- Construir el sistema electrónico de validación para la purificación de emisiones de gases contaminantes.
- Demostrar el funcionamiento del sistema electrónico para un prototipo de precipitador electrostático para la purificación de emisiones de gases contaminantes.

C. Metodología

La presente investigación se llevó a cabo siguiendo una metodología que abarcó los métodos utilizados para la construcción, diseño y estudio de la eficacia de un prototipo de precipitador electrostático, así como la creación de un modelo de sistema electrónico para la validación de emisiones de gases contaminantes. El enfoque metodológico se dividió en los siguientes pasos:

1. Definir los criterios de diseño, elementos de instrumentación, control, visualización, materiales y dimensiones necesarios para la creación del prototipo. Este paso implica una revisión exhaustiva de la literatura científica y técnica relacionada, así como el análisis de las normas y estándares aplicables para establecer los parámetros de diseño.
2. Realizar el diseño detallado del prototipo de precipitador electrostático destinado a la purificación de emisiones de gases contaminantes. En esta etapa, se considerarán los criterios definidos en el paso anterior y se utilizará software especializado para el modelado y simulación, asegurando así la precisión del diseño.
3. Construir el sistema electrónico de validación para la purificación de emisiones de gases contaminantes. Seleccionar los componentes electrónicos necesarios y llevar a cabo la construcción y ensamblaje del sistema electrónico, siguiendo rigurosamente las mejores prácticas de ingeniería y garantizando su correcto funcionamiento.
4. Evaluar el funcionamiento del sistema electrónico en consonancia con las variables de percepción, control y visualización. Esta etapa involucra la realización de pruebas y ensayos en el prototipo para evaluar su capacidad para captar variables relevantes, controlar el proceso de purificación y visualizar los resultados obtenidos. Se llevarán a cabo ajustes y mejoras necesarias para asegurar la eficacia y precisión del sistema.

La presente investigación siguió la metodología del Tecnoparque, la cual se basa en los niveles de madurez tecnológica TRL (Technology Readiness Levels). En este caso, el proyecto alcanzó el nivel TRL 6, ya que el éxito de la investigación radica en la posibilidad de implementarlo con tecnologías disponibles en el mercado. De lo contrario,



sería simplemente una propuesta teórica sin aplicabilidad práctica. Se tuvieron en cuenta los parámetros de diseño, funcionalidades, integración entre plataformas, disponibilidad en el mercado local y el valor presupuestal mínimo necesario para obtener la mayor cantidad de beneficios. Cabe destacar que se siguieron los principios éticos de la investigación científica, asegurando la integridad de los datos, el respeto a los derechos de propiedad intelectual y la confidencialidad de la información.

D. Selección de componentes de Hardware.

La selección de los componentes se realizó siguiendo un enfoque de prototipo de bajo costo, teniendo en cuenta el rango de funcionamiento, el costo, rangos de funcionamientos y la compatibilidad con Arduino. Se utilizó una matriz de selección para elegir los componentes, evaluando estos parámetros. Se seleccionaron los siguientes componentes:

- Flyback: es un transformador convertidor reductor-elevador con el inductor dividido para formar un transformador, de modo que las relaciones de voltaje se multiplican con una ventaja adicional de aislamiento, como se muestra en la Fig. 1.

Figura 1. Flyback odelo 154-375D RDX 020-130



Fuente Autores

- Placas conductoras de cobre: Baquelas de fibra de vidrio con cobre, como se visualizan en la Fig. 2.

Figura 2. Placas conductoras de cobre



Fuente Autores

- Arduino Mega ADK: es una placa de microcontrolador basada en el ATmega2560. Dispone de una interfaz de host USB para la conexión con teléfonos con sistemas

operativos Android, y utiliza el IC MAX3421e para lograr esta conexión. En la Fig. 3, se ilustra la tarjeta que, además, cuenta con 54 pines de entrada/salida digital (de los cuales 15 pueden utilizarse como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UART (puertos seriales de hardware), un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un encabezado ICSP y un botón de reinicio.

Figura 3. Arduino Mega ADK.



Fuente Autores

- Sensor de Calidad de aire MQ-135: Usado en equipos controladores de calidad de aire en edificios/oficinas, ideal para detectar NH₃, NO, alcohol, benceno, humo, CO₂, etc. Rápida respuesta y alta sensibilidad. La tarjeta lleva integrado un LM393. Posee dos terminales de salida: Análogo y Digital (TTL), como se establece en la Fig. 4.

Figura 4. Sensor de Calidad de aire MQ-135.

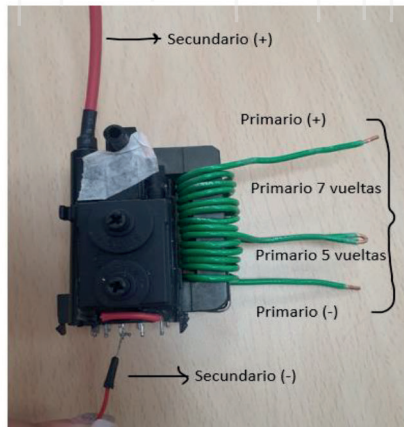


Fuente Autores

E. Diseño del sistema electrónico y estructural.

Es esencial realizar una caracterización exhaustiva del transformador Flyback, ya que se requiere generar un campo magnético mediante las placas de cobre. Por esta razón, es necesario contar con un alto voltaje en corriente continua (DC). Antes de diseñar el circuito electrónico para su alimentación, es imperativo identificar la función de cada cable y pin del Flyback. El cable de menor calibre que se desprende de la parte superior del Flyback corresponde a la salida de alto voltaje positivo. En la parte inferior, donde se encuentran 10 pines, se identifica la salida de alto voltaje negativo. Para determinar el pin correspondiente a la salida negativa, se realizaron 7 vueltas en el primario y 5 vueltas en el secundario alrededor del núcleo exterior del Flyback. El número de vueltas influye en la cantidad de voltaje de salida, como se muestra en la Fig. 5.

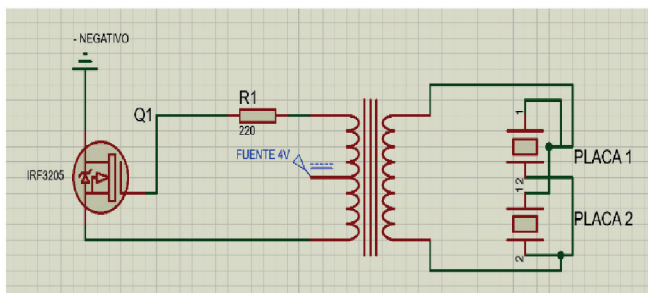
Figura 5. Caracterización de salidas y entradas del Flyback



Fuente Autores

Posteriormente, se procedió a caracterizar el comportamiento del transformador Flyback siguiendo el esquema representado en la Fig. 6. Utilizando el software de simulación con licencia Proteus Design Suite 8.10 ©, se diseñó el circuito electrónico para alimentar el Flyback. Esta caracterización inicial proporcionó las mediciones detalladas en la Tabla 1.

Figura 6. Circuito electrónico para la alimentación del Flyback.



Fuente Autores

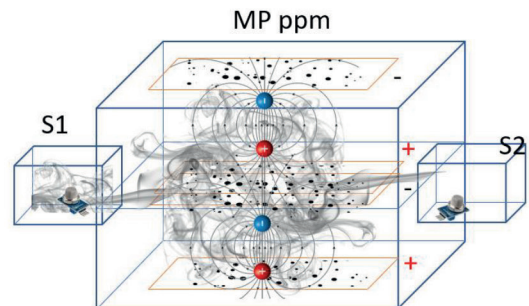
Tabla 1. Caracterización de mediciones del flyback

SET POINT (V)	MEDIDAS DIRECTAS (V)			INDIRECTA (V)
	V1 (V)	I1 (A)	V2 (V)	I2 (A)
4	4.00	1.07	2340	1.83E-03
4	4.00	1.01	2389	1.69E-03
4	3.70	0.80	2037	1.45E-03
4	3.50	0.60	1912	1.10E-03
4	3.00	0.40	1488	8.06E-04
4	2.70	0.20	1060	5.09E-04
4	2.70	0.10	675	4.00E-04

Fuente Autores

En la caracterización realizada, se logró obtener un voltaje máximo de salida de 2389 V utilizando una entrada de 4 V DC/DC. Para el diseño estructural del prototipo a nivel de laboratorio, se optó por utilizar material acrílico transparente, lo cual permitió observar el efecto magnético en la captura del material particulado, como se muestra en la Fig. 7. Sin embargo, es importante tener en cuenta que, para escalar este prototipo a un entorno real, será necesario modificar el material utilizado, ya que deberá ser capaz de soportar altas temperaturas de hasta 130°C.

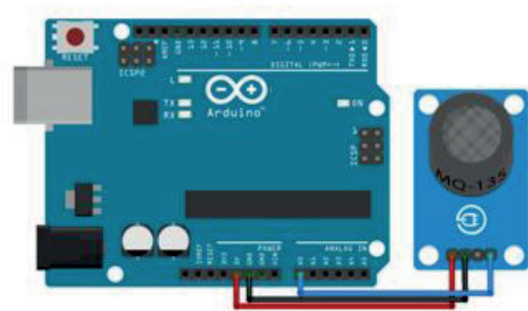
Figura 7. Diseño del diagrama estructural del precipitador electrostático.



Fuente Autores

Se colocaron dos sensores de calidad de aire MQ-135 que tiene como pines VCC (alimentación), GND (Tierra) y S (Señal) en el sistema precipitador electrostático, uno en la entrada y otro en la salida de este. Estos sensores fueron conectados a la tarjeta de desarrollo Arduino en los pines de 5V (alimentación), GND y A0 (Entrada analógica de la señal del sensor), tal como se ilustra en la Fig. 8.

Figura 8. Conexión entre Arduino y el módulo de sensor MQ-135.



Fuente Autores

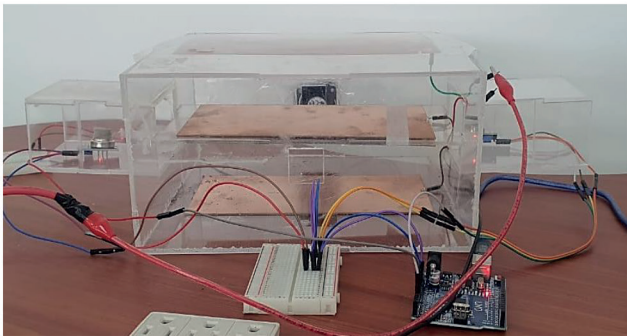
Es imperativo llevar a cabo una caracterización de los sensores de calidad de aire MQ-135. Para esto, se mantuvieron conectados durante 24 horas para un período de precalentamiento, ya que se requiere calentar internamente sus componentes para lograr una señal de medición estable y precisa. Durante un lapso de 30 minutos, se registraron lecturas de las mediciones de los

sensores, y se calculó el promedio de los valores obtenidos. Estas mediciones se efectuaron tanto en condiciones con presencia de humo como en condiciones sin humo, con el propósito de comparar y obtener niveles de PPM consistentes entre los sensores. Tras el análisis realizado, se determinaron factores de corrección de -2.7 PPM para el sensor 1 y -4.3 PPM para el sensor 2.

F. Construcción del precipitador electrostático

El precipitador electrostático se construyó utilizando acrílico transparente, lo que permitió observar claramente el efecto magnético en la captura de material particulado. Se dispusieron placas de cobre en cada compartimento del precipitador, mientras que el sistema de elevación de voltaje, o Flyback, se ubicó en el exterior. Adicionalmente, se incorporó un ventilador en el centro del sistema para lograr la recirculación del humo que ingresa en todo el precipitador, asegurando, de esta manera, una distribución uniforme y estable del humo y del material particulado en toda la estructura, como se ilustra en la Fig. 9.

Figura 9. Prototipo de precipitador electrostático.

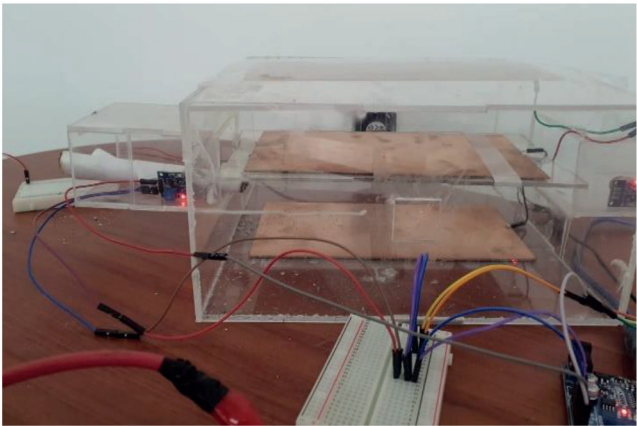


Fuente Autores

III. RESULTADOS

Para llevar a cabo la prueba de funcionamiento del sistema de precipitación electrostática en un entorno de laboratorio, se suministró energía al Flyback con una tensión de 4 V, y se replicaron las condiciones de un entorno real controlado, análogo a una chimenea que introduce un flujo de humo. Con este propósito, se sometió el sistema a una prueba en la que se utilizó un papel encendido para simular la entrada de humo y material particulado al sistema, como se puede apreciar en la Fig. 10 y Fig. 11.

Figura 11. Prueba de funcionamiento del precipitador electrostático con humo.



Fuente Autores

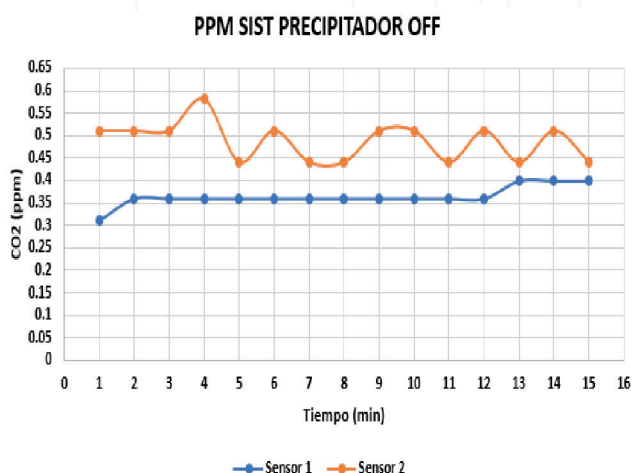
Se llevaron a cabo mediciones utilizando los sensores en dos etapas: en primer lugar, sin exposición a material particulado (PPM), y luego, con exposición al humo. El sensor 1 se colocó en la entrada del sistema, mientras que el sensor 2 se posicionó en la salida. A partir de estas mediciones, se obtuvieron los resultados que se presentan en la Tabla 2, donde se muestran los valores obtenidos en ausencia de humo o PPM. Además, se ilustró gráficamente el comportamiento de las mediciones en la Fig. 12.

Tabla 2. Sistema Sin Exposición A La PPM

SIN EXPOSICIÓN AL PPM			
Tempo (min)	SENSOR 1	SENSOR 2	DIFERENCIA
1	0.31	0.51	-0.2
2	0.36	0.51	-0.15
3	0.36	0.51	-0.15
4	0.36	0.58	-0.22
5	0.36	0.44	-0.08
6	0.36	0.51	-0.15
7	0.36	0.44	-0.08
8	0.36	0.44	-0.08
9	0.36	0.51	-0.15
10	0.36	0.51	-0.15
11	0.36	0.44	-0.08
12	0.36	0.51	-0.15
13	0.4	0.44	-0.04
14	0.4	0.51	-0.11
15	0.4	0.44	-0.04

Fuente Autores

Figura 12. Prueba de funcionamiento del precipitador electrostático sin PPM.



Fuente Autores

Se efectuaron mediciones con los sensores bajo dos condiciones: en primer lugar, sin exposición al material particulado (PPM), y posteriormente, con exposición al humo. A partir de estas mediciones, se obtuvieron los resultados que se presentan en la Tabla 3, donde se muestran los valores obtenidos en ausencia de humo o PPM. Además, se ilustró gráficamente el comportamiento de las mediciones en la Fig. 13.

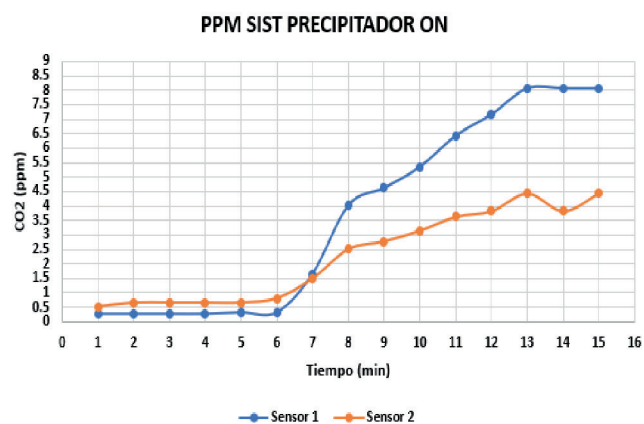
La diferencia en las mediciones entre el sensor 1 y el sensor 2, tanto antes como después de la exposición al material particulado, se debe a las características inherentes de cada sensor y al proceso de calibración realizado. Cada sensor tiene su propia caracterización de medición, y esta diferencia se mantiene constante y se corrige de acuerdo con su factor de corrección hallado durante la calibración. Antes de la exposición al material particulado, esta diferencia en la medición se refleja en que el sensor 1 muestra lecturas más bajas que el sensor 2, lo que corresponde a su estado natural del sistema sin exposición al CO₂. Después de someter el sistema al humo y al material particulado, ambos sensores continúan operando con sus respectivos factores de corrección.

Tabla 3. Sistema Con Exposición Al PPM

EXPUESTO AL PPM			
Tiempo (min)	SENSOR 1	SENSOR 2	DIFERENCIA
1	0.26	0.51	-0.25
2	0.26	0.65	-0.39
3	0.26	0.65	-0.39
4	0.26	0.65	-0.39
5	0.31	0.65	-0.34
6	0.31	0.8	-0.49
7	1.65	1.49	0.16
8	4.02	2.51	1.51
9	4.62	2.78	1.84
10	5.35	3.15	2.2
11	6.43	3.63	2.8
12	7.17	3.83	3.34
13	8.07	4.44	3.63
14	8.07	3.83	4.24
15	8.07	4.44	3.63

Fuente Autores

Figura 13. Prueba de funcionamiento del precipitador electrostático con PPM



Fuente Autores

La diferencia en las mediciones entre el sensor 1 y el sensor 2, en ausencia de material particulado, se debe a la ubicación estratégica de ambos sensores en el sistema. El sensor 1 se encuentra en la entrada del sistema, donde recibe una exposición directa al material particulado que ingresa. En contraste, el sensor 2 se ubica en la salida del sistema, lo que le permite monitorear el PPM que sale del precipitador. Esta diferencia en ubicación y exposición resulta en una lectura menor de PPM en el sensor 2.

La razón subyacente detrás de esta disparidad radica en el campo eléctrico generado entre las placas de cobre del precipitador electrostático. Este campo eléctrico es eficaz para capturar las partículas contaminantes, lo que se traduce

en una disminución significativa del PPM que sale del sistema. Por lo tanto, la lectura más baja en el sensor 2 en condiciones de ausencia de material particulado demuestra la efectividad del sistema en la reducción del PPM que ingresa al precipitador.

En resumen, la diferencia en las mediciones entre el sensor 1 y el sensor 2 se debe a las características individuales de cada sensor y su ubicación estratégica en el sistema. Esta diferencia se mantiene y se tiene en cuenta en ambos sensores, y se establece como el estado natural del sistema sin exposición al CO₂. Posteriormente, durante las mediciones con exposición al humo, cada sensor continúa operando de acorde con su factor de corrección, lo que da lugar a la diferencia en las mediciones de acuerdo con su ubicación y el efecto del sistema precipitador.

IV. CONCLUSIONES

Las mediciones realizadas con los sensores demostraron ser estables y consistentes tanto en la etapa sin exposición al material particulado (PPM) como en la etapa con exposición al humo. La diferencia de medición entre los sensores 1 y 2 (Figuras 11 y 12) en ausencia de PPM fue mínima, aproximadamente 0.12 ppm, lo que indica una excelente precisión y confiabilidad de los sensores. Al someter el sistema de precipitación electrostático y el sistema de instrumentación al material particulado, se observó una diferencia significativa de aproximadamente 4 ppm entre el sensor 1, ubicado en la entrada del sistema, y el sensor 2, situado en la salida. Esto demuestra que el sistema de precipitación electrostático es capaz de capturar eficazmente el material particulado presente en el humo de entrada, permitiendo que el humo expulsado tenga una concentración significativamente reducida de material particulado en comparación con el humo entrante. Este efecto es altamente beneficioso tanto para el medio ambiente como para la salud pública.

El sistema de precipitación electrostático ha demostrado un funcionamiento satisfactorio en condiciones controladas de laboratorio, alcanzando un nivel de madurez tecnológica TRL6. Sin embargo, se sugiere reforzar la estructura del sistema utilizando materiales capaces de soportar temperaturas superiores a 150 °C. Esta recomendación se basa en la consideración de las temperaturas a las que estará expuesto el sistema en su aplicación real. La adaptación de los materiales permitirá obtener un sistema más adecuado y robusto, capaz de enfrentar las condiciones térmicas requeridas en su entorno de funcionamiento. Esta mejora contribuirá a garantizar un rendimiento óptimo y la durabilidad del sistema en su implementación práctica.

