

Ciencia, Tecnología e Innovación

No.2 /2019

# MetalNNova



Revista SENA - Centro Metalmeccánico  
Regional Distrito Capital



# Revista METALNNOVA

## SENA

Centro Metalmecánico  
Regional Distrito Capital

**Director General del SENA:**  
Carlos Mario Estrada

**Director de Formación Dirección General:**  
Farid de Jesús Figueroa Torres

**Coordinador SENNOVA ( E ) Dirección  
General:**  
Farid de Jesús Figueroa Torres.

**Subdirector Centro Metalmecánico:**  
Jairo Iván Marín Másmela

**Asesora Centro Metalmecánico:**  
Claudia María Martínez Zuluaga.

**Editor Revista Metalnova y Gestor  
SENNOVA Centro Metalmecánico:**  
Darwin Dubay Rodríguez Pinto  
Andrés Felipe Ruiz Lozada.

**Estilo:** Marjorye Villabona Cárdenas.

**Caricatura:** Carlos Alfonso Rodríguez Castillo

**“METALNNOVA”** Bienvenidos al segundo número de la revista Metalnova en donde exponemos los proyectos investigativos desarrollados por nuestros semilleros conformado por aprendices de las áreas de Mecatrónica, automatización, Mantenimiento y Mecanizado, que están encaminados a dar solución a problemas cotidianos desde sus conocimientos en las diferentes áreas. Queremos que se sientan inspirados por los artículos al igual que al desarrollar sus proyectos.



“No dejaremos de explorar y al final de nuestra búsqueda llegaremos a donde empezamos y conoceremos por primera vez el lugar.”

**THOMAS STEARNS ELIOT**



## Contenido

### Página

Aproximación al análisis de la viruta obtenida por micro fresado planar en aleación de aluminio 7075	4
Propuesta de aulas inteligentes para las personas con limitación auditiva	8
Desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo para los equipos de los talleres de Soldadura, Mecatrónica, Hidráulica y Refrigeración del Centro CIES del SENA de Cúcuta, Norte de Santander	14
Diseño de un sistema para la emulación de movimiento una mano Robotizada a bajo costo.	23
Diseño de un sistema de percepción del impacto de choques mecánicos y golpes en el cerebro	28
La Caja – Multimedia MakerLab: Un modelo de cadena producción.	34
Identificador de apósitos y material quirúrgico en cirugías.	39
<b>Con Ciencia.</b>	<b>X</b>

# Aproximación al análisis de la viruta obtenida por micro fresado planar en aleación de aluminio 7075

Mario José Remolina León,  
Centro Metalmecánico SENA, Distrito Capital  
Universidad nacional de Colombia  
a servicio nacional de aprendizaje-SENA  
mjremolinal@unal.edu.co  
mremolinal@sena.edu.co

Lina Fernanda Toro Toro,  
Centro Metalmecánico SENA, Distrito Capital  
Universidad nacional de Colombia  
a servicio nacional de aprendizaje-SENA  
ltorot@unal.edu.co  
lftoro9@misena.edu.co

## Resumen

Este artículo muestra un método de aproximación experimental enfocado al estudio de la viruta generada en el proceso de micro fresado plano sobre Aleación de Aluminio 7075. Se muestra un procedimiento de análisis de la viruta obtenida, realizando Ensayos de Dureza, Metalografía y Microscopía Electrónica de Barrido (SEM).

### Palabras Clave:

Micro maquinado, Micro Fresado Plano, Viruta.

## 1. Introducción

Actualmente, se ha mostrado un creciente interés por la obtención de una mayor precisión y miniaturización en una amplia gama de actividades de manufactura. Estas tendencias crecientes han dado lugar a nuevas exigencias en el maquinado, especialmente a escala micro [1].

Un ejemplo actual se encuentra en la gran demanda de micro piezas en los campos de defensa nacional de naciones orientales. La realización de micro ejes que se utilizan ampliamente en sistemas micro mecánicos en aleación 7075, son analizados en su viabilidad y fiabilidad en relación al proceso de micro corte. [2].

Reconocer los atributos físicos del proceso de micro maquinado estableciendo las causas y los patrones de los fenómenos que lo acompañan, dan una guía hacia una gestión racional del proceso de micro manufactura, mejorando procesos productivos, economía de proceso, mejor obtención de acabados superficiales y piezas mecanizadas de mayor calidad. [3].

El presente estudio remarca la exploración experimental del análisis de la viruta generada por micro fresado plano en Aleación de Aluminio 7075.

El objetivo principal fue evaluar algunos de los fenómenos físicos en la viruta, teniendo en cuenta morfologías, geometrías y micro durezas.

## 2. Procedimiento Experimental

### 2.1 Materiales

Bloque 30x52x20.5mm de Aleación de Aluminio 7075 (Duraluminio).

Se verificó la composición, antes y después del proceso de micro fresado por las técnicas EDX (Energy-dispersive X-ray spectroscopy) y XRF (X-ray fluorescence).

### 2.2 Equipos, Herramientas de corte y Montaje

Centro de mecanizado DOOSAN DNM 400 II multi-ejes con cuarto eje indexable (fig. 1). Dimensiones de área de corte:

- Eje X: 762 mm
- Eje Y: 435 mm
- Eje Z: 510 mm

Resolución de 1  $\mu$ m.

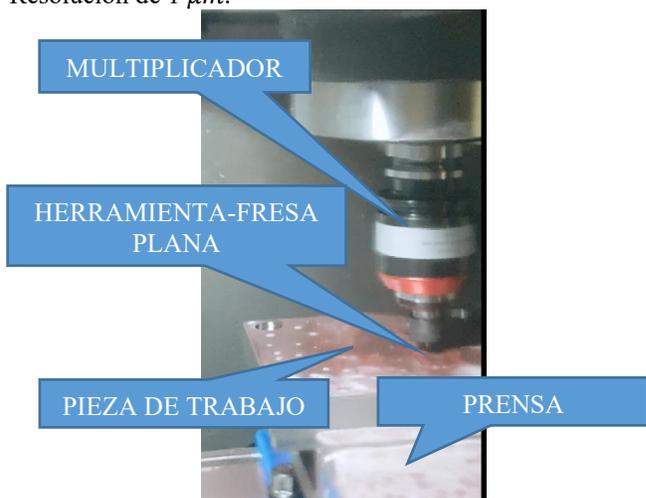


Figura 1: Montaje experimento en DOOSAN DNM 400 II

Multiplicador de RPMs Madaula, relación 5:1 (RPMs Máx. 30 000). Pinzas ER-16. Fresa Plana GUHRING No. 5507, Z=3,  $\phi=2,0$  mm. Material: Carburo – UF. Recubrimiento: Fire®. Tolerancia en corte  $\phi h10$ . Ángulo de Hélice  $\omega=30^\circ$ . Ángulo de Desprendimiento  $\gamma=9^\circ$ . Ángulo de Incidencia  $\alpha=8^\circ$ . Ángulo Principal en el Plano  $\phi=45^\circ$ . Radio

de filo de corte  $\rho=0.025\text{mm}$ , medido en Preseteador Zoller Smile 400 con cámara telecéntrica (20X).

### 2.3 Procedimiento de Micro Corte (Micro Fresado Plano)

Los parámetros básicos guía para el micro maquinado según fabricante – Guhring [13] fueron:

<b>Parámetros de Corte Aleación 7075</b>			
Velocidad de Corte $V_{cAl}$ [m/min]	RPMs $n_{Al}$	Avance $v_{fAl}$ [mm/min]	Avance por Diente $f_{zAl}$ [mm/DIENTE]
405	64 457*	375	0.005

Tabla 1. Parámetros de Corte Aleación 7075 [13]

\*Se optó por utilizar 25 000 RPMs, debido a la capacidad del dispositivo. El equipo multiplicador, según fabricante, sólo puede estar en un régimen constante de alta velocidad en tiempos restringidos.

**PLANEADO**  
**MATERIAL: DURALUMINIO**  
**PROF. PASADA: 0,2 mm**  
**n MULTIPLICADOR: 25 000 RPMs**  
**n HUSILLO: 5 000 RPMs**