En resumen, el sistema de precipitación electrostático desarrollado en este proyecto demuestra un impacto positivo en la reducción del material particulado en el humo de emisiones contaminantes. Estos resultados respaldan la viabilidad y eficacia del sistema, y sugieren su implementación en entornos reales con las mejoras

recomendadas para garantizar un rendimiento óptimo. La combinación de la captura efectiva de material particulado y la estabilidad de las mediciones de los sensores lo convierte en una solución prometedora para abordar problemas de contaminación del aire y mejorar la calidad del ambiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Fernández, B. &. (2008). Diagnóstico de la Industria del Cemento en Colombia y Evaluación de Alternativas Tecnológicas para el cumplimiento de la Norma de Emisión de Fuentes Fijas. Bogotá, Colombia: Universidad de la Salle.
- [2] Sagástegui, A. (2012). Propuesta para reducir las Emisiones de polvo fugitivo en el Proceso Productivo de una Empresa Cementera. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- [3] Saravia, H. (2018). Estudio ambiental, técnico y económico de la utilización y aprovechamiento de precipitadores electrostáticos en planta de generación de Arizona. Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala.
- [4] Grupo Velasco. (2022). FLYBACK 154-375C - FLY-154-375C, Recuperado de: <http://www.velasco.com.ec/velasco/producto.php?id=1518>.
- [5] Electrónica Gabriel S.A.S. (2022). Baquelita virgen. Recuperado de: <https://electronicagabriel.com/producto/baquelita-virgen-cortada/>
- [6] Arduino CC. (2022). Arduino Mega ADK Rev3. Recuperado de: <https://docs.arduino.cc/retired/boards/arduino-mega-adk-rev3>
- [7] Sigma electrónica. (2022). MQ-135. Recuperado de: <https://www.sigmaelectronica.net/producto/mq-135/>
- [8] Ambiental, A. d. (2012). Manual de costos de control de contaminación del aire de la EPA. Estados Unidos.
- [9] Carrillo, H. (2011). Diseño y cálculo de un sistema de extracción localizada de humos y gases provenientes del proceso de soldadura. Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- [10] De Meira, C. (2016). Desempeño de un precipitador electrostático operando en la remoción de nanopartículas de aerosoles. Bogotá, Colombia: Universidad de la Salle.
- [11] Gómez, E. (2016). Conversión de un precipitador electrostático a filtro de mangas pulse-jet en la planta de molienda de carbon en la cementera Unacem-Atocongo. Lima, Perú: Universidad Tecnológica de Perú.
- [12] Jiménez, F. (2015). Selección de un sistema de despolvo en área de trituración en la industria cementera. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- [13] Mamani Revilla, J. A. (2019). Diseño e implementación de un prototipo a escala de un precipitador electrostático para el control de polución en una industria cementera. Arequipa, Perú: Universidad Católica de Santa María.
- [14] Orrala, A. (2010). Diseño de un sistema de extracción de material particulado de una planta de arena. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- [15] Young, F., & Sears, Z. (2009). Física universitaria (Vol. 2). México: Pearson Education.
- [16] He, Z., & Dass, E. T. M. (2018). Correlation of design parameters with performance for electrostatic Precipitator. Part I. 3D model development and validation. Applied Mathematical Modelling, 57, 633–655. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2017.05.042>
- [17] Lee, G. H., Hwang, S. Y., Cheon, T. W., Kim, H. J., Han, B., & Yook, S. J. (2021). Optimization of pipe-and-spike discharge electrode shape for improving electrostatic precipitator collection efficiency. Powder Technology, 379, 241–250. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.10.044>
- [18] Zhang, S., Pan, W., Zhang, H., Long, Z., & Yu, T. (2020). High-efficient removal of airborne oil mist in a wire-plate electrostatic precipitator. Journal of Electrostatics, 108(October), 103516. <https://doi.org/10.1016/j.elstat.2020.103516>
- [19] Zhang, X., & Bo, T. (2021). The effectiveness of electrostatic haze removal scheme and the optimization of electrostatic precipitator based on the charged properties of airborne haze particles: Experiment and simulation. Journal of Cleaner Production, 288, 125096. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125096>



Sistema Producción de hidrógeno por hidrólisis con fuente solar (PRO-H)

MsC. María C. Duque S

Esp. Carlos M. Clavijo P

MsC Oscar M Duque S

MsC. Jorge L Fuentes F

Ronald Alejandro Álvarez

macduques@sena.edu.co

cmclavijo@sena.edu.co

omduque@unipamplona.edu.co

jlfuentes@sena.edu.co

alvarezronald91@gmail.com

Centro CEDRUM, Grupo CEDRUM NDS, Regional N.D.S, Tecnoparque Cúcuta, Tecnoacademia Cúcuta, Universidad de Pamplona, Grupo automatización y control, Cúcuta, Colombia

Resumen.

Este artículo de investigación presenta el diseño, desarrollo y evaluación del prototipo para la producción de hidrógeno mediante hidrólisis con energía solar (PRO-H). Su enfoque principal fue el establecimiento de un sistema electrónico y estructural altamente eficiente y optimizado, impulsado por energía solar, capaz de separar el agua molecularmente y producir hidrógeno de manera sostenible. La selección del segundo diseño son las placas conductoras, que permiten una inmersión completa de las placas en el agua; se respaldó con resultados que indicaron una mayor capacidad de hidrólisis. Se sugirieron pruebas adicionales, incluyendo aditivos químicos, para optimizar aún más la eficiencia del proceso.

Este estudio subraya la imperiosa necesidad de continuar investigando y desarrollando la hidrólisis solar para mejorar la eficiencia y reducir los costos de producción de hidrógeno. Asimismo, se enfatiza su viabilidad como una fuente de energía limpia y sostenible, en línea con los objetivos de reducción de emisiones del Acuerdo de París. En resumen, el enfoque integral propuesto en este trabajo para el diseño y desarrollo del prototipo PRO-H proporciona una contribución valiosa al avance de esta tecnología. Los resultados y recomendaciones brindan perspectivas prometedoras para su futura implementación a mayor escala, lo que podría catalizar la transición hacia una sociedad más sostenible y con bajas emisiones de carbono al ofrecer una solución eficaz y ecológica para la producción de hidrógeno.

Palabras clave: hidrógeno, hidrólisis, energía solar, prototipo, tecnología, sostenibilidad.

Abstract

This research article presents the design, development, and evaluation of a prototype for hydrogen production through solar-driven electrolysis

(PRO-H). The primary objective was to establish an efficient and optimized electronic and structural system powered by solar energy to molecularly separate water and sustainably produce hydrogen. Results obtained from the comparison of different designs of conducting plate structures supported the selection of the second design, which allowed for a greater hydrolysis capacity by fully submerging the plates in water. Further tests, including the addition of chemical additives, were suggested to further enhance the process's efficiency.

The study underscores the importance of continued research and development in the field of solar electrolysis to improve efficiency and reduce hydrogen production costs. It emphasizes the viability of this technology as a clean and sustainable alternative for energy generation, aligned with emission reduction goals established in the Paris Agreement. In conclusion, this study provides a comprehensive approach to the design and development of a solar-driven hydrogen production prototype. The results and recommendations offer promising insights for its future implementation on a larger scale, which could accelerate the transition towards a more sustainable, low-carbon society by providing an efficient and eco-friendly solution for hydrogen production.

Keywords: hydrogen, hydrolysis, solar energy, prototype, technology, sustainability.

I. INTRODUCCIÓN

La necesidad de encontrar fuentes de energía sostenibles y limpias ha llevado al interés creciente en el desarrollo de tecnologías para la producción de hidrógeno como combustible alternativo. Entre las diversas opciones, la hidrólisis solar se ha destacado como una prometedora alternativa que permite obtener hidrógeno de manera eficiente y respetuosa con el medio ambiente. [1][2]

En este contexto, el presente artículo de investigación se centra en el diseño, desarrollo y evaluación de un prototipo para la producción de hidrógeno por hidrólisis



con fuente solar (PRO-H). El objetivo principal es establecer un sistema electrónico y estructural eficiente y optimizado que permita obtener hidrógeno mediante la separación molecular del agua utilizando energía solar como fuente primaria. [3][4]

Para lograr este objetivo, se ha seguido una metodología basada en los niveles de madurez tecnológica TRL (Technology Readiness Levels), siguiendo los estándares del Tecnoparque (Programa de innovación tecnológica del Servicio Nacional de Aprendizaje). Esto ha permitido definir los criterios de diseño, seleccionar los materiales adecuados, diseñar el sistema electrónico y estructural, y construir el prototipo PRO-H. [5][6]

A lo largo del estudio, se han llevado a cabo pruebas de validación en las instalaciones de Tecnoacademia, nodo Cúcuta, obteniendo resultados significativos en términos de producción de hidrógeno. Asimismo, se ha realizado un análisis de viabilidad económica y jurídica, evaluando las normas y regulaciones existentes en Colombia para el uso y comercialización del hidrógeno producido. [7][8]

Los hallazgos obtenidos a partir de la comparación de diferentes diseños de estructuras de placas conductoras, así como los resultados de las pruebas de producción de hidrógeno, han contribuido a mejorar la comprensión de la eficiencia y viabilidad del prototipo PRO-H. Además, se han identificado áreas clave de mejora y se han propuesto recomendaciones para futuras investigaciones. [9] [10]

En resumen, este artículo de investigación presenta un estudio exhaustivo sobre el diseño y desarrollo de un prototipo para la producción de hidrógeno por hidrólisis con fuente solar. Los resultados obtenidos y las conclusiones alcanzadas contribuyen al avance de esta tecnología y brindan perspectivas prometedoras para su implementación a mayor escala en el futuro, en línea con los objetivos de sostenibilidad y reducción de emisiones establecidos en el Acuerdo de París.

A. Antecedentes

Alonso, L. y Cantero, M. (2019). Una revisión sobre las tecnologías de producción de hidrógeno solar. Revisión de energía renovable y sostenible, El estudio ofrece una visión general de diversas tecnologías de producción de hidrógeno solar. Analiza sus ventajas y desventajas, así como sus posibles aplicaciones. Esto proporciona una base sólida para identificar la tecnología más adecuada para proyectos como PRO-H, teniendo en cuenta las necesidades y objetivos específicos, como son los siguientes elementos importantes:

- La investigación proporciona una revisión de los procesos fotoquímicos y electroquímicos para la producción de hidrógeno solar.
- Los procesos fotoquímicos se dividen en dos categorías: fotocátalisis y foto electrolisis.
- La fotocátalisis utiliza materiales fotocatalíticos para dividir el agua en hidrógeno y oxígeno.

- La fotoelectrólisis utiliza materiales semiconductores para dividir el agua, utilizando energía eléctrica generada por la luz solar.
- Los procesos electroquímicos se basan en la electrólisis del agua, utilizando energía eléctrica generada por energía solar fotovoltaica. [11]

Adhikari, P. y Bandyopadhyay, SK (2017). Producción de hidrógeno solar: una revisión de las tecnologías. Revista internacional de energía de hidrógeno. La investigación se enfoca en una revisión detallada de los diferentes sistemas de producción de hidrógeno solar. Explora los componentes, principios operativos y características de rendimiento de estos sistemas. Este análisis es valioso para el diseño y la optimización del sistema PRO-H., siguiendo estos principales aspectos:

- La investigación proporciona una revisión de los procesos fotoquímicos y electroquímicos para la producción de hidrógeno solar.
- Los procesos fotoquímicos se dividen en dos categorías: fotocátalisis y fotoelectrólisis.
- La fotocátalisis utiliza materiales fotocatalíticos para dividir el agua en hidrógeno y oxígeno.
- La fotoelectrólisis utiliza materiales semiconductores para dividir el agua, utilizando energía eléctrica generada por la luz solar.
- Los procesos electroquímicos se basan en la electrólisis del agua, utilizando energía eléctrica generada por energía solar fotovoltaica. [12]

Krishnamurthy, S. y Gokhale, MS (2016). Producción solar de hidrógeno: Estado actual y perspectivas de futuro. Revisión de energía renovable y sostenible. El estudio ofrece una descripción general del estado actual de la producción de hidrógeno solar. Se centra en los desafíos y oportunidades que deben abordarse para una adopción más amplia de esta tecnología. Estos aspectos proporcionan una visión crítica de la situación y orientan las áreas de investigación y desarrollo en la producción de hidrógeno solar, lo que es relevante para proyectos como PRO-H y los siguientes factores:

- La investigación proporciona una revisión del estado actual de la producción solar de hidrógeno, centrándose en la producción a gran escala.
- Se discuten los diferentes procesos de producción, así como los desafíos y oportunidades que enfrentan. [13]

Ren, Y., Wang, J. y Zhang, L. (2015). La investigación proporciona una revisión exhaustiva de los métodos para producir hidrógeno a partir de agua utilizando energía solar. Esta revisión abarca diferentes técnicas y enfoques. La información resultante es esencial para la selección del método más adecuado en el contexto de proyectos como PRO-H, considerando las condiciones específicas y la eficiencia requerida, considerando lo anterior podemos resaltar los siguientes:



- La investigación proporciona una revisión exhaustiva de los métodos para producir hidrógeno a partir de agua utilizando energía solar.
- Se discuten los diferentes procesos, sus ventajas y desventajas, así como su potencial para la producción a gran escala. [14]

PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

A. Problema

La hidrólisis solar es el proceso de separar las moléculas de agua en hidrógeno y oxígeno utilizando la energía solar. Este proceso es limpio y eficiente, y no produce emisiones de gases de efecto invernadero.

Los principales desafíos que limitan la implementación de la hidrólisis solar a gran escala son: La eficiencia de los sistemas actuales de hidrólisis solar es limitada, alcanzando aproximadamente el 10%. Este valor refleja que gran parte de la energía solar empleada en el proceso se disipa en forma de calor. Además, la fabricación y operación de estos sistemas resultan costosas, en parte debido a la necesidad de emplear materiales de alta pureza, a la complejidad inherente a los sistemas y a la requerida capacidad de almacenamiento de energía. Es importante destacar que la producción de hidrógeno a través de la hidrólisis solar solo es viable durante las horas de luz solar, lo que limita aún más su eficacia en términos de disponibilidad temporal. Por lo tanto, es necesario almacenar la energía solar capturada para poder utilizarlo durante las horas de oscuridad.

La producción de hidrógeno mediante hidrólisis solar presenta varias ventajas, como la disponibilidad y abundancia de la fuente de energía primaria (la radiación solar), la ausencia de emisiones de gases de efecto invernadero y la posibilidad de utilizar agua como materia prima. Sin embargo, a pesar de su potencial, existen desafíos técnicos y económicos que limitan su implementación a gran escala. En este sentido, el diseño y desarrollo de un prototipo eficiente y viable para la producción de hidrógeno por hidrólisis solar, como el sistema PRO-H, contribuiría al avance de esta tecnología y permitiría explorar su aplicación en diversos sectores, como el transporte y la generación de energía.

B. Justificación

El problema principal que se abordará en este estudio es la falta de sistemas electrónicos y estructurales eficientes y optimizados para la producción de hidrógeno por hidrólisis solar. Actualmente, existen limitaciones en cuanto a la eficiencia de conversión, estabilidad operativa y costos de implementación de estos sistemas. Además, se requiere un diseño robusto que permita la integración de componentes clave, como paneles solares, electrodos y sistemas de almacenamiento de energía. Por lo tanto, es necesario desarrollar un prototipo, como el sistema PRO-H, que aborde estos desafíos y demuestre su viabilidad técnica y económica.

La producción de hidrógeno mediante hidrólisis solar es una tecnología prometedora con el potencial de

contribuir a la descarbonización de la economía. El hidrógeno es un combustible limpio y eficiente, y no produce emisiones de gases de efecto invernadero. Por lo tanto, su uso podría ayudar a reducir la dependencia de los combustibles fósiles ya combatir el cambio climático.

El proyecto PRO-H tiene como objetivo diseñar y desarrollar un prototipo eficiente y viable para la producción de hidrógeno por hidrólisis solar. El proyecto se centrará en la mejora de la eficiencia de los sistemas de hidrólisis solar y en la reducción de su costo. El proyecto también explorará el uso de sistemas de almacenamiento de energía para garantizar el suministro de hidrógeno durante las horas de oscuridad.

El éxito del proyecto PRO-H contribuiría al avance de la tecnología de hidrólisis solar y permitiría explorar su aplicación en diversos sectores, como el transporte y la generación de energía. También podría ayudar a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y contribuir a la descarbonización de la economía.

El proyecto PRO-H se justifica por los siguientes motivos:

El hidrógeno se destaca como un combustible altamente eficiente y respetuoso con el medio ambiente. Su quema no genera emisiones de gases de efecto invernadero, lo que lo posiciona como una alternativa fundamental para disminuir la dependencia de los combustibles fósiles y abordar el desafío del cambio climático.

La hidrólisis solar es una tecnología prometedora. La hidrólisis solar es un proceso limpio y eficiente para producir hidrógeno a partir de agua y energía solar. El proyecto PRO-H tiene el potencial de mejorar la eficiencia de los sistemas de hidrólisis solar y reducir su costo, lo que podría hacer que esta tecnología sea más viable para su aplicación a gran escala.

El proyecto PRO-H tiene un impacto potencial significativo. El proyecto PRO-H podría contribuir a la descarbonización de la economía al hacer que el hidrógeno sea más accesible y asequible. El proyecto también podría tener un impacto positivo en el sector del transporte, ya que el hidrógeno podría utilizarse como combustible para vehículos de pila de combustible.

El proyecto PRO-H es viable y tiene el potencial de ser un éxito. El equipo del proyecto tiene experiencia en el desarrollo de sistemas de hidrólisis solar y en la gestión de proyectos de investigación. El proyecto también cuenta con el apoyo de un grupo de socios estratégicos que tienen experiencia en el sector del hidrógeno.

Justificación Económica

El sistema PRO-H reduce los costos de producción de hidrógeno, lo que lo haría más competitivo en comparación con los combustibles fósiles. Además, al depender de una fuente de energía gratuita y abundante como la radiación solar, se disminuiría la dependencia de recursos no



renovables y se reducirían los costos asociados a la adquisición de combustibles convencionales.

Justificación Social

La implementación del PRO-H tendría un impacto social positivo. Al utilizar una fuente de energía limpia y renovable, se reduciría la emisión de gases de efecto invernadero y se mejoraría la calidad del aire, lo que beneficiaría la salud y el bienestar de la sociedad en general. Además, al impulsar la adopción de tecnologías más sostenibles, se fomentaría un cambio hacia una matriz energética más limpia y se contribuiría a la lucha contra el cambio climático.

Justificación Ingenieril

Desde el punto de vista ingenieril, el desarrollo de un prototipo como el sistema PRO-H permitiría abordar los desafíos técnicos y optimizar el diseño de los sistemas de hidrólisis solar. Esto incluye mejorar la eficiencia de conversión, la estabilidad operativa y la durabilidad de los componentes. Además, se requeriría la integración de tecnologías como paneles solares, sistemas de almacenamiento de energía y sistemas de control, lo que implicaría la aplicación de conocimientos en electrónica, estructuras y sistemas de energía.

Justificación Ecológica

La producción de hidrógeno por hidrólisis solar presenta beneficios ecológicos significativos. Al optar por la energía solar como fuente principal, se prescinde de la quema de combustibles fósiles, lo cual resulta en la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero y contribuye activamente a la mitigación del cambio climático. Además, al no requerir combustibles fósiles, se reduce la contaminación del agua y el suelo asociada con la extracción y transporte de estos recursos. El sistema PRO-H, al promover la producción de hidrógeno limpio, contribuiría a la conservación del medio ambiente y la sostenibilidad a largo plazo.

II. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

A. Objetivo General

- Desarrollar un sistema electrónico y estructural para un prototipo de producción de hidrógeno por hidrólisis con fuente solar (PRO-H).

B. Objetivos Específicos

- Definir los criterios de diseño, elementos de los electrodos conductores, materiales, panel solar y dimensiones.
- Diseñar el sistema electrónico y estructural para un prototipo para la producción de hidrógeno por hidrólisis con fuente solar (PRO-H).
- Construir el sistema electrónico y estructural para un prototipo para la producción de hidrógeno por hidrólisis con fuente solar (PRO-H).
- Demostrar el funcionamiento del sistema electrónico y estructural para un prototipo para la producción de hidrógeno por hidrólisis con fuente solar (PRO-H).

C. Metodología

La presente investigación se llevó a cabo siguiendo una metodología que abarcó los métodos utilizados para la construcción, diseño y estudio de la funcionalidad de un prototipo. Tipo de Investigación: Investigación Experimental- enfoque cuantitativo; Población: producción de hidrógeno por hidrólisis con fuente solar en sede de Tecnoacademia Cúcuta; Metodología de diseño: Diseño Concurrente.

La metodología de investigación del proyecto PRO-H se dividirá en las siguientes fases:

- Revisión de la literatura: se realizó una revisión de la literatura para identificar el estado del arte en la tecnología solar de división del agua. Esto incluyó una revisión de los diferentes tipos de sistemas solares de separación de agua, los materiales y componentes utilizados en estos sistemas y los desafíos y oportunidades en el campo.
- Diseño del sistema: El diseño del sistema electrónico y estructural del prototipo PRO-H se basó en los resultados de la revisión bibliográfica. El diseño tendrá en cuenta los siguientes factores: la eficiencia del proceso de división solar del agua, el costo del sistema y la durabilidad del sistema.
- Construcción del sistema: El sistema electrónico y estructural del prototipo PRO-H se construyó utilizando el diseño desarrollado en la fase anterior.
- Pruebas del sistema: Se probó el prototipo PRO-H para verificar su funcionalidad y desempeño. La prueba incluirá una medición de la eficiencia del proceso de división solar del agua, el costo del sistema y la durabilidad del sistema.

Finalmente, La metodología de esta investigación se basó en un enfoque de desarrollo tecnológico respaldado por los Niveles de Madurez Tecnológica (TRL). En este contexto, se destaca que el prototipo PRO-H ha alcanzado un nivel TRL 6 en el entorno de laboratorio, tanto en su aspecto electrónico como estructural. Este logro representa un hito significativo, ya que demuestra la funcionalidad efectiva del sistema en condiciones controladas de laboratorio. El nivel TRL 6 implica que el prototipo ha superado las etapas de prueba y validación en un entorno representativo, allanando el camino para su posterior desarrollo y adaptación en situaciones del mundo real. Este enfoque metodológico sólido proporciona una base sólida para avanzar hacia la implementación práctica y la validación en escenarios de campo, marcando un paso importante en la evolución y viabilidad del PRO-H como fuente de energía sostenible.

III. RESULTADOS

A). Selección de componentes del sistema de hidrólisis

Se eligió aluminio como material conductor para el sistema de electrodos debido a su alta conductividad y su



resistencia a la corrosión en presencia de agua, como se puede apreciar en la Fig. 1.

Figura 1. Material de las placas conductoras del prototipo.



Fuente Autores

Se optó por utilizar un panel solar de 80 Watts, de material policristalino, con las dimensiones de ancho y largo: 67 cm x 77 cm, con la combinación con un sistema controlador de carga y baterías de almacenamiento de energía de 12 V para el sistema fotovoltaico. Esta elección se hizo con el propósito de alimentar el sistema de hidrólisis y lograr su autosostenibilidad, tal como se ilustra en la Fig. 2.

Figura 2. Sistema fotovoltaico seleccionado.

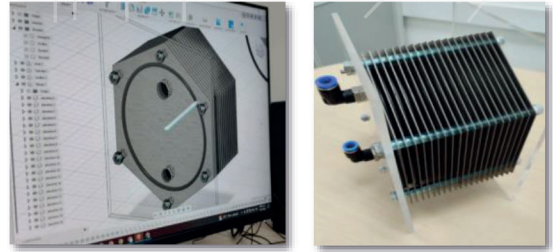


Fuente Autores

B). Diseño del sistema electrónico y estructural.

En una etapa inicial, se llevaron a cabo dos diseños con variaciones en el área de las placas conductoras utilizadas para el proceso de hidrólisis, con el objetivo de determinar qué estructura generaba una mayor cantidad de hidrógeno. En el primer diseño, cada placa conductora se configuró en forma de un hexágono, con un área de 25 cm². Se ensamblaron 20 de estas placas utilizando tornillos y tuercas, tal como se puede observar en la Fig. 3.

Figura 3. Primer diseño de la estructura donde se realiza la hidrólisis



Fuente Autores

En la segunda etapa se realizó otra estructura la cual cada placa conductora se configuró en forma de un hexágono, con un área de 15 cm². Se ensamblaron 20 de estas placas utilizando tornillos y tuercas, tal como se puede observar en la Fig. 4.

Figura 4. Segundo diseño de la estructura donde se realiza la hidrólisis



Fuente Autores

C). Construcción del prototipo

La estructura metálica del prototipo se construyó utilizando tubos metálicos. En esta estructura se instaló el panel solar, el cual fue inclinado a un ángulo de 70° para maximizar la captación de energía solar. Además, se ensambló el segundo diseño de las placas conductoras y se implementó el sistema de baterías. Para llevar a cabo la separación molecular del agua en iones de hidrógeno y oxígeno, se energizó positiva y negativamente un recipiente. Además, se agregó un segundo recipiente, conocido como trampa de agua, el cual se llenó hasta la mitad. Esto se hizo para canalizar el hidrógeno generado a través de una manguera, como se muestra en la Fig. 5.

Figura 5. Ensamble de los componentes del prototipo de hidrólisis PRO-H.



Fuente Autores

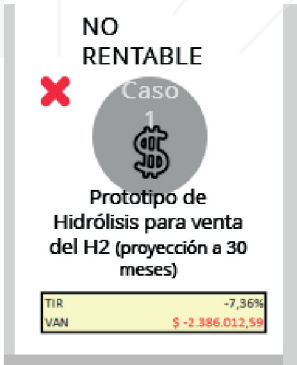
D). Pruebas de Validación del prototipo

Se llevaron a cabo pruebas de validación en las instalaciones de Tecnoacademia, nodo Cúcuta, donde se obtuvo un flujo de hidrógeno de 0.5 l/s del prototipo. Este flujo fue alimentado por los 12 V proporcionados por el panel solar, el cual se ubicó estratégicamente para captar la energía solar disponible.

Además, se realizó un análisis de viabilidad económica y jurídica para su aplicación en Colombia. En cuanto a la viabilidad económica, se plantearon tres casos de aplicación del hidrógeno: el primero, un prototipo de hidrólisis para la venta de H₂ (proyección a 30 meses); el segundo, un prototipo de hidrólisis como sustituto del gas domiciliario (proyección a 30 meses); y el tercero, un prototipo de hidrólisis como sustituto del combustible en maquinaria agrícola de alta rotación.

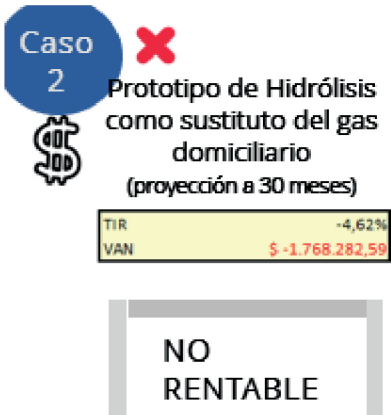
El análisis de TIR (Tasa Interna de Retorno) y VAN (Valor Actual Neto) reveló que el caso número tres resultó ser el más rentable, considerando el prototipo propuesto como un sistema portable, adaptable y autosostenible para el campo. Se destacó que los otros dos casos son rentables en el contexto de una planta de hidrógeno a gran escala, lo cual se muestra en las Fig. 6 a Fig. 8.

Figura 6. Análisis de TIR y VAN del caso 1



Fuente Autores

Figura 7. Análisis de TIR y VAN del caso 2



Fuente Autores

Figura 8. Análisis de TIR y VAN del caso 3



Fuente Autores

En cuanto a la viabilidad jurídica, se realizaron análisis exhaustivos de las normas, leyes y directrices existentes en Colombia relacionadas con la generación de hidrógeno, y se obtuvieron los siguientes resultados:

LEY 2099 DE 2021: El artículo 22 establece que "el Gobierno nacional desarrollará la reglamentación necesaria para la promoción y desarrollo de las tecnologías de captura, utilización y almacenamiento de carbono (CCUS)" en relación con el desarrollo de tecnologías para la producción de hidrógeno. Sin embargo, las reglamentaciones específicas aún no han sido desarrolladas en detalle.

Hoja de Ruta del Hidrógeno en Colombia-2022: cuyo objetivo contribuir al desarrollo e implementación del hidrógeno de bajas emisiones en Colombia, fortaleciendo así el compromiso del Gobierno con la reducción de emisiones establecida en los objetivos del Acuerdo de París de 2015.

Decreto 1476 de 2022: Este decreto reglamenta los artículos 21 y 23 de la Ley 2099 de 2021 y adiciona el Título VII a la Parte 2 del Libro 2 del Decreto 1073 de 2015. Su propósito es establecer disposiciones para promover la innovación, investigación, producción, almacenamiento, distribución y uso del hidrógeno. En el contexto de la comercialización del hidrógeno producido, está sujeta a la supervisión del Ministerio de Minas y requiere certificación. Además, la hoja de ruta del hidrógeno brinda viabilidad a los proyectos de innovación en la producción de hidrógeno verde.

En resumen, se identificaron marcos legales y directrices en Colombia que respaldan y promueven la generación de hidrógeno. Sin embargo, algunas reglamentaciones específicas aún están en proceso de desarrollo. Se destaca la importancia de la certificación y supervisión del Ministerio de Minas para la comercialización del hidrógeno y el apoyo a proyectos de innovación en la producción de hidrógeno verde según la hoja de ruta del hidrógeno.

CONCLUSIONES

Se seleccionó el segundo diseño de la estructura de las placas conductoras debido a su capacidad para contener una mayor cantidad de agua, lo que permite sumergir por completo las placas durante el proceso de hidrólisis.

Dado que el prototipo desarrollado utiliza exclusivamente agua pura sin aditivos químicos, se concluye que el flujo volumétrico de hidrógeno obtenido es de 0.5 l/s. Se recomienda realizar pruebas adicionales agregando sales u otros elementos químicos utilizados en estudios anteriores, pero se debe tener en cuenta que esto afectaría la naturaleza pura del proceso de hidrólisis.

Por lo tanto, si se desea realizar la hidrólisis únicamente con agua, es necesario realizar pruebas adicionales aumentando el voltaje y la corriente para determinar el punto óptimo de separación molecular del hidrógeno y el agua. Esto permitiría obtener un mayor flujo de hidrógeno en un tiempo más reducido. Además, se debe considerar que el sistema se alimenta de energía fotovoltaica, por lo que la obtención de hidrógeno está directamente relacionada con la energía captada por el panel solar.

La rentabilidad del proyecto está estrechamente relacionada con el uso que se le dé al hidrógeno producido. Es importante mantener un equilibrio entre el uso del agua, un recurso vital para la vida, y la aplicabilidad del hidrógeno en un proceso específico. Se recomienda enfocarse en una escala pequeña, a menos que se desee comercializar el hidrógeno, y utilizarlo para una tarea específica.

El diseño de prototipos y dispositivos para la producción de hidrógeno por hidrólisis es fundamental para el desarrollo y la viabilidad de esta tecnología. Estos avances han permitido mejorar la eficiencia del proceso y reducir costos, así como explorar nuevas formas de producir hidrógeno a partir de fuentes renovables. Se destaca que la producción de hidrógeno por hidrólisis es una solución prometedora y viable para la producción de energía en el futuro. Sin embargo, es necesario continuar con la investigación y el desarrollo para lograr una mayor eficiencia y reducir costos, asegurando así su competitividad y sostenibilidad a largo plazo.

La optimización del prototipo requiere una reducción en la distancia entre las placas de los electrodos para mejorar su eficiencia. Además, es esencial llevar a cabo un estudio detallado de la composición de los solutos químicos adicionados al agua, así como determinar qué calidad de agua sería la más adecuada para el proceso. También es crucial establecer una metodología precisa para la preparación de la solución que se suministrará con el fin de generar hidrógeno de manera óptima. Estos ajustes y consideraciones son esenciales para avanzar en la eficacia y eficiencia del prototipo PRO-H, allanando el camino hacia su aplicabilidad en la producción de hidrógeno de manera más efectiva y sostenible.

En conclusión, la investigación en torno al prototipo PRO-H y la producción de hidrógeno solar ofrece una perspectiva prometedora hacia la generación de energía limpia y sostenible. Las investigaciones previas han proporcionado una sólida base de conocimiento, destacando las diferentes tecnologías, componentes y desafíos en este campo. Para lograr una implementación exitosa y eficiente del PRO-H, se requieren consideraciones clave, como la mejora de la eficiencia del proceso, la exploración de soluciones de almacenamiento de energía, una evaluación detallada de costos, el cumplimiento de normativas y la diversificación de aplicaciones potenciales. Estos enfoques pueden guiar el desarrollo futuro del prototipo y contribuir a una fuente de energía más sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Jain, V., Balaji, G., & Chandrasekaran, N. (2020). Recent advances in solar-assisted water electrolysis for hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(15), 8349-8371.
- [2] Liu, S., Xiong, Y., Zhang, D., & Ye, J. (2021). Advances in solar-driven water splitting for hydrogen production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 145, 111018.
- [3] Feng, C., Xie, Z., Zhou, T., Zhang, H., Zhang, Z., & Yang, G. (2018). A review of solar-assisted electrolysis for hydrogen production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 3070-3083.
- [4] Sharif, N., Rehman, F., Ullah, R., Akhtar, M. S., & Akhtar, N. (2020). Advances in photocatalytic and photoelectrochemical water splitting for



hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(14), 7743-7765.

[5] Rashid, M. S., Tripathy, A., & Gupta, V. (2019). Advances in solar hydrogen production: Photocatalytic and photoelectrochemical perspectives. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 40, 93-131.

[6] Tominaga, H., Nakamura, R., & Kuriki, R. (2020). Recent progress in photoelectrochemical water splitting using metal oxide photoanodes. *Journal of Materials Chemistry A*, 8(43), 22661-22685.

[7] Ley 2099. (2021). Ley 2099 de 2021. Recuperado de <https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/LEY%202099%20DEL%2021%20DE%20DICIEMBRE%20DE%202021.pdf>

[8] Gobierno de Colombia. (2022). Hoja de Ruta del Hidrógeno en Colombia-2022. Recuperado de <https://minenergia.gov.co/documents/10180/4377979/3.+Hoja+de+Ruta+Hidrogeno.pdf>

[9] Chen, Y., Zhang, J., Li, X., & Li, C. (2019). Recent advances in photocatalysis for hydrogen production. *Chemical Society Reviews*, 48(14), 3841-3878.

[10] Das, R., Tripathy, A., & Das, T. (2020). Recent advances in photocatalytic hydrogen production using semiconductor nanostructures. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 43, 100340.

[11] Alonso, L. y Cantero, M. (2019). Una revisión sobre las tecnologías de producción de hidrógeno solar. *Revisiones de energía renovable y sostenible*, 107, 1094-1104. doi:10.1016/j.rser.2019.04.020.

[12] Adhikari, P. y Bandyopadhyay, SK (2017). Producción de hidrógeno solar: una revisión de las tecnologías. *Revista internacional de energía de hidrógeno*, 42 (31), 18257-18275. doi:10.1016/j.ijhydene.2017.05.098.

[13] Krishnamurthy, S. y Gokhale, MS (2016). Producción solar de hidrógeno: Estado actual y perspectivas de futuro. *Revisiones de energía renovable y sostenible*, 64, 101-112. doi:10.1016/j.rser.2016.05.010.

[14] Ren, Y., Wang, J. y Zhang, L. (2015). Producción de hidrógeno por división solar del agua: una revisión. *Revista de fuentes de energía*, 281, 359-382. doi:10.1016/j.jpowsour.2015.01.058.

[15] Adhikari, P., Bandyopadhyay, SK y Goswami, DY (2018). Una revisión de las tecnologías de producción de hidrógeno solar: estado, desafíos y oportunidades. *Revisiones de energía renovable y sostenible*, 90, 101-118. doi:10.1016/j.rser.2018.01.019.

[16] Li, Z., Wang, S. y Zhang, X. (2018). Producción de hidrógeno solar: una revisión del estado actual y las perspectivas futuras. *Gestión y conversión de energía*, 162, 54-73. doi:10.1016/j.enconman.2017.08.045.

[17] Park, J. y Choi, J.-W. (2019). Una revisión de las tecnologías de producción de hidrógeno solar: rendimiento, costo e impacto ambiental. *Revista Internacional de Energía de Hidrógeno*, 44(13), 6669-6686. doi:10.1016/j.ijhydene.2019.02.149.

[18] Pless, S. y Erhart, P. (2019). Producción de hidrógeno solar: una revisión de tecnologías y avances recientes. *Revista de Almacenamiento de Energía*, 21, 100495. doi:10.1016/j.est.2019.100495.

[19] Sánchez-Polo, MA e Iborra, JA (2019). Producción solar de hidrógeno: Una revisión de las principales tecnologías y su aplicación en sistemas reales. *Revisiones de energía renovable y sostenible*, 114, 1092-1112. doi:10.1016/j.rser.2019.04.054

[20] Moustakas, K., & Karagiannakis, G. (2017). *Renewable Hydrogen Technologies: Production, Purification, Storage, Applications and Safety*. John Wiley & Sons.

[21] Zhang, Y., Zhai, Y., Jiang, B., & Liu, Z. (2019). An Overview of Electrolysis Technologies for Hydrogen Production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(36), 19480-19499. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.04.155>

[22] Li, H., Li, Y., Liang, S., & Li, L. (2016). A Review of Water Electrolysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(28), 12194-12211. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.05.142>

[23] Peterson, A. A., & Nørskov, J. K. (2012). Activity descriptors for CO₂ electroreduction to methane on transition metal catalysts. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 3(2), 251-258. <https://doi.org/10.1021/jz201461p>



Caracterización del Ácido Poliláctico (PLA) en filamento y piezas producidas por tecnología FDM

Reyes-Florez Y. G.¹, Parra-Benavides N.², Flechas J.M.³, Toro-Toro L. F.⁴

¹ Universidad Santo Tomás, GEAMEC, Bogotá-Colombia, yamid.reyes@usta.edu.co

² Universidad Santo Tomás, GEAMEC, Bogotá-Colombia, nataliaparrab@usantotomas.edu.co

³ ARROWTI 3D, Bogotá-Colombia, jose.flechas@arrowti3d.com

⁴ SENA Servicio Nacional de Aprendizaje, GICEMET, Bogotá-Colombia, lfotoro9@sena.edu.co

Resumen— La impresión 3D ha transformado la producción de objetos complejos mediante la superposición de capas de material. El ácido poliláctico (PLA) se destaca en la tecnología FDM. Sin embargo, las propiedades del PLA se ven afectadas por varios factores, como la calidad del filamento y los parámetros de impresión. Se plantea la necesidad de una caracterización mecánica del PLA y las piezas impresas para comprender mejor su rendimiento. El objetivo principal es caracterizar propiedades mecánicas del PLA en forma de filamento y en piezas impresas mediante FDM. Se realizan pruebas mecánicas a tracción, para evaluar el rendimiento mecánico. Las curvas esfuerzo-deformación se analizan para entender el comportamiento mecánico bajo diversas condiciones de impresión. Los resultados muestran variaciones en los módulos de elasticidad y esfuerzos máximos de tensión en función de las combinaciones de orientación y sentido de impresión. Este trabajo impulsa el conocimiento sobre la caracterización mecánica del PLA en el contexto de la fabricación aditiva.

Palabras clave— Impresión 3D, ácido poliláctico PLA, FDM, caracterización mecánica, parámetros de impresión.

I. INTRODUCCIÓN

LA manufactura aditiva, también conocida como Impresión 3D, ha revolucionado la forma en que se producen objetos y componentes en diversos campos industriales. Esta tecnología permite la creación de piezas tridimensionales mediante la superposición de capas sucesivas de material, ofreciendo ventajas como la personalización, la reducción de costos, tiempos de producción y la posibilidad de fabricar geometrías complejas.

El ácido poliláctico (PLA) ha emergido como uno de los materiales más prometedores en la fabricación aditiva, específicamente en la tecnología de deposición de material fundido (FDM, por sus siglas en inglés). [1] La caracterización exhaustiva del filamento de PLA y las piezas producidas mediante FDM es esencial para comprender las propiedades y el rendimiento de estos productos. [2] En este artículo científico, se presenta una investigación detallada sobre la caracterización del PLA en términos de sus propiedades mecánicas tanto en el filamento como en las piezas impresas.

El PLA es un polímero biodegradable obtenido a partir de recursos renovables, lo que lo convierte en una opción

atractiva para aplicaciones sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. Sin embargo, las propiedades del PLA pueden verse afectadas por varios factores, como la calidad del filamento utilizado y los parámetros de impresión en la tecnología FDM. Por lo tanto, es crucial investigar en detalle cómo estos factores influyen en las características finales del material y las piezas impresas. [3]

Además, se analizan las propiedades mecánicas, como la resistencia a la tracción, para comprender el rendimiento del PLA en diferentes condiciones de impresión.

La caracterización del filamento es esencial evaluar las propiedades del PLA en las piezas impresas mediante FDM. [4] Esto implica la realización de pruebas mecánicas para determinar la resistencia, rigidez y tenacidad de las piezas, así como el análisis estructural para examinar la distribución y orientación de las fibras de PLA.

Este artículo científico aborda la caracterización del ácido poliláctico en términos de esfuerzo de tensión máximo, deformación a esfuerzo de tensión máximo y deformación a esfuerzo de ruptura máximo en filamento y espécimen impresas mediante tecnología FDM. El conocimiento obtenido a partir de esta investigación proporcionará información de los parámetros de impresión y el desarrollo de aplicaciones futuras del PLA en la fabricación aditiva.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Material

El material de impresión es Acido Poliláctico (PLA) marca ARROW TI 3D, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, la presentación es rodete de 1kg en forma de filamento con diámetro 1,75mm de color verde seda.



FIGURA 1. FILAMENTO PLA VERDE SEDA MARCA ARROWTI3



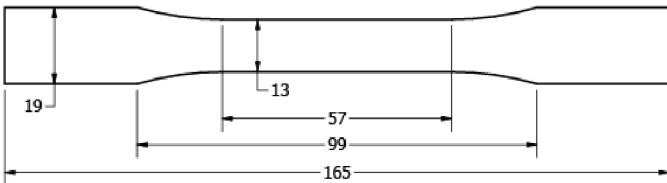
FUENTE AUTORES

B. Método y parámetros de manufactura

La manufactura aditiva se realiza con la técnica de modelado por deposición de filamento FDM en la impresora Zortrax M200. La geometría de impresión es un espécimen de acuerdo con la norma ASTM D368-14 tipo I, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, para ensayos cuasi estáticos a tracción.

La geometría se modela en Inventor2023 y se exporta en extensión STL. En el software Z-SUITE V 2.26.0.0, nativo de Zortrax, se configuran la orientación de impresión, relleno y demás parámetros de impresión.

FIGURA 2. DIMENSIONES ESPÉCIMEN ASTM D638 TYPE I
ESPESOR 7MM

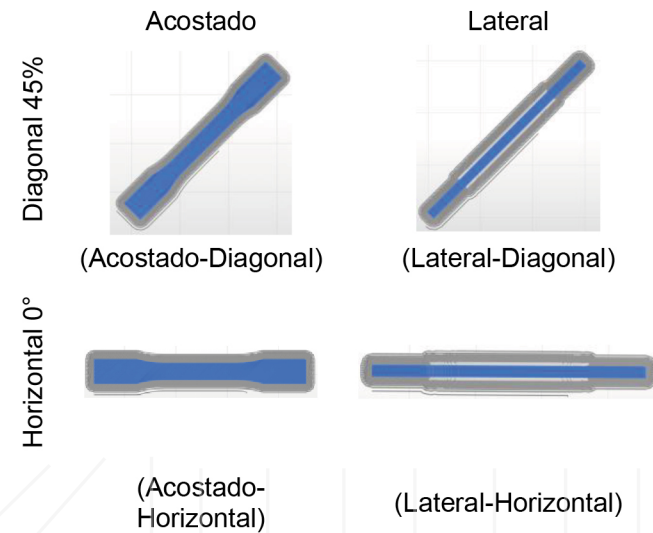


FUENTE AUTORES

La geometría puede ser impresa en posiciones y orientaciones múltiples. La investigación restringe la orientación a acostado y lateral, el sentido se define horizontal y diagonal 45° respecto al eje x de la máquina. En la Tabla se identifican las cuatro combinaciones posibles entre orientación y sentido.

TABLA 1

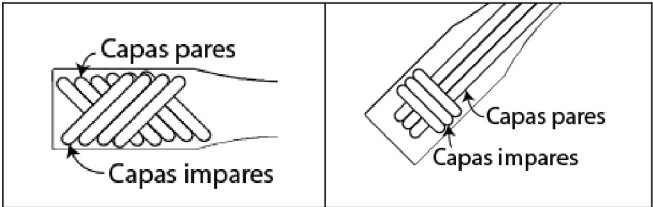
DISPOSICIÓN DE IMPRESIÓN ESPÉCIMENES (VISTA DE PLANTA)



FUENTE AUTORES

Para el patrón de relleno macizo de los especímenes, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se tiene perpendicularidad entre las direcciones de las capas y diferencia entre la dirección del relleno y las capas del contorno según sentido.

FIGURA 3. DIRECCIÓN DE IMPRESIÓN DEL PATRÓN DE RELLENO



FUENTE AUTORES

Los parámetros de impresión son definidos por los autores debido a la carencia de datos por parte del fabricante, se toma como referencia valores típicos para PLA. El espécimen se fabrica con dos paredes externas con la silueta y el relleno es del 100% con un patrón de zigzag. La adherencia a la palca de impresión se realiza mediante *raft* y se usan soportes para la impresión lateral.

TABLA 2
PARÁMETROS DE IMPRESIÓN

Parámetros	Unidad	Valor
Diámetro de filamento	mm	1,75
Diámetro de boquilla	mm	0,4
Altura de capa	mm	0,19
Paredes	-	2
Adherencia a la placa	-	Raft
Orientación	°	0, 45
Temperatura de boquilla	°C	200
Temperatura de cama	°C	45
Velocidad de impresión	mm/s	60
Velocidad de retracción	mm/s	36
Distancia de retracción	mm	1,2
Relleno	%	100
Dirección del relleno	°	0 – 90
Material de impresión	-	PLA
Programa Slicer	z-suite	2.26.0.0

FUENTE AUTOR

Una vez se configuran los parámetros en el software Z-SUITE se genera un código en extensión ZCODE que se ingresa a la impresora, por cada configuración se imprimen tres repeticiones.