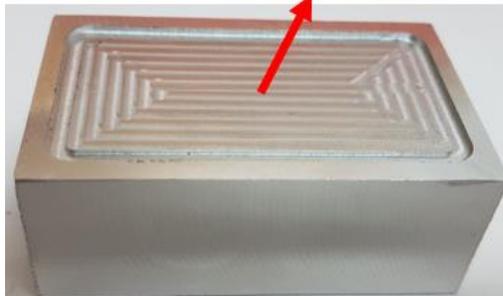


Figura 2. Probeta Aleación de Aluminio 7075

Para el experimento se realizaron pockets (vaciados) con profundidades de 0.2 mm sobre la aleación 7075 (fig. 2). El fabricante recomienda máximo el 50% del diámetro efectivo de corte como profundidad. Se elige el 10% ( $200\mu\text{m}$ ) con el fin de estar en el rasgo de orientación sobre la escala de  $\mu$ -Procesos de corte – Micro Maquinado, “Proceso de mecanizado en el que los espesores de la capa de material eliminado con una sola pasada del filo de corte oscilan entre 1 y  $999\mu\text{m}$ ” [4]. Se utilizó el 70% del diámetro con el objetivo de no obtener una sobre carga en los dientes y poseer mayor contacto de área sobre el material [9].

Con base en los resultados obtenidos sobre diferentes estrategias de corte [5], se elige la estrategia Constant Overlap Spiral Cutting (Corte en Espiral con Superposición Constante), con una dirección de mecanizado en paralelo (Climb), debido a la reducción en la carga del filo de corte, mejor acabado superficial y mejora de la vida útil de la herramienta. El retroceso (Backlash) es contrarrestado automáticamente por el centro de mecanizado [6]. Se utilizó refrigerante CIMCOOL CIMTECH 100.

### 2.4 Obtención de la Viruta

Una porción de la viruta generada en el proceso de micro corte, fue encapsulada en baquelita para su respectivo análisis metalográfico.

## 3. Resultados

### 3.1 Exploración metalográfica de la viruta en Aleación 7075.

El estudio metalográfico se realizó sobre el material en bruto (stock) (fig. 3) y la viruta (fig. 4).

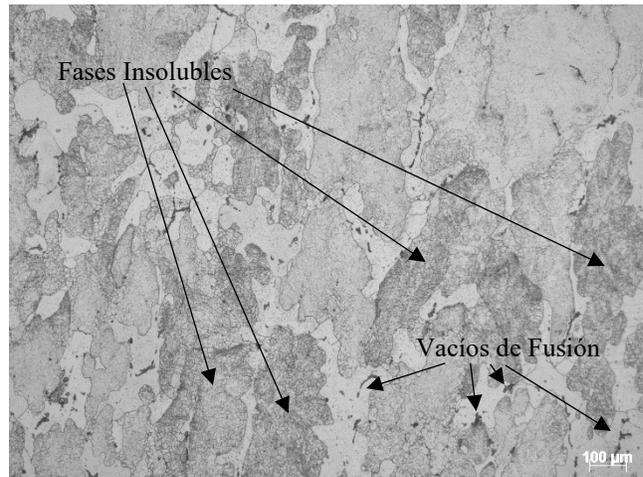


Figura 3. Metalografía Aleación 7075 Stock Material

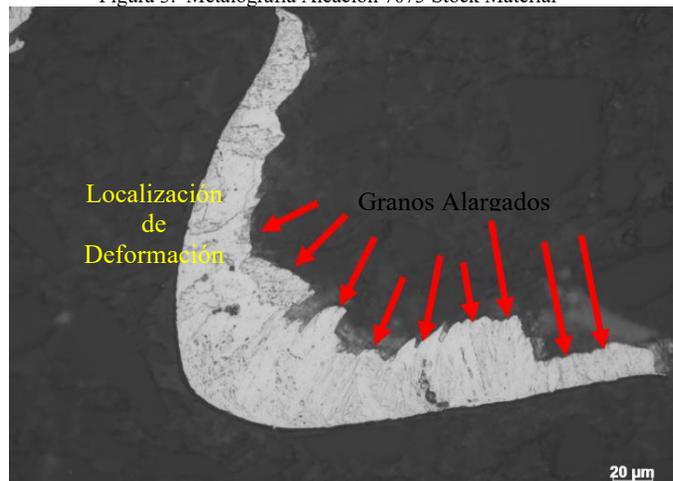


Figura 4. Metalografía Aleación 7075 Viruta  $20\mu\text{m}$

El reactivo utilizado para el análisis metalográfico de la Aleación 7075 fue Keller (Composición: 2 mL HF (48%), 3 mL HCl concentrado, 5mL HNO3 concentrado, 190 mL H2O)[7]. Se observan vacíos de fusión (puntos negros) y aglomeración de fases insolubles (gris oscuro). (fig. 3,4) En la viruta se observa un alargamiento de los granos con una respectiva orientación. (fig. 4)