C. Caracterización mecánica

Las pruebas de estrés se realizaron en una máquina universal de ensayos Shimadzu (Shimadzu, Japón) según la norma ISO 527-2. Las deformaciones se midieron luego de la fractura

utilizando un calibrador y una velocidad de prueba de 5 mm/min. El módulo de elasticidad se determinó promediando la regresión lineal de las gráficas de tensión de deformación presente en el rango de deformación entre 0,05% y 0,1%.

FIGURA 4. MONTAJE DEL ENSAYO A TENSIÓN (SHIMADZU)

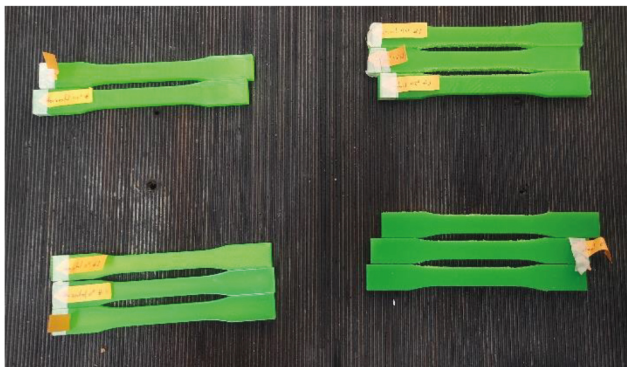


FUENTE AUTOR

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los tres especímenes macizos, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, por cada combinación se llevaron hasta la fractura, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

FIGURA 5. ESPECÍMENES IMPRESOS



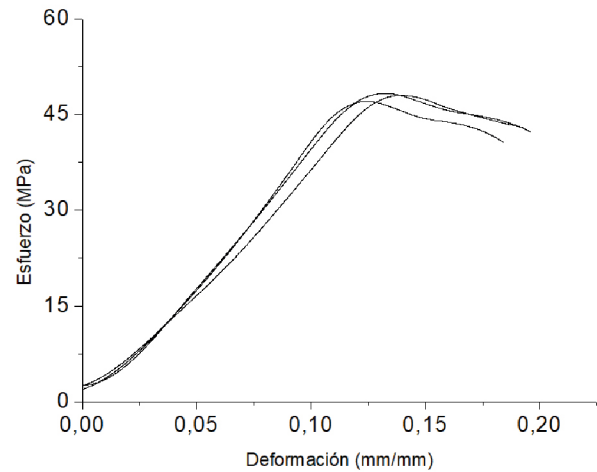
FUENTE AUTOR

Las curvas esfuerzo deformación del filamento tienen como diferencia principal la extensión de la deformación, esto se debe al cambio de la velocidad entre los ensayos, se decidió realizar el ensayo con mayor velocidad debido a que estaba tomando demasiado tiempo y la norma limita el tiempo del ensayo.

En la combinación Acostado-Diagonal, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se obtuvo un módulo de elasticidad promedio de 422,4 MPa, mientras que, en la combinación Acostado-Horizontal, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se registró un módulo de elasticidad promedio de 414,2 MPa. Estos valores se

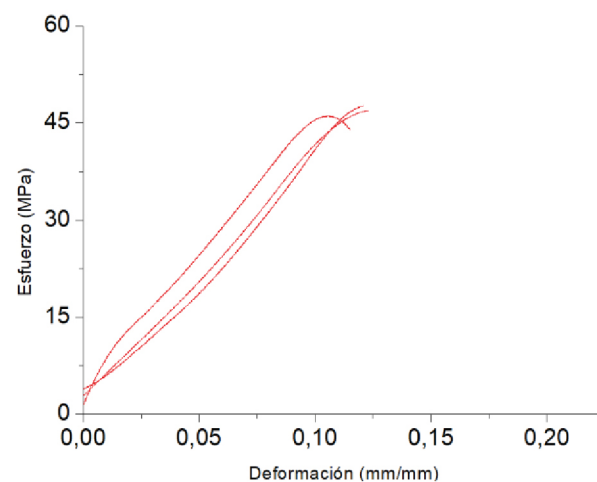
encuentran cercanos entre sí, y se observa en las curvas una tendencia similar en las pendientes. No obstante, la diferencia más significativa se presenta en el Esfuerzo de Tensión Máximo, siendo de 46,7 MPa para la combinación Acostado-Diagonal y de 48,8 MPa para la combinación Acostado-Horizontal.

FIGURA 6. CURVA ESFUERZO DEFORMACIÓN CASO ACOSTADO-DIAGONAL



FUENTE AUTOR

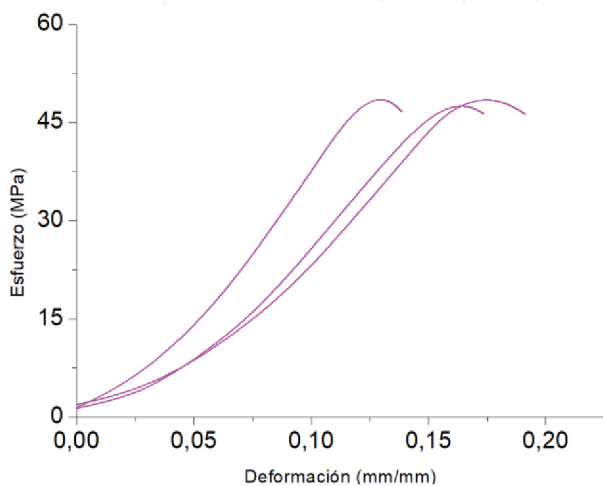
FIGURA 7. CURVA ESFUERZO DEFORMACIÓN CASO ACOSTADO-HORIZONTAL



FUENTE AUTOR

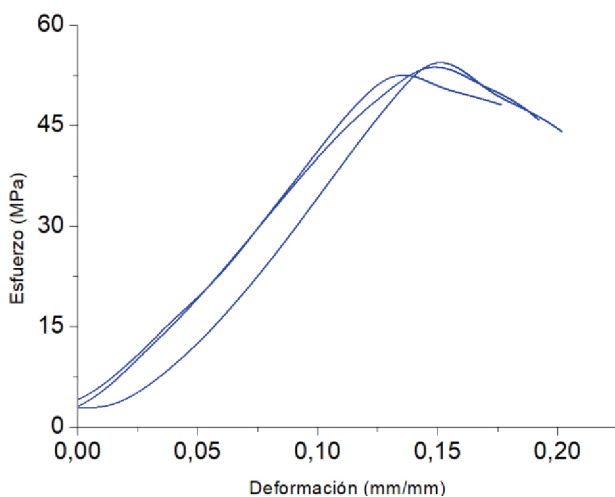
En cuanto a la combinación Lateral-Diagonal, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se obtuvo un módulo de elasticidad promedio de 283,3 MPa, mientras que, en la combinación Lateral-Horizontal, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se registró un módulo de elasticidad promedio de 349,9 MPa. además, el Esfuerzo de Tensión Máximo es de 48,2 MPa para la combinación Lateral-Diagonal y de 54,3 MPa para la combinación Lateral-Horizontal.

FIGURA 8. CURVA ESFUERZO DEFORMACIÓN CASO LATERAL-DIAGONAL



FUENTE AUTOR

FIGURA 9. CURVA ESFUERZO DEFORMACIÓN CASO LATERAL-HORIZONTAL



FUENTE AUTOR

En comparación con investigaciones similares, Letcher [5] para especímenes acostados horizontales, con espesor 6mm, obtuvo Esfuerzo de tensión máximo promedio de 58 MPa y módulo de elasticidad de 3,5 GPa. El valor de esfuerzo de tensión es cercano a los obtenidos en esta investigación, pero el módulo de elasticidad es la décima parte del referenciado. Por último, la elongación a ruptura de Letcher está entorno al 3%, en este caso está en promedio en el 15%. Por otra parte, Raja [6] con probetas de espesor 3mm determinó un módulo de elasticidad de 3 GPa. Ciftci [7] estimó módulos de elasticidad cercanos a 105 MPa.

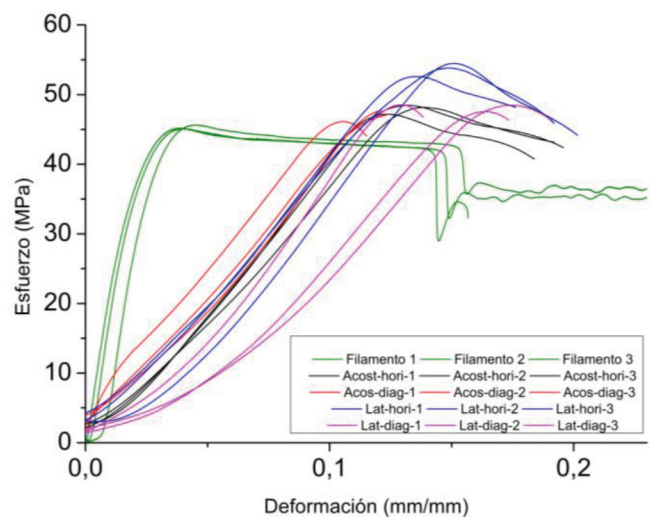
FIGURA 10. EJEMPLO ESPECÍMENES FACTURADOS



FUENTE AUTOR

Para el caso del filamento fue necesario usar una máquina con una celda de carga más pequeña (5kN) y con mayor sensibilidad.

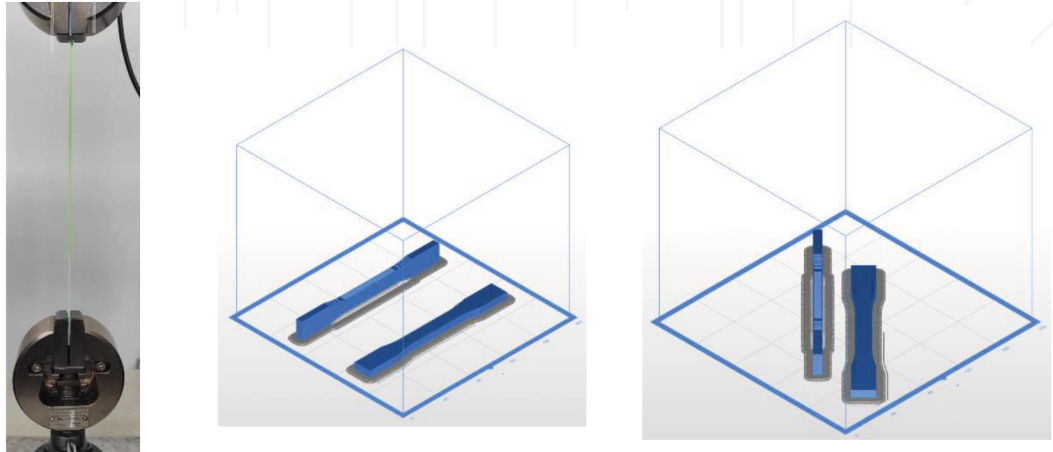
FIGURA 11. CURVA ESFUERZO DEFORMACIÓN ESPECÍMENES Y FILAMENTO



FUENTE AUTOR

TABLA 3

Comparación de propiedades mecánicas entre filamento y espécimen impreso



Propiedades mecánicas	filamento Ø1,75mm	Acostado-Horizontal	Lateral-Horizontal	Acostado-Diagonal	Lateral Diagonal
Módulo de elasticidad (MPa)	2181,6	414,24	349,86	422,4	283,3
Esfuerzo de tensión máximo (MPa)	45,3	48,85	54,3	46,7	48,2
Deformación a esfuerzo de tensión máximo	4,2%	13,2%	15,6%	11,7%	16,2%
Deformación a esfuerzo de ruptura máximo	31,7%	19,1%	20,4%	12%	16,8%

IV. CONCLUSIONES

Comparando con investigaciones similares, se encontraron módulos de elasticidad en un amplio rango, evidenciando la influencia de parámetros como la calidad dimensional, la porosidad, la unión intercapas e intracapas y, esencialmente, la composición química de cada tipo de PLA en particular. Este último aspecto es poco mencionado en las investigaciones.

Se determinó que existen diferencias entre las configuraciones de impresión, sin embargo, hay que profundizar para identificar si son estadísticamente significativas las diferencias tanto entre las impresiones acostadas y laterales, como entre las diagonales y horizontales.

Los fenómenos de recristalización durante el proceso de deposición del material incrementan la elasticidad, lo cual se manifiesta en un aumento significativo de la deformación a esfuerzo de tensión máximo, que puede llegar a ser tres o incluso cuatro veces mayor.

Para lograr una comprensión más profunda de este fenómeno, es necesario emplear métodos de caracterización mecánica avanzados, así como caracterización térmica y de

resistencia térmica. También es fundamental identificar los mecanismos de fractura en polímeros impresos mediante manufactura aditiva, capa por capa, utilizando filamento.

Asimismo, se deben realizar simulaciones que consideren la adherencia entre capas y tener en cuenta posibles porosidades causadas por errores de proceso.

Para investigaciones futuras se considera explorar la velocidad, temperatura, patrón y porcentaje de relleno y la variabilidad de la calidad del filamento, en las propiedades mecánicas del PLA, con el fin de profundizar en la caracterización del filamento.

AGRADECIMIENTOS

Los autores reconocen las contribuciones de ARROWTI3D quienes dispusieron la materia prima. Agradecen el financiamiento por parte de la Universidad Santo Tomás USTA a través del Código interno del proyecto 157 y el proyecto código BOG-2023-IDT013.



REFERENCIAS

- [1] M. d. R. Salazar-Sánchez, J. A. Cañas-Montoya y H. S. Villada-Castillo, «Biogenerated polymers: an environmental alternative,» *DYNA*, vol. 87, nº 214, 2020.
- [2] V. Andronov, L. Beránek, V. Krůta, L. Hlavůňková y Z. Jeníková, «Overview and Comparison of PLA Filaments Commercially Available in Europe for FFF Technology,» *Polymers*, vol. 15, nº 14, p. 3065, 2023.
- [3] J. E. B. Calderon y M. A. V. Peña, «Effect of the different printing variables on the modulus of elasticity for the PLA-CF in 3D printing,» *Braz. J. Develop*, vol. 9, nº 05, pp. 17345-17359, 2023.
- [4] W. B y P. JM, «The Effects of PLA Color on Material Properties of 3-D,» *Additive Manufacturing*, vol. 8, pp. 110-116, 2015.
- [5] M. W. Todd Letcher, «MATERIAL PROPERTY TESTING OF 3D-PRINTED SPECIMEN IN PLA ON AN ENTRY-LEVEL 3D PRINTER,» de *Proceedings of the ASME 2014 International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, Montreal, 2014.
- [6] S. Raja, E.Muthukumaran y Jayakrishna.K, «A Case Study of 3D Printed PLA and Its Mechanical Properties,» *Materials Today: Proceedings*, nº 5, pp. 11219-11226, 2018.
- [7] F. CIFTCI, M. GEZEK y C. B. USTUNDAG, «MECHANICAL CHARACTERIZATION OF 3D PRINTED PLA,» de *4th INTERNATIONAL CONGRESS ON 3D PRINTING (ADDITIVE MANUFACTURING) TECHNOLOGIES AND DIGITAL INDUSTRY*, Antalya, 2019.

SOOTHE - Dispositivo de terapia dirigida por el usuario, para tratamiento del túnel del carpo

Salguero Javier, Andrés Prias, Ayala Gustavo
{jsalguero, apriasj, gayalaa}@ucentral.edu.co

Resumen—Las amplias jornadas de trabajos manuales, que implican movimientos repetitivos, han desencadenado la tendencia a desarrollar el síndrome del túnel del carpo. Este síndrome se manifiesta con fuertes dolores, entumecimiento y hormigueo, debido a la inflamación y un aumento de presión articular que afecta al nervio mediano. Para mitigar estas manifestaciones se plantea el prototipo funcional expuesto en este documento. Con este dispositivo, el usuario tendrá la posibilidad de acceder fácilmente a un tratamiento eficaz y no invasivo, que consta principalmente de electroestimulación por voltaje, series de estiramientos específicos, los cuales son monitoreados. Además, su correcta ejecución es controlada a través de sensores.”

Palabras clave—Túnel del carpo, electroestimulación, estiramientos, tratamiento.

I. INTRODUCCIÓN

Es fundamental entender el origen del síndrome del Túnel del carpo y cuáles son las causas por las que puede presentarse. Esta afectación es ocasionada por un aumento de presión en el nervio mediano ubicado en la muñeca, se presenta por movimientos repetitivos, posturas incorrectas o por el aumento de fuerza en la compresión del músculo.

El nervio mediano es un nervio mixto conformado por la unión de cordones laterales y mediales del plexo braquial; este a su vez se encuentra rodeado por el ligamento carpiano. A continuación, en la Figura 1, se muestra una descripción anatómica de la mano junto con sus partes.

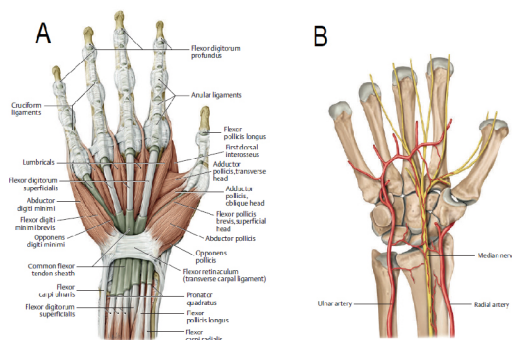


Figura 1. A: Distribución de los músculos de la mano, B: Ubicación del nervio mediano, [1]

En la Figura 2 podemos ver los músculos más importantes de la parte superior de la mano (abductores y flexores) que permiten dos tipos de movimiento:

- Dirección arriba y abajo
- Dirección Lado izquierdo y Lado derecho

Estos movimientos generan un desgaste constante. Para disminuirlo, se presenta el retináculo (señalado como 1), encargado de disminuir el impacto que tienen los tendones cuando los músculos se contraen por el movimiento ocasionado en la mano. El nervio mediano (señalado como 2), tiende a estar ubicado en la mitad de la muñeca, y los tendones flexores (señalados como 3), limitan el rango máximo de movimiento.

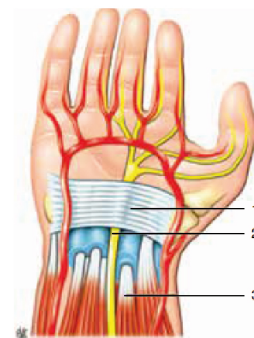


Figura 2. 1. Distribución de retináculo, 2. Nervio mediano y 3. Tendones flexores en la mano, [2]

También es importante tener en cuenta los movimientos generados en los dedos. Aunque sea la parte de la mano más alejada de la zona del nervio mediano, sus movimientos ocasionan una pequeña pero progresiva afectación. Esta depende del tipo de movimiento que se genere en los dedos su frecuencia así como el ángulo del mismo. La Figura 3 muestra los rangos de flexión y movimientos máximos para la mano.

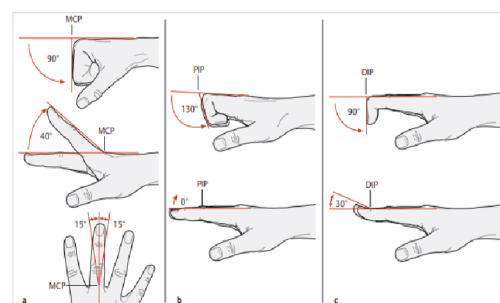


Figura 3. Rangos máximos de movimiento de los dedos, [9]

En la vida cotidiana, los movimientos previamente mencionados operan en conjunto y forman parte de nuestras actividades diarias. Un ejemplo de estas actividades es el trabajo en computadoras, donde es común el uso excesivo de los dedos con el teclado, lo que lleva a movimientos repetitivos de la mano durante periodos prolongados. Por su parte, la interacción con el ratón incrementa la presión negativa en la zona del nervio mediano, llegando incluso al área del antebrazo[2].

En la Figura 4, es posible observar las maneras correctas e incorrectas de sujetar el ratón. También se presentan rangos de movimiento que involucran toda la mano, como se muestra a continuación:

1. Dirección arriba y abajo
2. Dirección Lado izquierdo y Lado derecho
3. Giro 360°

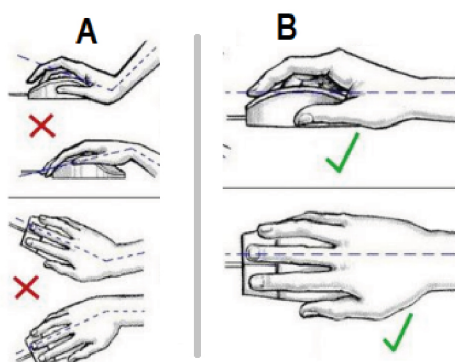


Figura 4. Ubicación de la mano en el ratón en A: Posición incorrecta y B: Posición correcta, [9]

I-A. Población objetivo y contexto nacional

En un estudio de la Universidad Nacional, se identifica una empresa floricultora en la que su personal, con más de 10 años de vinculación, presenta indicios de túnel del carpo (46,3%). La edad promedio en la que presentan síntomas está entre los 40 y 50 años [3]. En el sector de la salud, las enfermeras que realizan el corte de esparadrapo suelen presentar el síntoma después de 4 o 5 años. En general, se observa una tendencia de presencia del síndrome del túnel del carpo de 0,34 por cada 1000 habitantes en las edades de 20 a 24 años hasta 9,42 por cada 1000 habitantes en las edades de 55 a 59 años. Este estudio diagnóstico fue realizado desde 2009 hasta 2019, encontrando un aumento en las edades de 40 a 44 (de 3,11 en 2009 a 5,34 en 2019 por cada 1000 habitantes), de 45 a 49 (de 3,66 en 2009 a 8,66 en 2019 por cada 1000 habitantes) y de 50 a 54 años (de 5,57 en 2009 a 11,61 en 2019 por cada 1000 habitantes) [4].

Lo anterior es solo un caso de los múltiples que existen en el país. Por este motivo, el Ministerio del Trabajo emite el decreto 1477 del 2014 para actualizar la tabla de enfermedades

laborales de la ley 1562 del 2012, donde definen que el síndrome del túnel carpiano es considerado una enfermedad laboral. Este síndrome es la que más casos presenta para el año 2013, con porcentajes entre el 20 y 40 %, seguido del lumbago con porcentajes entre el 3 y 8 %.

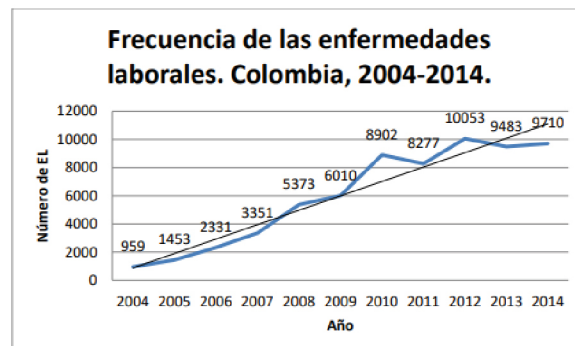


Tabla I
FRECUENCIA DE LA ENFERMEDAD LABORAL EN COLOMBIA ENTRE LOS AÑOS 2004 Y 2014, [5]

I-B. Tratamientos actuales

Una vez se tienen síntomas (leves o fuertes) se pueden realizar las siguientes intervenciones:

■ Tratamiento con férula

El objetivo es tener la muñeca en posición neutra durante la noche y periodos cortos de la actividad laboral.

■ Rehabilitación

Tratamiento en el que se aplican agentes físicos externos con ejercicios específicos (dependen de la gravedad del síntoma presentado)

■ Ejercicios de estiramiento y fortalecimiento

Cuyo objetivo es mejorar la movilidad de la muñeca

■ Electroterapia

De diversos tipos como el ultrasonido, el objetivo es realizar una acción analgésica e anti-inflamatoria

■ Tratamiento farmacológico

Consiste en infiltraciones de corticoides con o sin analgésico local (Inyecciones) o por medio de corrientes eléctricas (iontoforesis) y cuyo objetivo es aliviar síntomas y mejorar la conducción nerviosa

■ Tratamiento Quirúrgico

Puede ser cirugía abierta, en la que se realiza una incisión sobre la zona afectada, o cirugía endoscópica, en la que se realiza un pliegue de flexión en la muñeca y se introduce un instrumento para visualizar la zona afectada y tomar acción correctiva [6].

I-C. Costos por tratamiento

Si bien existen múltiples opciones terapéuticas, estas presentan un costo diferente, debido a las condiciones de



cada individuo se tiene en cuenta la siguiente información:

- Costos directos

Involucran todos los recursos y servicios asociados directamente a la enfermedad, tales como los preventivos, de detección, de diagnóstico, costos sanitarios, no sanitarios y gastos futuros.

- Costos indirectos

Se relaciona con la pérdida de producción o de tiempo productivo asociado a la enfermedad y la discapacidad pertinente para la recuperación [7]. Se puede revisar un consolidado de costos del año 2013, el cual se muestra en la Tabla II:

Costos consolidados por rama del modelo analítico de decisión	Valor en COP
Ferula	\$ 111.570
Ferula mas evento adverso	\$ 126.858
Fisioterapia	\$ 242.880
Ultrasonido	\$ 958.528
Infiltracion corticoide	\$ 282.490
Infiltracion corticoide mas evento adverso	\$ 297.778
Tratamiento quirurgico	\$ 931.216
Tratamiento quirurgico mas evento adverso	\$ 1.539.791

Tabla II

CONSOLIDADO DE COSTOS PARA TRATAMIENTOS TÚNEL DEL CARPO - AÑO 2013, [7]

Las intervenciones anteriormente mencionadas en Latinoamérica han presentado un balance positivo del 94 % de éxito [7], pero si se tienen en cuenta los costos directos e indirectos, el costo final es muy elevado. La mayoría de los usuarios no podría acceder a ellos, teniendo en cuenta que los tiempos de intervención y/o recuperación varían entre los 3, 6 o 12 meses [6].

I-D. Dispositivos y sus aplicaciones enfocadas al Túnel del carpo

Después de entender la opinión de los usuarios, se comprobaron productos que se encuentran en el mercado, ya sean de uso comercial o prototipos especializados que dieron una propuesta para solución del problema, los mas interesantes encontrados son:

- Rehabilitación del síndrome del túnel carpiano Mediante Force Feedback

Proyecto desarrollado en Ecuador, donde se realiza un sistema que junta dispositivos hápticos (encargados del estudio del sentido del tacto) y aplicación con entorno gráfico 3D para realizar ejercicios terapéuticos acordes a la necesidad del usuario [8].

- Dispositivo electrónico para prevenir el Síndrome del Túnel del carpo

Proyecto de grado de estudiantes de la Universidad Central en el que desarrollan un mouse pad encargado de identificar movimientos correctos o incorrectos del usuario y generar

una alerta. Este dispositivo actúa de manera educativa.[9].

Después de validar los proyectos, se realizó un estudio de mercado y se encontró que existen productos de alto y bajo costo, cuya finalidad es **tratar el síntoma del Túnel del carpo y/o inconvenientes afines a la muñeca**. Cada fabricante opta por una intervención no invasiva de manera diferente, procurando, en su mayor medida, manejar un enfoque generalizado, con el fin de no limitar un grupo de personas. Teniendo esto en cuenta, los productos más populares son:

- Ratón ergonómico

Se popularizó debido a su estética y está pensado para disminuir de manera considerable los rangos de movimientos de la muñeca. Es una excelente opción para las personas que hacen uso continuo del computador. Este tipo de ratón se enfoca en modificar la posición de la muñeca; cambia la ubicación de los botones y el usuario debe acostumbrarse a ellos. La Figura 5 muestra las diferencias en la colocación de la mano utilizando un ratón convencional y un ratón ergonómico.

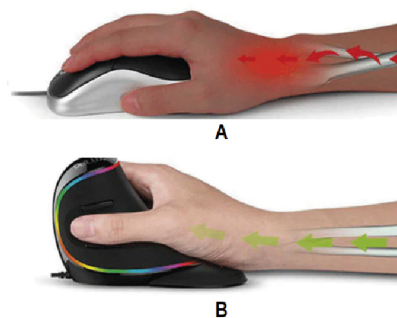


Figura 5. Ratón ergonómico en A: posición incorrecta y B: posición correcta - Tipo 1 [10]



Figura 6. Ratón ergonómico - Tipo 2, Tomada por los autores [16]

La Figura 6 muestra otra topología de ratón ergonómico, a diferencia del anterior, no cambia la posición de la mano, sino

el funcionamiento usual; el ratón mostrado a continuación realiza el movimiento del cursor por medio de una esfera (en este caso de color azul) que se mueve únicamente con el pulgar, esto obliga a que el usuario no tenga la necesidad de mover el ratón para que funcione efectivamente.

Este ratón requiere una curva de aprendizaje mayor, debido a la costumbre del usuario al ratón estándar, en donde es debe mover el conjunto completo del Ratón para desplazar el puntero.

■ Guantes de compresión

Igual que en el caso anterior, existen muchos tipos de guantes o mangas de compresión, su función es inmovilizar de manera parcial la muñeca limitando sus movimientos, lo que evita realizar posturas inadecuadas. Las mas populares son las que ocasionan un presión leve en la zona, permitiendo un mejor flujo de sangre y restringiendo el rango de movimiento de la misma mano; pensado para Túnel del carpo y artrosis.



Figura 7. Guante de compresión [11]

■ Férula

La férula es un dispositivo encargado de limitar el movimiento del antebrazo y la muñeca, siendo la opción no invasiva más popular. Su principal objetivo es restringir los movimientos inadecuados de la mano para generar un descanso en la zona afectada. Normalmente, se utiliza antes de considerar una intervención quirúrgica. La férula convencional para el túnel del carpo es corta y está elaborada en un material moldeable que permite un movimiento de la articulación de 10 a 20°. Esto le permite al usuario continuar con las actividades comunes sin ocasionar limitaciones.

Debido a la popularidad de las férulas, se han presentado variantes de este producto conservando la principal virtud, que es la restricción del rango de movimiento, pero innovando con alguna nueva característica. Un ejemplo de esto es el caso de la Férula U-mano, que incorpora una sujeción mediante velcros para una fácil instalación, así como un cambio en la posición de los dedos con el objetivo de disminuir el volumen que ocupan los músculos flexores de los dedos hacia la zona afectada, reduciendo el impacto directo que ocasionan.



Figura 8. Férula convencional para Túnel del carpo, [12]

La Figura 8 muestra una férula convencional para el tratamiento del túnel del carpo, esta es la forma mas común para el diseño de férulas. La Figura 9 muestra una férula de tipo U-mano.

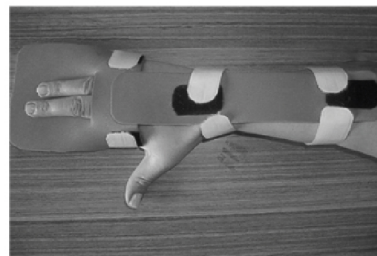


Figura 9. Férula U-mano para el túnel del carpo, [12]

■ Deltahub Carpio 2.0

Existen opciones como el pad mouse con una base en gel para descansar la muñeca. Aunque se piensa que su finalidad es generar un entorno cómodo, este no es el caso. Con el tiempo, pierde su firmeza y puede ocasionar una mala posición en la muñeca. Para garantizar un mejor uso del gel, se debe mantener una posición estática, lo que limita las actividades que se pueden realizar. Por ese motivo, se creó el Deltahub Carpio 2.0, que consiste en un reposamuñecas de plástico. Este ofrece una posición ergonómica de la mano y permite movimientos laterales sin limitar su funcionamiento. La Figura 10 muestra la interacción mano-dispositivo con un Deltahub Carpio 2.0

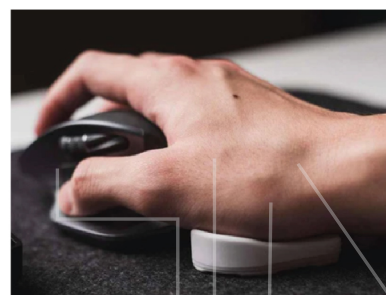


Figura 10. DeltaHub carpio 2.0 en uso, [13]



I-E. Encuestas y entrevistas

Tomando en consideración lo anterior, el proyecto se aborda utilizando la metodología del Design Thinking. Se inicia con la empatía hacia posibles usuarios, realizando entrevistas a personal capacitado y también a personas sin conocimiento especializado sobre la enfermedad, pero que podrían llegar a desarrollar el síndrome.

■ Validación con personal no capacitado

La validación se lleva a cabo mediante un formulario con más de 60 respuestas, donde se prioriza tener un público variado en términos de edades, tipos de trabajo y conocimiento sobre el síndrome del túnel del carpo. Con esto, se pueden concluir los siguientes puntos:

1. Más del 60 % de los encuestados identifican el síndrome del túnel del carpo.
2. Más del 68 % de los encuestados conocen a un amigo o familiar que presenta algún tipo de molestia en la zona de la muñeca.
3. Más del 63 % de los encuestados tienen una idea de cómo realizar ejercicios de estiramiento para la zona afectada.

Esto nos permite implementar un proceso de intervención no invasiva por medio de estiramientos asistidos, debido a que los movimientos les son familiares (así no los realicen frecuentemente) y permitirán realizar mas rápidamente el ejercicio adecuado sin perder mucho tiempo.

Por otra parte, se confirma que el mayor inconveniente con las personas es su disposición para realizar una pausa activa. Más del 92 % confirma realizar pausas activas, pero no le dedican el mismo tiempo a esta actividad. El 38 % dedica un promedio de 1 a 3 minutos, y el 48 % un promedio de 3 a 5 minutos. Este tiempo es muy corto, lo que respalda la teoría de que la mayor causa de la presencia del Síndrome del Túnel del Carpo es la falta de disposición para estiramientos adecuados.

Afortunadamente, se cuenta con el interés de más del 96 % de los encuestados para el uso de un dispositivo que les apoye mediante imágenes o vídeos en la realización del estiramiento de manera adecuada. Además, más del 95 % de los encuestados muestran interés en el uso de electroestimulación, un método popular utilizado en terapias para el túnel del carpo, y un grupo importante de más del 67 % de los encuestados desea contar con asesoría para su uso.

■ Entrevista con personal capacitado

Aunque se dispone de conocimientos teóricos obtenidos mediante la investigación realizada para este proyecto, es esencial contar con la opinión de personal capacitado y con experiencia. Esto permitirá validar, corregir errores y prestar atención a aspectos que no fueron contemplados inicialmente.

El enfoque principal en esta entrevista fue la cantidad de personas que presentan síntomas en el campo de la enfermería, donde el corte de esparadrapo se destaca como la principal causa de dolencia en la muñeca. Además, se exploraron las predisposiciones por enfermedades que facilitan la presencia del túnel carpiano.

Lo más destacado es el interés mostrado en el proyecto, especialmente dada la escasez de productos disponibles para este tipo de intervención no invasiva. Lamentablemente, nos encontramos en un entorno donde, a pesar de identificarse las causas, no se fomenta el uso de herramientas ergonómicas para el bienestar físico. Es bien conocido que a nivel médico se prioriza la intervención correctiva sobre la preventiva. Aunque en los últimos años, a través de ARL, se ha promovido, en ocasiones de manera obligatoria, el cuidado personal desde todos los ámbitos, como posturas, pausas activas y, por supuesto, enfermedades laborales, dentro de las cuales se contempla el síndrome del túnel carpiano.

Como recomendación, se solicita prestar especial atención al electroestimulador, considerando las condiciones de uso y las limitaciones físicas que presentan los usuarios. Aspectos como enfermedades cardíacas, dispositivos médicos implantados, ubicación de los electrodos en zonas no autorizadas, entre otros, pueden impedir que algunos usuarios opten por este tipo de procesos.

I-F. Objetivos del proyecto

Ahora que se tiene mas claro el síndrome del túnel carpiano se decide diseñar e implementar un prototipo funcional de terapia para el síndrome del túnel del carpo, con el fin de brindar apoyo en el tratamiento de los usuarios afectados de manera sencilla y autónoma que cumpla con las siguientes características:

1. Implementar un sistema de electroestimulación con diferentes rutinas y de libre elección por el paciente.
2. Monitorizar la correcta ejecución de ejercicios de estiramiento para llevar a cabo un eficiente fortalecimiento; articular y muscular.
3. Desarrollar una aplicación móvil como interfaz de control y guía del prototipo

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Con la información recolectada se da inicio al desarrollo del prototipo, este se divide en etapas:

- Etapa de sensado de los ángulos de movimiento de la mano, con el fin de asegurar que los estiramientos se realicen de manera adecuada.
- Etapa de electro estimulación, para disminución del dolor, y desinflamación articular y muscular.
- Etapa de creación del aplicativo móvil, para control y retroalimentación de las etapas anteriores



- Etapa de creación de PCB o circuito impreso
- Fabricación del encapsulado del prototipo o encerramiento.

II-A. Etapa de sensado de ángulos de movimiento

El objetivo de esta etapa monitorear a tiempo real la ubicación de la mano y que cumpla con las siguientes características:

1. Un sistema que no sea invasivo, para garantizar que el usuario final no presente alguna afectación (incomodidad o dolor)
2. Costo del sistema de sensado
3. Portabilidad del sistema

Por lo anterior el sensor escogido es un acelerómetro, el escogido para este proyecto es el MPU6050.

- Funcionamiento del sensor

Este sensor es una unidad de medición inercial IMU (Inertial Measurement Unit) con 6 grados de libertad, donde 3 grados corresponden al acelerómetro, que determina la ubicación en el plano X, Y, Z, y los otros 3 grados pertenecen al giroscopio, encargado de medir los 3 tipos de giros posibles, como se muestra en la Figura 11.

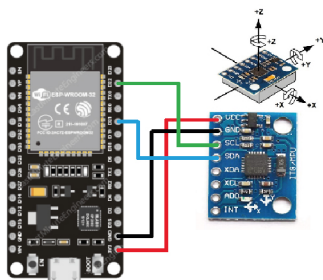


Figura 11. Conexión al sensor y rangos de movimiento, Tomada por los autores [16]

El sensor utiliza un protocolo de comunicación I2C, lo que nos permite enviar datos entre nuestro dispositivo maestro (tarjeta de desarrollo ESP32) y nuestro dispositivo esclavo (sensor MPU6050). Gracias a este protocolo de comunicación, podemos realizar la conexión de múltiples sensores a un solo puerto, lo que nos permite expandir la cantidad de sensores conectados al mismo puerto. [14].

Se procede a realizar la conexión del sensor al controlador ESP32 mediante una protoboard. Se añade un módulo de visualización con pantalla OLED, únicamente para la validación de datos (que no estará presente en el prototipo final). Este se utiliza para monitorear y caracterizar los ángulos de movimiento una vez se realiza el estiramiento de manera correcta. La Figura 12 muestra la prueba de funcionamiento del montaje utilizado para la caracterización de los ángulos límite de movimiento.

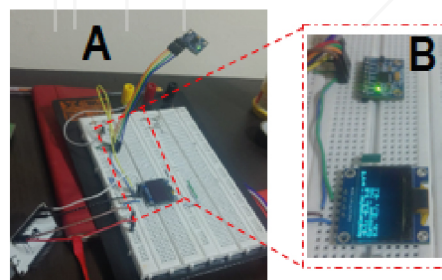


Figura 12. Prueba de funcionamiento en protoboard, A: Conexión en protoboard, B: Visualización de medición en pantalla. Tomada por los autores [16]

- Primer diseño (no final) para pruebas de posición.

En el momento en que se valida el funcionamiento del sensor en la protoboard, se procede con la creación de un prototipo funcional para validar la lectura del sensor sobre la mano. Para este punto, se diseña una PCB con el sensor y el display OLED. Se utiliza un LED para validar visualmente el tiempo de respuesta del sensor cuando supera el umbral establecido. La Figura 13 muestra la implementación del primer prototipo con las etapas de sensado y visualización de datos.

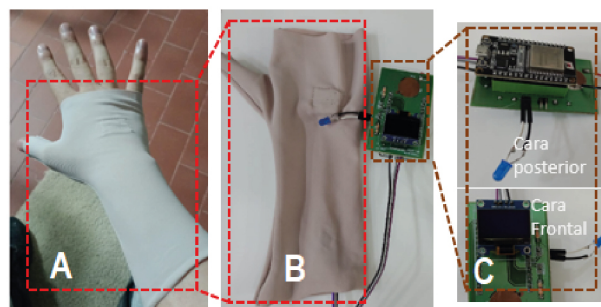


Figura 13. Diseño de prototipo, A: Prototipo de guante, B: primer prototipo, C: circuito impreso, Tomada por los autores [16]

Con esta etapa completa, se confirma que no se requieren más acelerómetros, ya que el que se tiene cuenta con una buena precisión. A continuación, se procede a la comunicación con la aplicación en el celular, la cual se explicará más adelante.

II-B. Etapa de electro estimulación

La electroestimulación muscular es una de las múltiples terapias físicas que existen, recomendadas **como complemento de la terapia de rehabilitación**. Consiste en enviar impulsos eléctricos de manera controlada en la zona afectada y tiene como objetivo contraer los músculos, principalmente los que se encuentran en la zona afectada, generando una disminución del dolor [15].

Esta característica cumple con las condiciones del proyecto; por ese motivo, se procede a validar la posibilidad de realizar un electroestimulador que cumpla con las siguientes condiciones:

1. No depende de conexión eléctrica, esto para encontrar aislado y se disminuya la posibilidad de error.
 2. Sistema portátil y móvil.
 3. Compatible con el sistema ya creado en la etapa de sensado, con el fin de integrar todo en un mismo dispositivo.
- Se opta por un electroestimulador de voltaje, generando una señal bifásica por medio de pulsos generada por la ESP32 e integrada por un puente H.

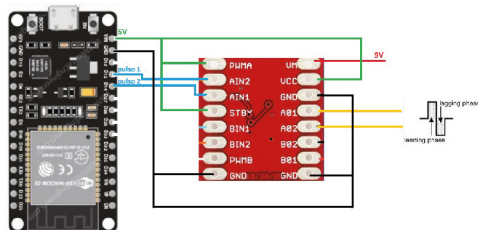


Figura 14. Primer esquema de conexión (no final), Tomada por los autores [16]

- Generación de 2 pulsos monofásicos (desfasados uno de otro) desde la tarjeta de desarrollo ESP32.

El objetivo de esta señal es generar un pulso positivo y, después de un tiempo (en milisegundos), generar el pulso negativo. Seguido de esto, se da un tiempo de espera X antes de volver a generar el pulso. De esta manera, garantizamos tener control sobre la intensidad de la señal generada y la frecuencia del pulso. Al obtener la señal esperada, se conecta un motor DC a la salida del puente H para visualizar la señal bifásica generada (en el motor se vería como un cambio de giro) y funciona correctamente. Con esta prueba finalizada, se procede a la conexión de electrodos a una persona para validar la sensación generada. La Figura 14 muestra el esquema de conexión entre la placa de desarrollo ESP32 y un módulo de puente H.

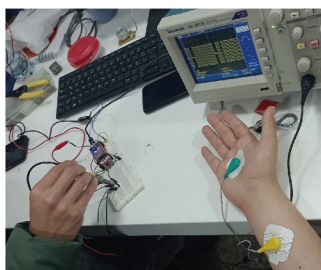


Figura 15. Prueba de electro estimulador en protoboard, Tomada por los autores [16]

Después de una prueba de funcionamiento, como se evidencia en la figura 15, se detecta un fallo en el diseño.

Aunque se logra producir una sensación leve (después de aumentar la alimentación del puente H por encima de 10V), no es suficiente para generar el efecto terapéutico deseado. El puente H con el que se realizó la prueba solo soporta un máximo de 15V, lo cual es insuficiente para el objetivo. Por esta razón, se procede con un cambio en el circuito, integrando ahora un elevador de voltaje para poder generar una electroestimulación acorde a lo que se busca en este prototipo. La Figura 16 muestra el nuevo diagrama esquemático con la implementación de un elevador de voltaje.

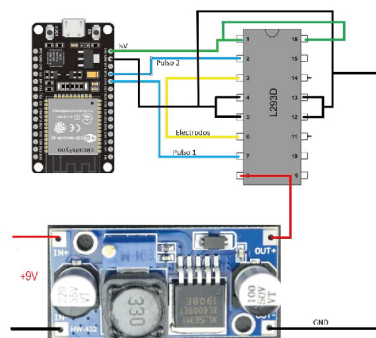


Figura 16. Segundo esquema de conexión para electroestimulador, Tomada por los autores [16]

II-C. Creación de aplicativo

Se desarrolla una aplicación móvil utilizando el framework de desarrollo MIT App Inventor. Esta es una plataforma de desarrollo lowcode de alto nivel que permite desarrollar aplicaciones para dispositivos Android mediante herramientas visuales y gráficas. Se decide utilizar este framework, ya que es gratuito y de código abierto, lo que facilita la accesibilidad y colaboración en el proceso de creación de la aplicación. Además, su enfoque de desarrollo visual simplifica la implementación de funciones y características, acelerando así el tiempo de desarrollo y permitiendo una mayor flexibilidad en la personalizaron de la aplicación según las necesidades específicas del proyecto.