### 3.2 Visualización en Microscopio Óptico de Barrido

Se realizó una visualización de la geometría de la viruta derivada en las pruebas de Aleación 7075 (fig. 5)

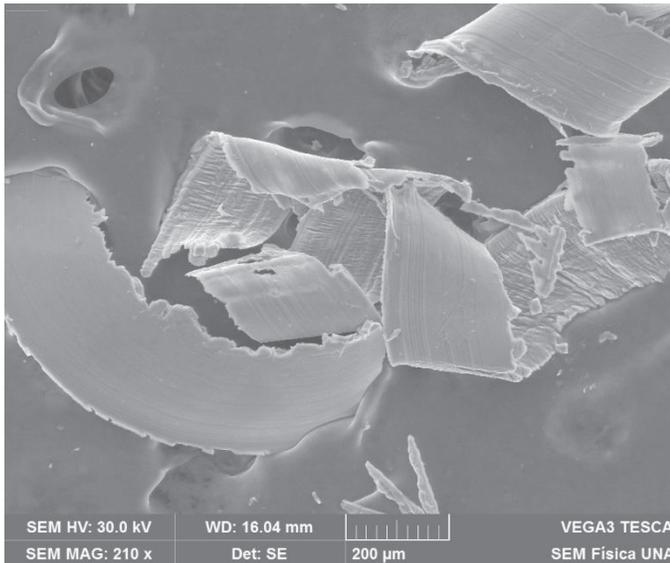


Figura 5. Superficies de viruta de Aleación de Aluminio en SEM

Se observa en la Zona de Corte Primaria, una superficie estriada con fraccionamiento en algunos de los ejemplares.

La superficie de la Zona de Corte Secundaria, muestra las líneas de arranque generadas en el proceso de corte.

### 3.3 Evaluación de la Micro Dureza

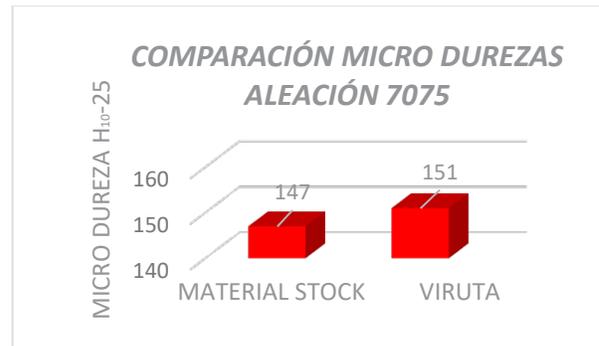
Se obtuvo valores de Micro Dureza  $H_{10-25}$ , en stock (Tabla 2) y en la viruta (Tabla 3). La toma de dureza, se realizó aleatoriamente, sobre la viruta y el stock, bajo norma ASTM E 384-16, en un equipo LECO M-400-G2.

Aleación de Aluminio 7075					
Medidas [ $\mu\text{m}$ ]	16.9	17.3	18	17.6	17.5
	17.4	18.2	17.7	18.3	18.3
Promedio	17.15	17.75	17.85	17.95	17.9
Micro-Dureza [ $\frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$ ]	157	147	145	143	144
Micro Dureza Promedio $147 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$					

Tabla 2. Micro Dureza Stock Aleación de Aluminio

Viruta de Aleación de Aluminio 7075			
Medidas [ $\mu\text{m}$ ]	17.3	18.5	16.9
	17.9	18	16.5
Promedio	17.6	18.25	16.7
Micro-Dureza [ $\frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$ ]	149	139	166
Micro Dureza Promedio $151 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$			

Tabla 3. Micro Dureza de Viruta Aleación de Aluminio



Gráfica 1. Comparación Micro Dureza de Viruta y Material Stock - Aleación de Aluminio

## 4. Discusión de Resultados

En la sección 3.1 y 3.2, se observa (fig. 3,4 y 5) que, para la aleación, las virutas muestran deformación en los granos, siendo estos orientados y alargados por el proceso de micro fresado. Se constata que la formación de viruta por mecanizado, es una forma efectiva de SPD (Severe Plastic Deformation) [8]. Este fenómeno describe (según I.A. TIME) que, desde la zona de deformación, los granos de cada material empiezan a deformarse, alargándose y apilándose por secciones [9].