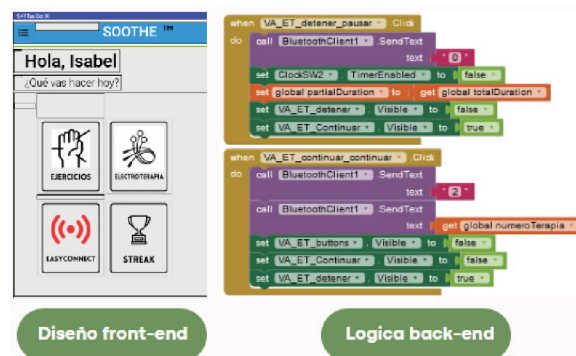


Figura 17. Visualización Diseño Front-end y Logica Back-end en el diseño del aplicativo, Tomada por los autores [16]

Con lo anterior y los circuitos ya definidos se plantean los siguientes pasos para el funcionamiento del aplicativo:

1. Conexión vía Bluetooth de aplicativo a prototipo.
2. Inicio de ejercicios para estiramiento.
3. Inicio de electroterapia.



Figura 18. Pantalla de inicio del Aplicativo, Tomada por los autores [16]

Con esta presentación se cumplen las condiciones sugeridas, con dos adicionales. El primero es la conexión directa con el dispositivo mediante el botón **EASYCONNECT**, el cual realiza la conexión de manera automática, evitando que el usuario tenga que realizar pasos adicionales. El segundo es que maneja un registro de ejecuciones finalizadas en el botón **STREAK**. El objetivo de esta opción es "gamificar" la aplicación para incentivar el uso constante del prototipo. El diseño final de la pantalla de inicio de la aplicación es el mostrado en la Figura 18:

■ Ejemplo de ejecución del prototipo desde la aplicación

Con el fin de generar uniformidad en el uso del prototipo, se sigue el mismo proceso para la puesta en marcha tanto en los estiramientos como en la electroestimulación. Sin embargo, cambian detalles que corresponden a la naturaleza de cada ejercicio. Las Figuras 19 y 20 muestran el flujo de pantallas para la realización de ejercicios de estiramiento y electroterapias, según corresponda.

■ Prueba de Electroestimulación:

1. Seleccionar el tipo de rutina que se va a realizar.
2. Confirmar la instrucción dada en el aplicativo de ubicación del electrodo en la posición indicada.
3. Seleccionar el botón **Comenzar** para iniciar la terapia, cuando se ingresa en ella se tendrá un cronómetro con el tiempo de ejecución, en caso que se desee cancelar la terapia por incomodidad del paciente, se cuenta con un botón llamado **Regresar**, el cual cuando lo oprima cancelará la actividad.

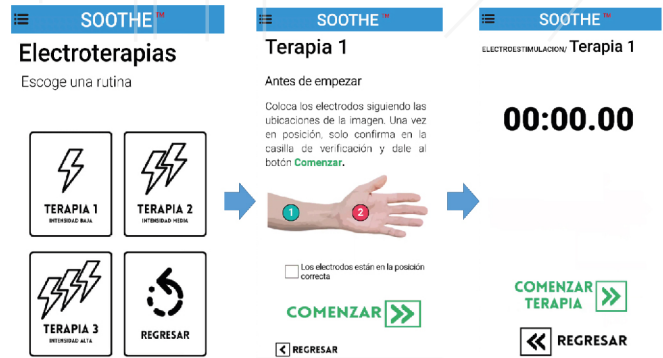


Figura 19. Paso a paso uso del aplicativo - Electro estimulación, Tomada por los autores [16]



Figura 20. Paso a paso uso del aplicativo - censado de la mano, Tomada por los autores [16]

2. Prueba de censado

Para el caso del censado de la mano, se sigue el mismo procedimiento explicado en la etapa anterior, con la diferencia de que el cronómetro se pone en marcha solo si la ubicación de la mano es la indicada en el diagrama. En caso de que no sea así, este cronómetro se detendrá y no enviará ningún tipo de confirmación.

II-D. Creación de PCB

Con los circuitos validados previamente en protoboard y confirmando su conectividad con el aplicativo, se incluye una fase de alimentación para el circuito regulada a 5V, es muy importante por la necesidad de uso de un elevador de voltaje en la etapa de electro estimulación, el circuito baquelado es el siguiente:

El diseño de la PCB se realiza con el programa EASYEDA, principalmente por la posibilidad de envío directo a la fábrica de impresión en China. Las conexiones en las capas se realizan de la siguiente manera:

■ Conexiones en capa inferior

En esta capa se realiza la conexión de la fuente de alimentación del circuito (incluido el elevador de voltaje), la

comunicación con el sensor MPU6050 y el envío de señal desde la tarjeta de desarrollo ESP32 hacia el puente H L293D. Para esta conexión, se selecciona un tamaño de pista de 0.25 mm para una corriente de 300 mA. Toda la capa se encuentra aterrizada a GND. La Figura 21 muestra el diseño de la capa inferior de la placa impresa para los componentes electrónicos.

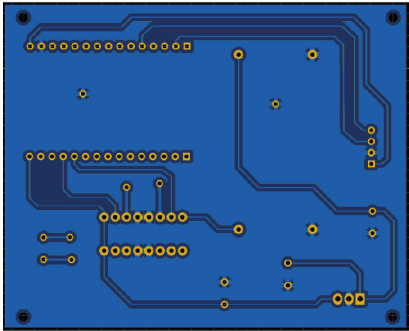


Figura 21. Baquelado capa inferior, Tomada por los autores [16]

■ Conexiones en capa superior

En esta capa se realiza la conexión de los electrodos. Debido al consumo que puede presentar, se selecciona un tamaño de pista de 0.5 mm para una corriente de 700 mA. Toda la capa se encuentra aterrizada a GND. La Figura 22 muestra el diseño de la capa superior de la placa impresa para los componentes electrónicos.

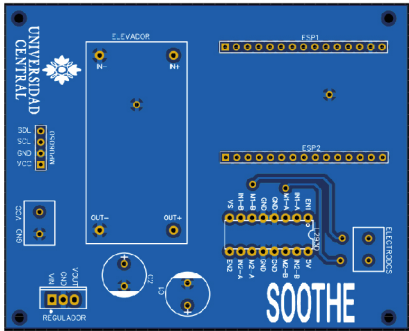


Figura 22. Baquelado capa superior, Tomada por los autores [16]

Con esta PCB tenemos las características mostradas en la Tabla III.

PCB prototipo SOOTHE					
Dimensiones		Puntos de medicion Votaje DC		Puntos de medicion AC	
Ancho	91.05 mm	VCC	9V	IN1-A	Pulso cuadrado generado por ESP32
		VCC MPU6050	3V		
		VIN	9V		
Alto	15.7 mm	Vout	5V	IN1-B	Pulso cuadrado desfasado generad por ESP32
		EN1	5V		
		VS	32 V		
Profundo	72.89 mm	IN+	9V	Electrodos (Debe conectarse Resistencia de 1K)	Señal integrada y amplificada VPP: 32V
		Out+	32V		

Tabla III
CARACTERÍSTICAS DE PCB, TOMADA POR LOS AUTORES [16]

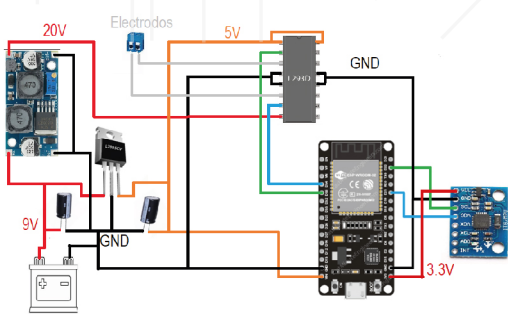


Figura 23. Esquema de conexión del circuito, Tomada por los autores [16]

II-E. Creación de Estructura

Esta es la etapa final del proyecto, se considera un encerramiento pequeño que sea cómodo de manipular y transportar como se ve en la Figura 24. Se utiliza material acrílico para esta etapa de prototipado del diseño exterior final.

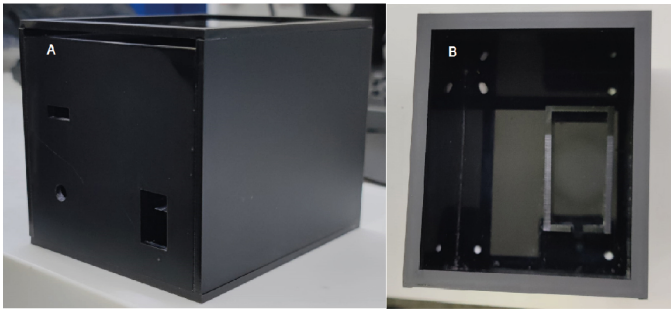


Figura 24. Encerramiento, A: Parte externa B: Parte interna, Tomada por los autores [16]

El diseño estructural se divide en parte externa y parte interna.

■ Parte Externa

Cuenta en la parte superior con una tapa removible que permite la visualización interna del encerramiento. En la parte frontal, dispone de un interruptor de encendido, encargado de energizar el sistema interno, un conector USB para el sensado de la mano y un Jack 3.5 para la conexión de los electrodos. Se decide usar un conector distinto para evitar errores de conexión por parte del usuario.

■ Parte Interna

La distribución interna de componentes se realiza en 2 niveles. El nivel inferior alberga la batería de alimentación del circuito, la cual tiene un recinto interno con las dimensiones de la batería. En el nivel medio, se coloca la PCB, que será sujeta por 4 tornillos que la mantendrán elevada.

■ Dimensiones

El prototipo estructural cuenta con las siguiente dimensiones:

Alto	8 cm
Largo	10 cm
Ancho	7 cm

III. RESULTADOS

Para realizar la comprobación práctica del prototipo, se llevaron a cabo pruebas periódicas durante una semana de uso. Esto se hizo con la participación de una voluntaria previamente diagnosticada con el Síndrome del túnel del carpo por profesionales en el área. A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

- Se logra identificar que los movimientos de estiramiento son ejecutados de manera correcta progresivamente. Con el transcurso de los días, el paciente aumenta la complejidad y/o intensidad de las rutinas, así como sus repeticiones, lo que se refleja en una adaptación al sistema y un progreso evidente.
- La voluntaria manifiesta que utilizar el dispositivo es intuitivo y no requiere un aprendizaje o adaptación compleja. Además, expresa un interés oportuno en continuar utilizando el dispositivo e incluirlo en su rutina diaria, pudiendo transportarlo sin inconvenientes.
- El dispositivo no sustituye los procedimientos realizados por un especialista.

IV. CONCLUSIONES

- Para el desarrollo del dispositivo en serie, es necesario realizar el diseño electrónico de los circuitos para eliminar los módulos utilizados en el prototipo y, de esta forma, reducir los costos asociados y el tamaño del circuito.
- Es fundamental el uso progresivo del dispositivo para obtener resultados notables. Al no utilizarlo de manera periódica, los resultados causarán menos impacto en el bienestar y los efectos de la enfermedad.
- La inclusión de seguimiento de utilización fomenta el interés del usuario y lo incentiva a utilizarlo de manera continua.
- la implementación exitosa de Design Thinking en el desarrollo de dispositivos biomédicos puede resultar en soluciones más efectivas, centradas en el usuario y adaptadas a las complejidades del entorno médico, mejorando la calidad de atención y la experiencia del paciente.

V. REFERENCIAS

- [1] L. L. Almejo, «Síndrome del túnel del carpo», vol. 10, n.o 1, 2014.
- [2] B. Hirt, H. Seyhan, M. Wagner, y R. Zumhasch, *Hand and wrist anatomy and biomechanics a comprehensive guide*. Stuttgart; New York Thieme, 2017.
- [3] A. Hernández D. Wilder y M. E. Orjuela R., «Factores laborales y extralaborales de floricultores con Síndrome del Túnel del Carpo: cundinamarca-Colombia 2013», *Med. Secur. Trab.*, vol. 62, n.o 244, pp. 199-211, sep. 2016.

[4] D.H Diana Carolina, « Síndrome Túnel Del Carpo, Síndrome Manguito Rotador, Lumbago, Trastornos Discos Lumbares Con Radiculopatía», ene. 2019.

[5] Y. L. Vargas, «Perfil de salud laboral en Colombia a partir del análisis y caracterización de la enfermedad laboral reportada en el Sistema General de Riesgos Laborales. Periodo 2004 – 2014», Universidad nacional de colombia. Accedido: 02 de Noviembre de 2023.

[6] J. Fores, M. M. Dalmau, N. M. Villanueva, R. V. Sauquet, «Tratamiento del Síndrome del Túnel Carpiano — Hospital Clínic Barcelona», <https://www.clinicbarcelona.org/asistencia/enfermedades/sindrome-del-tunel-carpiano/tratamiento>, jul 2018.

[7] F. P. Sanchez «Evaluacion de la costo efectividad de los tratamientos del sindrome del tunel del carpo en la poblacion trabajadora» 2014.

[8] V. H. Andaluz, C. Bustamante D., M. Silva S., M. Escudero V., y P. J. Salazar, «Carpal Tunnel Syndrome Rehabilitation Through Force Feedback», *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 16, n.o 9, pp. 2467-2472, sep. 2018

[9] J. A. C. Abril y J. F. B. Leiton, «DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA LA PREVENCIÓN DEL SÍNDROME DEL TÚNEL CARPIANO PARA PERSONAS QUE UTILIZAN EN EXCESO EL MOUSE», 2018.

[10] «Mouse Alámbrico Vertical Ergonómico rgb», Xhobbies. Accedido: 17 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://xhobbies.co/products/mouse-alambrico-vertical-ergonomico-rgb>

[11]«Guantes Compresión Túnel Carpiano Artritis Dedos Libres. Accedido: 17 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-964154904-guantes-compresion-tunel-carpiano-artritis-dedos-libres-JM>

[12] C. A. Urbina, «Efectividad de la férula U-Mano en el tratamiento del síndrome del túnel del carpo», *Rev. Colomb. Rehabil.*, vol. 6, n.o 1, pp. 39-48, oct. 2007, doi: 10.30788/RevColReh.v6.n1.2007.94.

[13] «Carpio 2.0 - Reposamuñecas ergonómico – DeltaHub». Accedido: 17 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://deltahub.io/products/carpio-2>

[14] «Tutorial MPU6050, Acelerómetro y Giroscopio», Naylamp Mechatronics - Perú. Accedido: 28 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/blog/45-tutorial-mpu6050-acelerometro-y-giroscopio.html>

[15] «Beneficios de la electroestimulación muscular en el campo fisioterapéutico (TENS) y en el desarrollo muscular (EMS)», Colegio Oficial de Fisioterapeutas de Navarra. Accedido: 31 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://www.cofn.net/es/beneficios-de-la-electroestimulacion-muscular-en-el-campo-fisioterapeutico-tens-y-en-el-del-desarrollo-muscular-ems>

[16] J. Salguero, A. Prias, G. Ayala, SOOTHE - Dispositivo de terapia dirigida por el usuario para tratamiento del t unel del carpo, 2023.

AGRADECIMIENTOS: Este trabajo se desarrolló dentro del curso Desarrollo de Dispositivos Biomédicos usando pensamiento de Diseño 2023-2, del Programa de Ingeniería Electronica, Universidad Central, Bogotá, Colombia.



Análisis de condiciones en ambientes de formación para la población sorda en la Universidad ECCI Bogotá

Vargas, William - Rojas, Rolando * - Rodríguez, Darwin*,
vvargas@ecci.edu.co - rcala@sena.edu.co – drodriguezp@sena.edu.co
Universidad ECCI, *SENA Centro Metalmecánico – Regional Distrito Capital

Resumen: Se trata de una investigación descriptiva y crítica que se aplicó en la Universidad ECCI con el fin de presentar soluciones para la comunidad sorda, basada en los elementos de los ambientes de aprendizaje que deben tener los espacios académicos de forma que garanticen los procesos educativos conformes los contenidos curriculares del alma mater. Su interés apunta a mejorar los canales de acceso a una educación integral a través del modelo de educación inclusiva para sordos, cuyo objetivo es garantizar el derecho a la educación, a la oportunidad y a la igualdad a esta clase de población mediante una oferta educativa que permita su desarrollo integral como seres humanos. Se basa en el análisis de datos de la comunidad sorda en todo su contexto personal, los programas académicos ofrecidos y un diagnóstico de los espacios educativos, cuyo resultado permite emitir recomendaciones de mejoramiento de los entornos de aprendizaje.

Palabras clave: Educación, persona sorda, ambiente aprendizaje, iluminación, confort, tecnología

Abstract: This is a descriptive and critical research that was applied at the ECCI University in order to present solutions for the deaf community, based on the elements of the learning environments that the academic spaces in a way that guarantees educational processes in accordance with the curricular contents of the alma mater. His interest is to improve the channels of access to comprehensive education through the education model, inclusive for the deaf, whose objective is to guarantee the right to education, opportunity and equality to this class of population through an educational offer that allows their integral development as human beings. It's based on the analysis of data from the deaf community in its entire personal context, the academic programs offered and a diagnosis of educational spaces, the result of which allows issuing recommendations for improvement of the learning environments.

Keywords: Education, deaf person, learning environment, lighting, comfort, technology.

I. INTRODUCCIÓN

El Artículo 67 de la Constitución Política de Colombia de 1991 establece que: “la educación es un derecho

fundamental y un servicio público con una función social. Su objetivo es permitir el acceso al conocimiento, la ciencia, la técnica y otros aspectos culturales, y formar a los ciudadanos en valores como el respeto a los derechos humanos, la paz, la democracia, el trabajo, la recreación, el desarrollo cultural, científico, tecnológico y la protección del medio ambiente. Es responsabilidad del Estado, la sociedad y la familia garantizar una educación obligatoria entre los cinco y los quince años, que incluya al menos un año de preescolar y nueve de educación básica. La educación será gratuita en las instituciones estatales, aunque se podrán cobrar derechos académicos a aquellos que puedan costearlos. Además, el Estado debe regular y supervisar la educación para asegurar su calidad, el cumplimiento de sus objetivos y la formación integral de los estudiantes, así como garantizar el acceso y la permanencia de los menores en el sistema educativo. La Nación y las entidades territoriales participarán en la dirección, financiación y administración de los servicios educativos estatales, de acuerdo con lo establecido en la Constitución y la ley.”.

Este desarrollado a través de leyes y decretos, con la exigencia de estándares de calidad que fija el Estado, entre ellos la inclusión, por cuanto las personas con limitaciones de cualquier índole también gozan de este derecho y corresponde a todos los niveles de organización estatal, brindarla sin ninguna clase de obstáculo.

Teniendo en cuenta la importancia que a nivel de inclusión se tiene en el ámbito educativo, este proyecto tiene como finalidad utilizar las bases de datos de estudiantes que pertenecen a la comunidad sorda en la Universidad ECCI sede Bogotá y que se han almacenado de forma electrónica en un sistema informático, adicionalmente, la facilidad para encontrar la información recopilada y estructurada en esta.

Bajo este precepto legal se han implementado modelos de aprendizaje en todo el sistema educativo colombiano, que va desde la educación inicial hasta la superior, que en esta investigación se estandarizó en esta última a través de la analítica de datos de la Universidad ECCI Sede Bogotá, proceso que conlleva el estudio de variables específicas de la población sorda que hace parte de esta comunidad educativa, tales como su reconocimiento legal nacional e internacional, protección especial, clasificación según la ley y principios dentro del marco de los preceptos constitucionales de igualdad y de no discriminación,



conjugados a un mismo propósito, verificar las condiciones de los entornos de aprendizaje y presentar unas conclusiones que permiten a la institución superior generar acciones de mejora en beneficio de la población sorda que hace parte de su comunidad educativa.

El Ministerio de Educación Nacional (MEN), como entidad que garantiza el derecho a la educación para todos los colombianos, ha incluido desde ya hace unos años procesos referentes a la educación inclusiva donde las personas con algún tipo de limitación física o cognitiva puedan tener la oportunidad de acceder a la educación superior, brindando un cumplimiento de igualdad que da el gobierno nacional a todos los ciudadanos.

En la actualidad, se evidencia que las instituciones de educación superior (IES) carecen en gran medida de la infraestructura organizacional y los contenidos académicos necesarios para implementar estrategias de inclusión de personas con limitaciones físicas o cognitivas, lo que genera una exclusión que dificulta el acceso a la educación superior y el aprendizaje, derechos fundamentales del ser humano. La Universidad ECCI sede Bogotá está desarrollando un modelo educativo basado en ciclos propedéuticos, centrado en la formación de estudiantes con limitación auditiva en programas de educación superior, mejorando los procesos de adaptación a través de la contratación de intérpretes, la capacitación docente, la estructura y los contenidos académicos, así como el departamento de investigación y proyección social. Sin embargo, no se dispone de estadísticas directas sobre los espacios físicos donde se imparte una metodología enfocada en el desarrollo académico de los programas ofrecidos en la Universidad ECCI sede Bogotá, está trabajando en las áreas de tecnología y humanismo como un modelo educativo basado en ciclos propedéuticos, dirigido a la formación de estudiantes con limitación auditiva en programas de educación superior, mejorando los procesos de adaptación en: contratación de intérpretes, capacitación docente, estructura y contenidos académicos, departamento de investigación y proyección social.

La Universidad ECCI sede Bogotá, está trabajando en las áreas de tecnología y humanismo como un modelo educativo basado en ciclos propedéuticos, dirigido a la formación de estudiantes con limitación auditiva en programas de educación superior, mejorando los procesos de adaptación en: contratación de intérpretes, capacitación docente, estructura y contenidos académicos, departamento de investigación y proyección social. Sin embargo, no se conoce de manera directa la estadística de aquellos espacios físicos en los cuales se imparte una metodología enfocada al desarrollo académico basado en cada uno de los programas que se ofertan en la Universidad ECCI, sede Bogotá y que hacen parte de la comunidad sorda. Adicionalmente, esta también necesita áreas lúdicas en las cuales puedan desarrollar cada una de las competencias; que trabajen con diferentes herramientas didácticas, para obtener buenos resultados en el proceso enseñanza aprendizaje, permitiendo a sus estudiantes tener una experiencia en su entorno educativo que involucre los

elementos tanto físicos como tecnológicos.

II. ANTECEDENTES

En el contexto de la educación inclusiva en Colombia, es necesario comprender aspectos sociales y culturales que influyen en esta realidad, entendiendo que la inclusión requiere de estrategias inmediatas que evidencien el compromiso de las instituciones, tanto en metodologías de aprendizaje y la adecuación de espacios que se adapten a las necesidades físicas, pedagógicas y cognitivas de todos los estudiantes. Existen varias universidades como la Norte de Barranquilla, ICESI, Nacional Sede Bogotá, que le apuestan a la reinversión de sus espacios académicos para implementar estrategias educativas que permitan un aprendizaje integral de sus estudiantes; no obstante, se requiere para la población sorda aulas especializadas con condiciones tecnológicas y sustentables que garanticen el proceso de enseñanza – aprendizaje con estándares de calidad.

Ahora, desde el contexto internacional se acude a los tratados internacionales como normas supranacionales, en el que el Estado parte reconoce derechos y en Colombia respecto a las personas con discapacidad se materializó en la Ley 1346 del 31 de julio de 2009, por medio de la cual se aprueba la "Convención sobre los Derechos de las personas con Discapacidad", adoptada por la Asamblea General de las Naciones Unidas el 13 de diciembre de 2006, regulando el tema de la educación en el artículo 24, asegurando un sistema de educación inclusiva a todos los niveles.

Los tratados internacionales suelen ser utilizados como normas que tienen preeminencia sobre las leyes nacionales, donde el Estado reconoce los derechos de las personas. En el caso de Colombia, en relación con las personas con discapacidad, esto se materializó a través de la aprobación de la "Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad" mediante la Ley 1346 del 31 de julio de 2009, adoptada por la Asamblea General de las Naciones Unidas el 13 de diciembre de 2006.

El artículo 24 de esta convención regula el tema de la educación, garantizando un sistema de educación inclusiva en todos los niveles. Antes de la ratificación de la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad, en Colombia ya se habían promulgado leyes y decretos relacionados con la protección de la población sorda. Entre ellas se encuentran: (i) la Ley 324 del 11 de octubre de 1996, que establece normas a favor de la población sorda; (ii) el Decreto 2369 del 22 de septiembre de 1997, que reglamenta la Ley 324.

Estas leyes definen toda la terminología relacionada con la población, establece la lengua manual colombiana como idioma propio de la comunidad sorda del país, “estructurada como un sistema convencional y arbitrario de señas viso gestuales, basado en el uso de las manos, los ojos, el rostro, la boca y el cuerpo”, y, se establece que es la que “utilizan quienes no pueden desarrollar lenguaje oral, se entiende y se acepta como idioma necesario de comunicación de las



personas con pérdidas profundas de audición y, las sordociegas, que no pueden consiguientemente por la gravedad de la lesión desarrollar lenguaje oral, necesarios para el desarrollo del pensamiento y de la inteligencia de la persona, por lo que debe ser reconocida por el Estado y fortalecida por la lectura y la escritura del castellano, convirtiéndolos propositivamente en bilingües.”

A. Ambientes de aprendizaje

En el campo académico, el concepto de ambientes de aprendizaje es entendido como algún tipo de espacio físico y las características que este puede tener, generando un efecto significativo en los resultados educativos [1]. Desde diferentes conocimientos, el entorno se entiende como la combinación de elementos internos, como los biológicos y químicos, y externos, como los físicos y psicosociales, que promueven o dificultan la interacción social. Por lo tanto, el entorno no debe limitarse a ser simplemente un espacio físico, sino que debe considerarse como un lugar donde se desarrollan diversas relaciones humanas que dan significado a su existencia, se percibe como un espacio que influye significativamente en la construcción de la cultura. [2]. En esta dinámica de transformación académica es importante resaltar los siguientes aspectos que son imperativos en el diseño de un aula inteligente, teniendo en cuenta la importancia de los espacios físicos como un factor determinante en el proceso de enseñanza y aprendizaje:

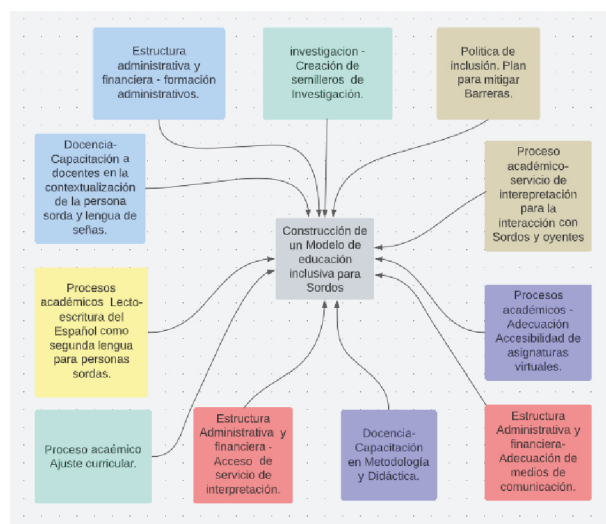
1. **Confort:** Al hablar de confort en el aula de clase se refiere a las condiciones que generan comodidad y bienestar al usuario. El ámbito educativo debe adecuar diferentes circunstancias ambientales y físicas, aprovechando la infraestructura de sus instalaciones, creando una atmósfera de trabajo, coordinando los materiales, los colores, los muebles, la temperatura y aspectos sensoriales que mejoren la experiencia dentro y fuera de ella.
2. En la iluminación es importante destacar que la luz natural juega un papel fundamental en el correcto funcionamiento del cuerpo humano. Los ritmos circadianos del cuerpo siguen un ciclo de 24 horas de luz y oscuridad, lo que influye en la producción de hormonas que regulan diversas funciones corporales, como el sueño, el hambre y la temperatura. Por ejemplo, los estudiantes tienen su máxima capacidad biológica para el aprendizaje a corto plazo entre las 10:00 y las 12:00 a.m., mientras que para el aprendizaje a largo plazo se encuentran en mejores [1].
3. En cuanto a la tecnología, es importante que esta sea una herramienta que permita el acceso al conocimiento y a las actividades de investigación y práctica en la comunidad educativa. La integración de la tecnología permitirá al alumno enfrentar con éxito su vida personal, académica y profesional. [3] Su uso debe ser mediado y controlado de tal manera que contribuya de manera significativa,

entendiendo que al igual que otros factores, posee unos requerimientos técnicos dentro del aula, los cuales se deben tener en cuenta.

A. Modelo de educación inclusiva para sordos de la Universidad ECCI Sede Bogotá

Está encaminado a garantizar sus derechos fundamentales desde aspectos psicolingüísticos, culturales y comunicativos, enfocados a la realización individual e integral de los individuos, posibilitando el acceso al campo laboral de acuerdo con el desarrollo de habilidades, mejorando su calidad de vida, con unas condiciones óptimas enmarcadas en la equidad y la igualdad. Este modelo incluye programas académicos de fácil acceso y con una amplia demanda laboral para la comunidad sorda, involucra la dirección, los entes administrativos y la comunidad académica en general, con el fin de transformar, pedagógica, metodológica y curricularmente el contexto académico, trascendiendo dicha intervención de los individuos que participan de este proceso inclusivo.

Figura 1. Política Inclusiva Institucional de la Universidad ECCI.

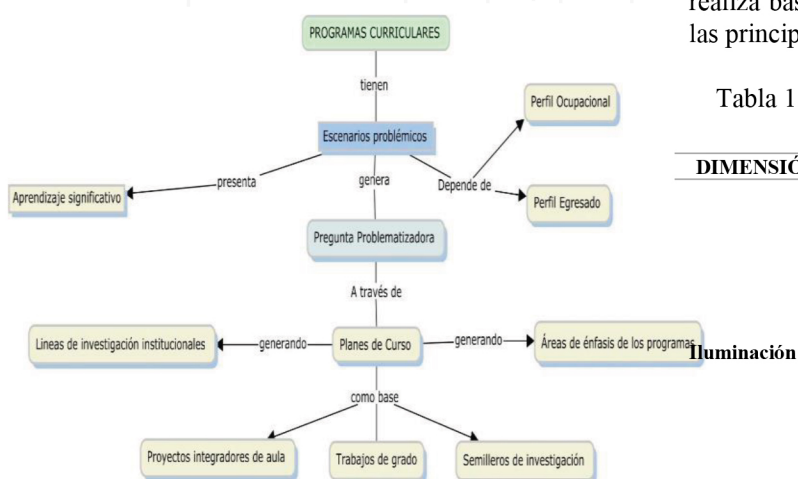


Fuente Autores

B. Modelo pedagógico de la Universidad ECCI [4]

El Modelo pedagógico de la Universidad ECCI abarca la selección, organización, transmisión y evaluación del conocimiento en el proceso de enseñanza-aprendizaje. El conocimiento representa el ámbito de interacción entre los diversos participantes educativos, lo que posibilita influir en la cultura, el medio ambiente, la ciencia, la tecnología y el pensamiento en general, con el propósito de generar transformaciones e innovaciones desde una perspectiva investigativa.

Figura 2. Enfoque del Modelo pedagógico institucional, 2021 Universidad ECCI.



Fuente Autores

La Universidad ECCI sitúa su labor pedagógica dentro de un enfoque constructivista que integra la perspectiva crítica social de Vygotsky [5]; junto con la teoría del aprendizaje significativo de David Ausubel [6] y la pedagogía conceptual. Este enfoque se asume como una propuesta innovadora que abarca el aprendizaje colaborativo, interdisciplinario y transdisciplinario, como una concepción integral del proceso de enseñanza y aprendizaje.

C. Diagnóstico aulas de clase de la población sorda Universidad ECCI

Se realiza un diagnóstico en las aulas que se han asignado para el aprendizaje de la comunidad sorda en la Universidad ECCI, analizando las asignaturas teóricas y prácticas con el fin de obtener mejores resultados, este análisis se realiza con base en un muestreo donde se debe relacionar las principales características de las aulas de aprendizaje.

Figura 3. Diagnóstico Aulas de clase. Medios Tecnológicos mobiliario y confort.



Fuente Autores

A continuación, se relaciona el diagnóstico de las aulas que están siendo utilizadas para la comunidad sorda en la

Universidad ECCI, en sus programas de formación profesional, analizando las asignaturas teóricas y prácticas con el fin de obtener mejores resultados, este análisis se realiza basándose en un muestreo donde se debe relacionar las principales características de las aulas de aprendizaje.

Tabla 1. Resultado de diagnóstico en las aulas de clase.

DIMENSIÓN	DIAGNÓSTICO	CONSECUENCIA
Iluminación	No cuenta con un sistema que regule la luz en las aulas.	Cansancio visual.
	Se evidencia inconvenientes en algunas aulas iluminación al no contar con luz natural	Deslumbramiento por una luz fuerte en algunos casos. Gastos excesivos por el mal uso de las iluminación.
	No se cuenta con circuitos que permitan modular la luz de acuerdo con el objetivo de la clase.	Se presenta distracción. Cambio inadecuado de la temperatura en el aula.
Confort	Las aulas no cuentan con un sistema que regule la temperatura y la humedad en el aula laboratorios.	De acuerdo con la temperatura se genera receptividad si es fría, por el contrario, si es cálido se genera disruptiva.
	Las aulas y laboratorios no cuentan con un acondicionamiento acústico que permita el aislamiento de ruidos externos.	El exceso de humedad produce malos olores, generando deserción.
Mobiliario	El mobiliario no es flexible, ni ergonómico para los aprendices.	Se reduce los espacios.
	Se presentan inconvenientes al usar un libro, medio tecnológico o algún otro tipo de material de aprendizaje.	Se complica organizar los espacios de acuerdo con las dinámicas de clases.
	El mobiliario no se adapta con facilidad personas zurdas.	Se presenta incomodidad al momento de realizar tareas.
	Las mesas no están estandarizadas, generando inconvenientes a los diferentes tipos de estudiantes.	Por contar con espacios tan reducidos, no se puede utilizar medios tecnológicos.
	El mobiliario no es estéticamente atractivo se puede utilizar medios tecnológicos con el diseño de las aulas y espacios.	Se presenta problemas ergonómicos en los estudiantes y docentes. Al usarse de forma incorrecta, se generan inconvenientes en el desarrollo de las actividades.
Medios tecnológicos	Exceso de sillas en cada salón.	
	Algunas aulas nos cuentan con pantallas led.	Baja calidad en el material visual usado para el desarrollo de las clases o prácticas.
	El sistema eléctrico, Wifi LAN no es suficiente para el uso de medios tecnológicos.	Retraso en usos de tecnologías de comunicación.
	Algunas sedes no cuentan con el servicio de internet	Metodologías obsoletas.

Fuente Autores

III. DESARROLLO METODOLÓGICO Y EXPERIMENTAL

La investigación tiene un enfoque descriptivo crítico descrito como los métodos que representan una serie de procesos sistemáticos, críticos y empíricos relacionados con la investigación e implican la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos. [7]

1. Fase investigación

Se compilaron las siguientes bases de datos: (i) general de estudiantes matriculados en la universidad ECCI, sede Bogotá desde el año 2014 al año 2023; (ii) información sociodemográfica de la población de estudiantes de la universidad ECCI, sede Bogotá; (iii) comunidad sorda matriculada en la universidad ECCI, sede Bogotá desde el año 2014 al año 2023 y (iv) encuesta realizada a través de un formulario de Google Forms al personal docente, comunidad sorda y sus intérpretes.

2. Análisis de datos

Veamos los resultados cuantitativos:

Tabla 2. Consolidado resultados cuantitativos encuesta

Indicadores		Muy en desacuerdo	En desacuerdo	De acuerdo	De acuerdo	Total
A. Visual y de percepción	A1 Se genera obstrucción visual entre el docente, el intérprete y el tablero en los espacios académicos.	51,9%	31,1%	9,4%	7,5%	100%
	A2 Se facilita la iluminación con el fin de tomar apuntes y visibilizar la pantalla o proyector.	30,2%	22,6%	17,9%	29,2%	100%
	A3 Las superficies de estudio y proyección son adecuadas a las clases.	59,4%	25,5%	9,4%	5,7%	100%
	A4 Las aulas y espacios académicos cuentan con medios tecnológicos que favorecen el desarrollo del conocimiento.	31,1%	24,5%	28,3%	16,0%	100%
B. Física	B1 El mobiliario es cómodo, ergonómico y flexible.	70,8%	20,8%	5,7%	2,8%	100%
	B2 En los espacios académicos se cuenta con herramientas tecnológicas (pantalla, tv, proyector).	45,3%	24,5%	18,9%	11,3%	100%
	B3 En el desarrollo de las clases se usan herramientas tecnológicas (Tablet video juegos, tabletas de dibujo), con el fin de impartir y/o desarrollar el conocimiento.	65,1%	30,2%	3,8%	0,9%	100%
	B4 Se incentiva el aprendizaje autónomo durante el desarrollo de la clase, haciendo uso de las herramientas tecnológicas (Tablet video juegos, tabletas de dibujo).	44,3%	27,4%	19,8%	8,5%	100%
C. Cognitiva y comunicativa	C1 Los espacios o ambientes de aprendizaje involucran aspectos cognitivos, sociales y experimentales entre la comunidad sorda y estudiantes oyentes.	21,7%	35,8%	34,0%	8,5%	100%
	C2 Los espacios académicos son adecuados para una óptima comunicación y comprensión entre la comunidad sorda, intérpretes y docentes oyentes.	48,1%	32,1%	16,0%	3,8%	100%
	C3 Se cuenta con herramientas tecnológicas para que el docente pueda dar a conocer sus conocimientos de forma aceptada a la comunidad sorda.	44,3%	29,2%	22,6%	3,8%	100%
	C4 La metodología planteada por la universidad favorece el adecuado aprendizaje a la comunidad sorda.	31,1%	31,1%	33,0%	4,7%	100%

Fuente Autores

En cuanto a la población sorda, la mayoría de los estudiantes sordos tienen edades entre 21 y 27 años, ya que las dos primeras categorías (21-26 y 21-27) suman un total de 37 estudiantes, lo que representa el 63.79% del total de la muestra. La tercera categoría (21-28) tiene una frecuencia de 15 estudiantes, que representa el 25.86% de la muestra. Por último, las edades entre 21 y 29 años tienen una frecuencia acumulada del 86.21%, lo que indica que la gran mayoría de los estudiantes sordos en la universidad ECCI tienen edades dentro de ese rango. Cifras que,

respecto al año de matrícula más común entre los estudiantes sordos de la Universidad ECCI, sede Bogotá, es 2022, con un total de 34 estudiantes. El segundo año de matrícula más común es 2023, con 10 estudiantes. En 2019, se inscribieron 7 estudiantes sordos. En 2020, se inscribieron 5 estudiantes sordos. El año en que se matricularon menos estudiantes corresponde al periodo 2018.

Comparativa de datos analizados referente a la comunidad sorda y oyentes

Con base en los datos sociodemográficos analizados de forma independiente en la comunidad sorda y oyentes, se plantea una comparativa de estas dos comunidades, con el fin de encontrar información estadística que ayude a la toma de decisiones para mejorar la experiencia de la comunidad sorda en la Universidad ECCI, sede Bogotá. La suma de las personas oyentes es de 80,431 y la suma de las personas sordas es de 58. Se evidencia que la mayoría de la población se encuentra en los estratos 2 y 3, donde hay una gran cantidad de personas oyentes y un número significativo de personas sordas. En cambio, en los estratos más bajos (1, 4, 5 y 6), la cantidad de personas sordas es mucho menor. Esto se debe a que en los estratos más bajos hay menos acceso a la educación y la información sobre la sordera, lo que podría llevar a una falta de diagnóstico o reconocimiento de la condición. También podría estar relacionado con la disponibilidad de recursos y acceso a servicios de salud y atención médica especializada para la comunidad sorda.

3. Fase de recomendaciones

En el ítem de iluminación: Dimensión de iluminación, iluminación adecuada en el aula, iluminación adecuada en los pasillos y áreas comunes, iluminación intermitente en caso de emergencia, iluminación adecuada en áreas de videoconferencia e iluminación adecuada en áreas de interpretación. En cuanto al confort: Accesibilidad, aislamiento acústico, sistemas de alerta visual, muebles ergonómicos y temperaturas adecuadas. Finalmente, en cuanto a tecnología: software y hardware accesibles, interpretación en línea, subtítulos y traducciones, herramientas de comunicación y tecnología de vibración.

IV. RECOMENDACIONES

Hacer que las instalaciones universitarias sean cómodas y propicias para la comunidad sorda.

Asegurar un aislamiento acústico adecuado para minimizar el ruido ambiental que pueda obstaculizar la comunicación y el aprendizaje de los estudiantes sordos.

Proporcionar sistemas de alerta visual, como luces estroboscópicas o pantallas LED, en áreas críticas como salas de conferencias y dormitorios.

Proporcionar mobiliario ergonómico diseñado para la



comodidad y conveniencia de los estudiantes sordos.

Desarrollar soluciones tecnológicas, como software de subtítulo e interpretación, para los estudiantes sordos.

Organizar eventos y programas que satisfagan las necesidades de la comunidad sorda y promuevan su integración en la comunidad universitaria.

Proporcionar servicios de asesoramiento para los estudiantes sordos que puedan enfrentar desafíos y dificultades únicas.

Mejorar las condiciones de iluminación en las instalaciones universitarias para beneficio de la comunidad sorda.

Asegurar una iluminación adecuada en los pasillos y áreas comunes, como bibliotecas, cafeterías, salas de estudio y áreas recreativas, para un fácil movimiento y una visibilidad clara.

Asegurar una iluminación adecuada en las áreas de interpretación, como auditorios y aulas, para ayudar a los intérpretes de lengua de signos a trabajar de manera eficiente.

Se sugiere realizar un trabajo de investigación en el cual se involucre los estudiantes de la comunidad sorda que no continuaron sus estudios y comparar resultados con los que aún continúan su formación profesional en la universidad.

Realizar contacto de forma periódica con los estudiantes de la comunidad sorda que finalizaron su formación con éxito, los que desertaron y los que quieren hacer parte de la universidad ECCI, con el fin de conocer su experiencia y percepción respecto al entorno universitario, esto con el fin de impactar positivamente en la permanencia y deserción académica.

V. REFERENCIAS

- [1] J. Barragán Sánchez, «Integración de tecnología en el proceso de enseñanza - aprendizaje,» *SCRIBD Slideshare*, pp. 1-6, 2014.
- [2] B. Carrera y C. Mazarrella, «Vygotsky: enfoque sociocultural,» *Educere*, vol. 5, n° 13, pp. 41-44, 2001.
- [3] J. Duarte Duarte, «Ambientes de aprendizaje. Una aproximación conceptual,» *Revista Iberoamericana De Educación*, vol. 33, n° 1, pp. 1-18, 2003.
- [4] R. Hernández Sampieri, Metodología de la investigación, México D.F.: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2014.
- [5] D. Postgrados, «Universidad ECCI,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.ecci.edu.co/actualidad/premio-en-analitica-de-datos-con-enfoque-inclusivo/>. [Último acceso: 15 Enero 2023].
- [6] M. Sylva Lazo, «Dialnet,» Septiembre 2009. [En línea]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5210288.pdf>. [Último acceso: 3 Febrero 2023].
- [7] J. Vergel, Aula 360 - Ambientes y experiencia de aprendizaje Vol.II, Kassani, 2015.
- [8] B. D. V. P. Bermúdez J., «El Sistema educativo colombiano en el camino,» 18 05 2016. [En línea]. Available: <http://www.ecr.edu.co/documentos/investigacion/revista/Volumen-8.pdf>. [Último acceso: 03 02 2023].

- [9] F. Aragall, «La accesibilidad en los centros educativos.,» 2010. [En línea]. Available: <https://www.mecd.gob.es/dms-static/6cf8d7ac-606a-4362-92ef-84d31ded7a1e/2010accesibilidad-centros-educativos-mayo.pdf>. [Último acceso: 3 2 2023].
- [10] C. S. d. E. d. Bogotá., «Ambientes de aprendizaje para el desarrollo humano.,» 2012. [En línea]. Available: http://www.redacademica.edu.co/archivos/red-academica/colegios/curriculo/final_cartilla_volumen3_web.pdf.
- [11] U. ECCI, «Univerisdad Nacional de Colombia,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.bdigital.unal.edu.co/5763/1/9789587611120.pdf>. [Último acceso: 2017 10 27].
- [12] DANE, «Información Estadística de la Discapacidad.,» 2004. [En línea]. Available: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/discapacidad/inform_estad. [Último acceso: 15 05 2016].
- [13] DANE, «Marco Legal de la Discapacidad,» [En línea]. Available: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/discapacidad/marco_legal.pdf. [Último acceso: 2016 05 02].
- [14] G. Echeita, «Educación para la inclusión o educación sin exclusiones.Ley 982 del 2005.,» 2007. [En línea].
- [15] C. E. y. V. M. N. GARCIA, Estudio Sobre las metodologías para, Medellín: Tesis de grado, 2007.
- [16] M. Moreno, Barreras en la transición del colegio a la universidad. Una barrera la formación de personas sordas en Bogotá., Bogotá., 2011.
- [17] T. A. M. B.-H. K. V. M. S. L. Booth, «Desarrollando el aprendizaje y la participación en las escuelas.,» *CSIE y Consorcio*, pp. 15-25, 2000.