Las muestras obtenidas, están en el final del ciclo de formación. En esta etapa, las virutas tienen una estructura con granos severamente deformados, los cuales son similares a aquellos que experimentan deformación plástica bajo esfuerzos combinados. [10]

En la sección 3.3, se observa un comportamiento de endurecimiento en la viruta generada en el proceso (Gráfica 1). Al observar la metalografía de la viruta de 7075 (fig. 4), puede inferirse que esta viruta pudo estar sometida a una temperatura de  $\pm 500^\circ\text{C}$ , siendo esta óptima para el tratamiento térmico de templeado sobre dicha aleación [11].

La Aleación 7075 pertenece al grupo de Aleaciones de Aluminio que envejecen de forma natural y las propiedades mecánicas más altas se obtienen después del envejecimiento a la temperatura ambiente durante 5-6 días [12][11], esto da una señal del endurecimiento de la viruta generada sobre la Aleación.

## 5. Conclusiones

Sobre la base del presente estudio, el análisis experimental de la viruta generada, puede resumirse en los siguientes aspectos:

1. Las orientaciones de los granos en las vistas metalográficas sobre la viruta, se muestran convergentes al fenómeno de la deformación cortante del material en el proceso de micro maquinado.
2. El mecanismo de formación de virutas mediante un proceso de cortante, puede ilustrarse mediante el desplazamiento sucesivo de cartas en una pila. Cada carta sucesiva se desplaza hacia adelante una

pequeña cantidad con respecto a su vecino mientras la herramienta de corte progresa.

3. Las distribuciones de micro dureza sobre las virutas obtenidas, invitan a realizar un detenido estudio de investigación para tratar la dispersión en los rangos de micro dureza obtenidos en esta aproximación experimental.

## 6. Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Ing. J.I. Marín Subdirector del Centro Metalmecánico SENA quien apoyó la investigación con recursos físicos, humanos y financieros. Al tecnólogo en mecanizado CNC SENA, J.D. Blanco, quien generó asistencia técnica enfocada a los procesos de micro fresado plano.

## Referencias

- [1] M. Azizur Rahman, M. Rahman. CNC microturning an application to miniaturization. 2004.
- [2] Liu Ke-fei, Zhang Zhi-jing, Liu Zhi-bing, Zhou Min, Chen Xian-zhan. Study on Cutting Technology of Miniature Parts of Duralumin Alloy. Light Alloy Fabrication Technology. 2005.
- [3] Arshinov. V. A. Metal Cutting Theory and Cutting Tool Design (In Russian). Ed MIR. Moscow. Russia. Chapter 1. 1975.
- [4] K. Gupta. Micro and Precision Manufacturing. Ed Springer. Engineering Materials. Johannesburg. South Africa. 2018.
- [5] A. Perveen and C. Molardi. Machining of Microshapes and Features. Ed Springer. Chapter 1. Pages 10-19. Republic of Kazakhstan. 2018.
- [6] Harvey Tool Company, LLC. CONVENTIONAL MILLING VS. CLIMB MILLING. Technical Resources. 2017.
- [7] ASM Handbook Metallography And Microstructures. Volume 9. 2004.
- [8] M. R. Shankar, B. C. Rao, S. Lee, S. Chandrasekar, A. H. King, W. D. Compton Severe plastic deformation (SPD) of titanium at near-ambient temperature. Acta Materialia 54. Pages 3691–3700. 2006.
- [9] E. Barbashov. Manual del Fresador. Segunda Ed. Editorial MIR. Moscú. 1981.
- [10] V.P. Astakhov. Metal Cutting Mechanics. CRC Press. Chapter 2. EEUU. 1998.
- [11] A. P. Guliáev. Metalografía. Tomo 2. Ed. MIR. Moscú. Rusia. 1977.
- [12] Y. Lakhtin. Engineering Physical Metallurgy and Heat-Treatment. MIR Publishers. Moscow. Russia. 1979.
- [13] Guhring. Catálogo Super Line. Programa ampliado. Alemania. Ed. 2016.

# Propuesta de aulas inteligentes para las personas con limitación auditiva

William Alfonso Vargas  
*Dept. Mecanica Universidad  
 ECCI  
 Centro Metalmeccánico, CMM  
 Servicio Nacional de Aprendizaje  
 SENA*  
 Bogotá, Colombia  
 wavargas76@misena.edu.co

Darwin Dubay Rodriguez  
*Grupo de investigación  
 GICEMET,  
 Centro Metalmeccánico, CMM  
 Servicio Nacional de Aprendizaje  
 SENA*  
 Bogotá, Colombia  
 drodriguezp@sena.edu.co

Héctor Iván Tangarife  
*Grupo de investigación  
 GICEMET,  
 Centro Metalmeccánico, CMM  
 Servicio Nacional de Aprendizaje  
 SENA*  
 Bogotá, Colombia  
 htangarife@sena.edu.co

**Resumen**—Se pretende diseñar una propuesta para mejorar las condiciones locativas que bordean las restricciones existentes para el acceso a la educación en la comunidad sorda, se realiza una contextualización en el marco de las políticas y normativas asociadas a la inclusión social y cultural en la educación, se realiza una caracterización de la población, donde se identifican localización, grado de pérdida auditiva, se parte del diagnóstico actual dentro de la institución, mediante software de Diseño Asistido por Computador (CAD) se diseñan los modelos de aula inteligente que involucra espacios abiertos y condiciones externas necesaria para acceso al conocimiento, a partir del proyecto, se obtienen resultados relacionados a la información propia de la comunidad y un conjunto de adecuaciones locativas relacionadas al confort de los estudiantes en términos de dimensiones visuales y físicas, planos de distribución tanto de infraestructura, como de mobiliario, se determina la importancia de realizar adecuaciones para contribuir en los procesos de inclusión social a la comunidad en condición de discapacidad.

**Keywords**—*Aulas inteligentes, educación, ambiente de aprendizaje, comunidad sorda, inclusión.*

## I. INTRODUCCION

La educación es un derecho fundamental, el cual debe garantizar no solo un proceso de enseñanza- aprendizaje, sino también contar con los recursos físicos necesarios para su ejecución, en Colombia la Constitución Política de 1991 [1], en su artículo 67 contempla que:

La educación es un derecho de la persona y un servicio público que tiene una función social; con ella se busca el acceso al conocimiento, a la ciencia, a la técnica, y a los demás bienes y valores de la cultura [2]. La educación formará al colombiano en el respeto a los derechos humanos, a la paz y a la democracia; y en la práctica del trabajo y la recreación, para el mejoramiento cultural, científico, tecnológico y para la protección del ambiente.

El Estado, la sociedad y la familia son responsables de la educación, que será obligatoria entre los cinco y los quince años de edad y que comprenderá como mínimo, un año de preescolar y nueve de educación básica [2]. La educación será

gratuita en las instituciones del Estado, sin perjuicio del cobro de derechos académicos a quienes puedan sufragarlos [3].

Corresponde al Estado regular y ejercer la suprema inspección y vigilancia de la educación con el fin de velar por su calidad, por el cumplimiento de sus fines y por la mejor formación moral [4], intelectual y física de los educandos; garantizar el adecuado cubrimiento del servicio y asegurar a los menores las condiciones necesarias para su acceso y permanencia en el sistema educativo. La Nación y las entidades territoriales participarán en la dirección, financiación y administración de los servicios educativos estatales, en los términos que señalen la Constitución y la ley.

Hoy en día se observa como las Instituciones de Educación Superior (IES), carecen en gran parte de su infraestructura organizacional, planta física y contenidos académicos, para la implementación de estrategias en la inclusión de personas con algún tipo de limitación física o cognitiva, generando así una exclusión de cierta forma, al dificultar el acceso a la educación superior y el aprendizaje como derecho fundamental del ser humano.

El Instituto Nacional para Sordos relaciona la situación actual de las organizaciones que direccionan sus objetivos al mejoramiento de las comunidades sordas. Por otro lado, el 24% cuenta con la oportunidad de acceder a la formación básica primaria y el 28% a la formación básica secundaria. Observando una diferencia en disminución de la población en un 6%, la cual decide continuar sus estudios correspondientes a la educación media alcanzando un 22% [5].

La inclusión significa, entonces, atender con calidad, pertinencia y equidad a las necesidades comunes y específicas que estas poblaciones presentan [6]. De acuerdo con el informe entregado por el Ministerio de Educación Nacional (MEN), en el sector educativo de Colombia, se presentan un sin número de desafíos que se deben trabajar en función de procesos inclusivos [7].