NANOTECNOLOGÍA: SOBRE LAS DIMINUTAS ESTRUCTURAS EN LAS QUE SE EDIFICA LA COMPRENSIÓN DEL UNIVERSO

Jorge A. Calderón , Vargas-Yara, G. , Yerman Jahir Avila Garzón
SENA Centro Metalmecánico - Regional Distrito Capital -I Grupo GICEMET
jacalderon@sena.edu.co

Resumen—En esta oportunidad la editorial de la revista ha sido tomada como un espacio para discutir los principales fundamentos sobre la nanotecnología y cómo el avance en este campo ha permitido que procesos como la cuarta revolución industrial se estén dando actualmente. Además, ofrece la posibilidad de destacar algunos de los desarrollos, a vista de los autores, más interesantes. Paralelamente, comenta la prospectiva para las áreas tecnológicas del centro metalmecánico y vislumbra los retos que la institución debe comenzar a asumir, teniendo en cuenta que, los esfuerzos en pro de comprender la naturaleza deben involucrar una consciencia sobre la humanidad como parte esencial del cosmos y dirigirse a la solución de las problemáticas profundas que aquejan a la sociedad colombiana.

I. CUANDO LA SUMA DE LAS PARTES ES MAYOR QUE EL TODO

Una de las principales características que destacan a la humanidad como especie es su capacidad de recolectar información de su entorno, analizarla y transmitirla a las nuevas generaciones. La adquisición de dicha información comenzó a través de los sentidos: el tacto, el gusto, el olfato, el oído y la vista. El registro de la información para la subsistencia humana por medio del ADN y los procesos evolutivos, han permitido que el ser humano cuente con una resolución para nada despreciable sobre el desarrollo de sus capacidades sensoriales, teniendo en cuenta que la mayor cantidad del progreso evolutivo fue invertido en el crecimiento y desarrollo del cerebro, y por ende en el logro de procesos cognitivos más complejos como los sentidos, la memoria y el lenguaje [1]. Estos primeros instrumentos de medida, si bien comparados con la especialización de otros animales pueden ser considerados algo rudimentario, son el comienzo de la noción de medida y definieron las primeras formas de entender el mundo.

Así mismo, la aparición de las herramientas conformó un potente mecanismo para la adquisición y acumulación del conocimiento y el saber en las diferentes dimensiones del ser humano. Su tecnificación y perfeccionamiento establecen un medio para la exploración de lo que lo rodea conformando un progreso cíclico, en el que cada herramienta mejorada permite la creación de otra más sofisticada y con ella una adquisición de nuevos conocimientos.

En este sentido, desde la primera vez que se apuntó un catalejo al cielo y pasó de ser un simple artefacto de navegación a convertirse en un potente instrumento para el estudio de planetas y demás astros, el ser humano ha sido persistente en el mejoramiento de todos los instrumentos de medición que representan una extensión de sus propios sentidos. Esto ha permitido transformar el mundo, reconocerse como parte del cosmos y despojarse de la sintética visión de ser observadores de la naturaleza, contemplándose como una parte esencial de los sistemas en estudio.

Esta transformación en la capacidad de entendimiento de los fenómenos naturales, y la percepción del observador como parte esencial del fenómeno en estudio, fue consecuencia del fracaso de la teoría electromagnética de Maxwell y las leyes de la mecánica de Newton al intentar explicar fenómenos como la emisión de radiación de los cuerpos al elevar su temperatura, tal como ocurre en el filamento de una bombilla (radiación de cuerpo negro [2]), o la producción de corriente eléctrica en un metal a partir de la incidencia de la luz (efecto fotoeléctrico [3]) como ocurre en los metales al iluminarlos con luz ultravioleta, entre otros.

Bajo la concepción de la ciencia, la descripción del universo ha contado con herramientas y teorías que persiguen la esencia de todas las cosas. De esta forma, imaginar la existencia de los átomos ha impulsado a la humanidad hacia nuevas fronteras convirtiendo la idea de los griegos, por medio de impresionantes pilares matemáticos y experimentales como el Modelo Estándar [3] y el Gran Colisionador de Hadrones (LHC por sus siglas en inglés) [4], en recursos y medios para la explicación de lo observado en el mundo material. Esto se logra, diseccionando los cuerpos materiales hasta obtener los diminutos “ladrillos” esenciales. Por lo que, el fracaso en la explicación de los fenómenos físicos como el efecto fotoeléctrico y la radiación de cuerpo negro, por parte de la perspectiva newtoniana, sentaron las bases de las peculiaridades del mundo en sus mínimas escalas, demarcando así, la aparición de la mecánica cuántica [2].

En la actualidad, la concepción del universo se aborda desde el estudio y comportamiento de las partículas fundamentales



y las diminutas estructuras formadas tanto artificial como naturalmente, las cuales representan una de las líneas de investigación más prolíferas de la ciencia de hoy y será de las más aplicadas en la ciencia del mañana, una visión dada por el premio Nobel Richard Feynman conocida como *nanotecnología* [5].

II. CUANDO SE TRATA DE MATERIALES, EL TAMAÑO SÍ IMPORTA

En consecuencia, es necesario entender que los dispositivos electrónicos de hoy funcionan con base en el conocimiento de las propiedades de los materiales, y del comportamiento de los portadores de carga en ellos, a dimensiones reducidas, por lo que la *nanotecnología* suele definirse como la manipulación precisa de la materia a nivel molecular y atómico para el diseño y fabricación de productos [6]. Convencionalmente, se consideran materiales o dispositivos *nanométricos* aquellos donde al menos una de sus dimensiones posee una longitud menor a 100 nm, aunque éste no es un requerimiento obligatorio, si ha sido ampliamente divulgado [6], [7].

De esta manera, el aprovechamiento de este grado de manipulación atómica de la materia, ha sido trascendental en las transformaciones de las actividades industriales y sociales en general. Así como la aparición del transistor se convirtió en la piedra angular del desarrollo de la electrónica convencional y por ende dio paso a la revolución industrial de la informática y las telecomunicaciones conocida como la tercera revolución industrial, el desarrollo de técnicas de fabricación sofisticadas para la generación de recubrimientos y unidades de orden nanométrico convirtieron a la nanotecnología en el ápice de la investigación y el desarrollo tecnológico contemporáneo [7], [8].

Resultado de lo anteriormente mencionado, puede verse en la construcción robótica dirigida a control remoto más pequeña del mundo publicada este año por investigadores de la universidad de Northwestern en Estados Unidos (ver Fig. 1) [9].

Este robot, que puede controlarse remotamente, es consecuencia de los importantes avances sobre la fabricación de materiales con propiedades mecánicas que sólo pueden darse como efecto del mundo atómico. En este caso, el control sobre las transiciones cristalinas, es decir, sobre el posicionamiento relativo de los átomos en un material, dota al mismo de la capacidad de tener un “registro” de la forma inicial en la que es fabricado, y por medio de un estímulo, por ejemplo, un incremento en la temperatura, se genera una contracción que lo deforma. La secuencia entre presencia y ausencia del estímulo le permite al material flexionarse al cambiar de forma. Los materiales que tienen esta característica son conocidos como Aleaciones con Memoria de Forma (SMA por sus siglas en inglés) [9].

En el desarrollo obtenido por los investigadores de la universidad de Northwestern, la SMA utilizada es conocida como nitinol y es una aleación entre Níquel y Titanio, cuyas propiedades mecánicas al transitar de la fase austenítica a la fase martensítica le permite pasar de una figura 3D a una en 2D [9], lo que crea un mecanismo por medio del cual la carcasa del robot puede realizar desplazamientos.

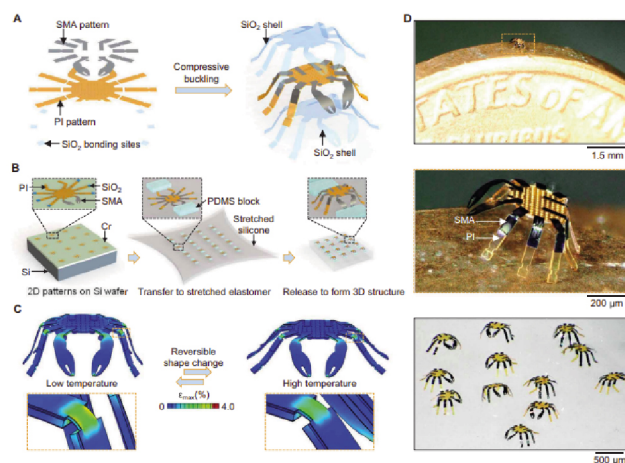


Fig. 1. Imagen en la que se ilustran los procesos de fabricación, simulación de actuación del robot y la vista comparativa del robot submilimétrico construido. Tomado de [9].

Es importante resaltar que los autores de este interesante avance tecnológico recurrieron a procesos de fabricación compatibles con varias técnicas de depósito y grabado de películas delgadas, enfoque de modelado láser y métodos de fotolitografía [9], ciertamente, cercanos a los procesos industriales actuales para la manufactura de dispositivos electrónicos, lo que favorece su escalamiento a la producción masiva. Además, esta compatibilidad puede ser aprovechada en la diversidad de geometrías que pueden lograrse en esta clase de dispositivos, dirigiendo el diseño a la necesidad específica a resolver.

Así pues, en la Fig. 1 (A) se muestra una ilustración esquemática del robot 3D inspirado en los cangrejos “*peekytoe*”. Mientras que en la Fig. 1 (B) se ilustra una representación esquemática del proceso de fabricación. Con el fin de determinar la actuación reversible que equilibra las fuerzas asociadas con las transiciones de fase en una SMA que produce la resiliencia elástica de la carcasa en la Fig. 1 (C) se presentan los resultados de la simulación realizada por medio del análisis por Elementos Finitos (FEA por sus siglas en inglés). Y por último, la Fig. 1 (D) que muestra el tamaño del robot comparado con el borde de una moneda de 1 centavo de dolar a diferentes escalas como son, 1,5 mm y 200 μm, respectivamente. Las proyecciones de este tipo de desarrollos van orientados fuertemente a la generación de nuevas herramientas para la realización de cirugías cada vez menos invasivas y de una mayor precisión, lo que permite

tener un control más detallado de las zonas afectadas por una enfermedad y su debido tratamiento [9].

Finalmente, la *nanotecnología* ha llegado a tener incidencia en todo ámbito productivo y social de la humanidad. Desde el desarrollo de pesticidas, fertilizantes y tecnologías para el crecimiento eficiente de cultivos [10], [11] hasta el diagnóstico y los tratamientos médicos de enfermedades como el Alzheimer [12]. Sin embargo, su mayor impacto ha sido en campos como la electrónica de crecimiento exponencial, donde en varios aspectos como las capacidades de cómputo, la cantidad de datos producidos y procesados, aumento de cantidad de transistores y miniaturización de estos se crea una constante necesidad de materiales y técnicas novedosas para obtenerlos.

En 1965 G.E. Moore proyecta una duplicación de cantidad de transistores por circuito integrado cada 2 años [8]. Esta predicción se conoce como “ley de Moore” y sigue vigente incluso en la última década donde se ha reducido esta velocidad debido a inconvenientes económicos y/o técnicos. Es preciso entender que si bien esta razón de progreso en la capacidad de transistores por circuito integrado es conocida como “Ley”, en sí misma, sólo representa una estimación del comportamiento de la industria electrónica y es tomada más como meta que como una obligatoriedad de la producción [8].

Un ejemplo de la constante reducción de tamaños y mejores tecnologías es la miniaturización de elementos de control industrial como los Controladores Lógicos Programables (PLC por sus siglas en inglés) llegando incluso a hablar de micro y nano PLC en los cuales las áreas ocupadas por todo el dispositivo reducen el espacio requerido para toda la solución.

Tomando como referente este concepto, se percibe que los nuevos materiales y la nanotecnología permiten que cada vez se tengan mejores tecnologías y por consiguiente mejores aplicaciones en áreas como la automatización industrial, la robótica, energías limpias e incluso en campos como la tecnificación del agro [10], [11] presentes en el campo de acción de los egresados de programas ofertados por instituciones de todo el mundo, en particular el Centro Metalmecánico - SENA.

Estas nuevas tecnologías permiten no solo la reducción de tamaños y consumos energéticos sino la inclusión de características propias del futuro del control y la automatización. Dispositivos de bajo costo tienen acceso a redes de comunicaciones de última generación como las redes WiFi industrial, redes 5G y redes industriales de alta capacidad de transmisión de información tanto en velocidades como volúmenes de datos.

Por tanto, es imprescindible que las entidades formadoras de capital humano enfocado a las labores que ahora están

teniendo una etapa de tránsito y aquellas que aparecerán en un futuro próximo, se encuentren a la vanguardia en mecanismos de formación profesional integral relacionados con la exploración, aprendizaje y desarrollo de aplicaciones que correspondan a la tendencia mundial impartida por las corrientes productivas de la industria 4.0. Toda vez que es necesario abandonar la imagen del trabajador que realiza actividades repetitivas, fatigantes y riesgosas, por aquellos trabajadores conocedores de las nuevas tecnologías, invirtiendo en las habilidades de análisis, trabajo en equipo y eficiencia, centralizando la producción en la cooperatividad entre los robots y los operarios. Así es posible evitar emplear a las personas en tareas con un alto riesgo de automatización y generar empleos entorno a la interacción humano - máquina [13].

III. INFLUENCIA DE LA NANOTECNOLOGÍA EN EL CENTRO METALMECÁNICO: EL FUTURO ES AHORA

En concordancia con lo expuesto a lo largo de esta editorial, es importante resaltar las temáticas que pueden tener una incidencia en el desarrollo de la visión y misión de las instituciones formadoras de capital humano calificado como el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA).

Por tanto, se realizó un ejercicio de prospectiva y vigilancia tecnológica, elaborado para las áreas temáticas de formación y servicios del Centro Metalmecánico del Servicio Nacional de Aprendizaje, se buscó la identificación de elementos para la construcción de un plan tecnológico con visión de 10 años [14]. En este proceso, con base en el análisis de información de generación de conocimiento y registro de propiedad intelectual se determinaron las principales tendencias que condicionan y orientan el desarrollo de procesos, productos y servicios en las áreas priorizadas [14].

En este contexto para el área de plásticos se tienen las líneas tecnológicas asociadas con polímeros compuestos, biodegradables y economía circular. Las tecnologías en automatización fueron las de transformación digital, energías renovables y sistemas expertos. En cuanto al área de mantenimiento se identificaron las tecnologías asociadas con climatización en grandes superficies, mantenimiento preventivo, mantenimiento predictivo, mantenimiento correctivo y termografía infrarroja. Para el caso de mecanizado se observan las tecnologías de transformación digital, métodos, máquinas, herramientas y automatización.

En las líneas tecnológicas identificadas para las áreas se observan algunas sublíneas comunes relacionadas con el diseño y producción asistida por procesos sistematizados, industria 4.0, internet de las cosas, robótica e inteligencia artificial, así como aplicaciones especiales para materiales, máquinas y herramientas. De igual manera, vale la pena resaltar que en las tecnologías mencionadas la nanotecnología contribuiría a incrementar en el potencial de aplicaciones y productos



asociados con técnicas de electrónica y nuevos materiales, entre otros.

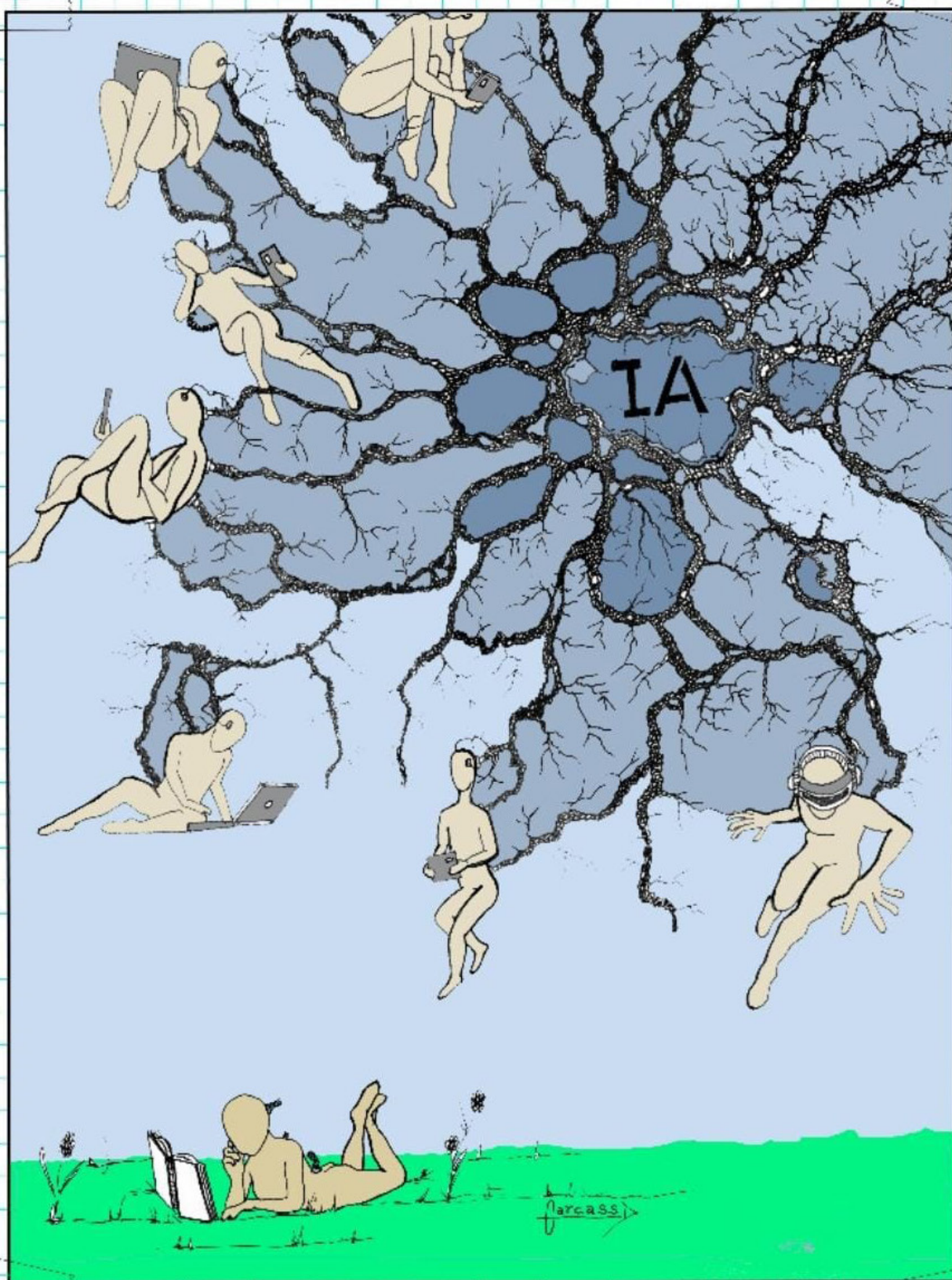
REFERENCIAS

- [1] M. Rosales-Reynoso, C. Juárez-Vázquez, and P. Barros-Núñez, "Evolución y genómica del cerebro humano," *Neurología*, vol. 33, no. 4, pp. 254–265, 2018. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0213485315001474>
- [2] C. Gearhart, *Black-Body Radiation*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009, pp. 39–42. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/978-3-540-70626-7_14
- [3] "Introduction," in *Handbook of Mineral Spectroscopy*, J. T. Klopogge and B. J. Wood, Eds. Elsevier, 2021, pp. xiii–xxv. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128045220020010>
- [4] T. W. Kibble, "The standard model of particle physics," *European Review*, vol. 23, no. 1, p. 36–44, 2015.
- [5] A. Dussán, H. P. Quiroz, and J. A. Calderón Cómbita, *Nanomateriales que revolucionan la tecnología: Perspectivas y aplicaciones en espintrónica*. Bogotá D. C., Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2020, pp. 9–10. [Online]. Available: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79954>
- [6] M. D'Addario, *Mecatrónica*. Lulu.com. [Online]. Available: <https://books.google.com.co/books?id=2BFtDwAAQBAJ>
- [7] C. Poole and F. Owens, *Introduction to Nanotechnology*, ser. A John Wiley & Sons, Inc., publication. Wiley, 2003. [Online]. Available: <https://books.google.com.co/books?id=XfzgEoY9SNkC>
- [8] J. A. Calderón Cómbita, "Estudio de las propiedades físicas de sistemas multicapas basados en gamnsb para aplicaciones en espintrónica," pp. 1–215, 2021.
- [9] M. Han, X. Guo, X. Chen, C. Liang, H. Zhao, Q. Zhang, W. Bai, F. Zhang, H. Wei, C. Wu, Q. Cui, S. Yao, B. Sun, Y. Yang, Q. Yang, Y. Ma, Z. Xue, J. W. Kwak, T. Jin, Q. Tu, E. Song, Z. Tian, Y. Mei, D. Fang, H. Zhang, Y. Huang, Y. Zhang, and J. A. Rogers, "Submillimeter-scale multimaterial terrestrial robots," *Science Robotics*, vol. 7, no. 66, p. eabn0602, 2022. [Online]. Available: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/scirobotics.abn0602>
- [10] M. Bala, S. Kumar Bansal, and F. Fatima, "Nanotechnology: A boon for agriculture," *Materials Today: Proceedings*, 2022. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785322063283>
- [11] M. Haris, T. Hussain, H. I. Mohamed, A. Khan, M. S. Ansari, A. Tauseef, A. A. Khan, and N. Akhtar, "Nanotechnology – a new frontier of nano-farming in agricultural and food production and its development," *Science of The Total Environment*, vol. 857, p. 159639, 2023. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722067390>
- [12] L. Li, R. He, H. Yan, Z. Leng, S. Zhu, and Z. Gu, "Nanotechnology for the diagnosis and treatment of alzheimer's disease: A bibliometric analysis," *Nano Today*, vol. 47, p. 101654, 2022. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1748013222002821>
- [13] J. A. Calderón Cómbita, "Estudio de las propiedades físicas de sistemas multicapas basados en gamnsb para aplicaciones en espintrónica," p. 36–44, 2021.
- [14] C. V. Carmona Cadavid, K. E. Morales Ochoa, G. Vargas Yara, and D. D. Rodríguez Pinto, "Prospectiva tecnológica en la formación profesional: Caso centro metalmecánico del sena regional distrito capital," p. 1–136, 2018.



Presentan:

conCiencia



Por: Carlos Alfonso Rodríguez Castillo



Revista Metalnova - Producto SENNOVA

Centro Metalmecánico
Cra. 30 #17-91 Sur, Bogotá



@SENAComunica

www.sena.edu.co