La Universidad ECCI sede Bogotá, ha trabajado en las áreas de tecnología y humanismo como su 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 preparación de espacios físicos, para el desarrollo del aprendizaje, teniendo en cuenta que, la comunidad sorda necesita espacios lúdicos con buena iluminación, distribución de planta, métodos de comunicación y medios tecnológicos. Es así como las aulas deben ser diseñadas cumpliendo con determinados parámetros que faciliten el aprendizaje a estas comunidades, permitiendo a sus estudiantes tener una experiencia en su entorno educativo que involucre los elementos físicos y ergonómicos.

Este proyecto tiene como finalidad diagnosticar el estado actual de los espacios donde la comunidad sorda de la universidad ECCI toma sus clases, para desarrollar una propuesta en el diseño de las aulas de aprendizaje, que cumpla con factores tecnológicos y ergonómicos que permita a las instituciones de educación superior incluir en sus modelos pedagógicos.

## II. METODOLOGÍA

El proyecto parte de un enfoque mixto, es decir, datos sistemáticos, críticos y empíricos, relacionados en un proceso de investigación que implica recolección y análisis de datos cuantitativos y cualitativos.

Esta investigación se desarrolla en las instalaciones de la universidad ECCI de Colombia, ubicada en la ciudad de Bogotá, barrio Palermo, cuenta con un departamento de articulación que se centra al desarrollo de proyectos inclusión para estudiantes con limitación auditiva de estratos socioeconómico 1, 2 y 3 en los programas de mercadeo y publicidad, diseño de modas, ingeniería de sistemas, ingeniería mecatrónica y gastronomía.

Actualmente la universidad cuenta con 92 sordos los cuales desarrollan su competencia profesional al desempeño de habilidades en el campo laboral.

Se estudian las necesidades de la comunidad sorda, la percepción por parte de los docentes e intérpretes, la comunidad administrativa y estudiantes en condición de discapacidad auditiva, también se considera en detalle las condiciones de los ambientes y entornos en el que se imparte el conocimiento hacia la población objeto de estudio.

Para validar la confiabilidad se plantean tres dimensiones enfocadas a identificar desde el aspecto comunicativo, físico y de percepción las condiciones que ofrece la universidad para garantizar el desarrollo del conocimiento.

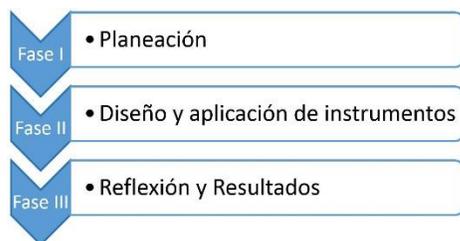


Fig. 1. Fases metodológicas del proyecto.

La fase I consiste en la identificación de la necesidad específica en la comunidad sorda para la Universidad ECCI Fig. 1, que permite clasificar las variables que guían el desarrollo de este proyecto. Se realiza un estado del arte, el cual deja ver las evidencias epistemológicas y teóricas referentes a la educación inclusiva, aulas inteligentes, ergonomía y medios tecnológicos en el proceso de aprendizaje, para luego, dar respuesta a los objetivos planteados.

La fase II Diseño y aplicación de instrumentos permite comprobar la veracidad de la investigación se utilizan encuestas como medio de recolección ya que facilita la identificación de la percepción favorable o desfavorable de un grupo de individuos frente a las diferentes variables involucradas con el tema planteado. Para poder recopilar estos datos se contará con opiniones de personal experto, docentes oyentes, estudiantes sordos e intérpretes, el cual se relacionarán en un análisis estadístico tabulando la información con el fin de definir resultados cualitativos y cuantitativos.

Para la ejecución de esta fase se proponen diferentes descriptores que permiten obtener información relacionada al componente visual y de infraestructura, los descriptores se obtienen a partir del estudio de las necesidades de la comunidad sorda, Tabla I, componente de ergonomía y dimensiones, Tabla II y en relación al componente comunicativo y de apropiación del conocimiento Tabla III. A partir de esto, se extrae información del estado actual y condiciones de la comunidad sorda y percepción de externos.

Tabla I. Descriptores dimensión visual y de percepción.

DESCRPTORES	
A.1	Se genera obstrucción visual entre el docente, el intérprete y el tablero en los espacios académicos.
A.2	Se facilita la iluminación con el fin de tomar apuntes y visibilizar la pantalla o proyector.
A.3	Las superficies de estudio y proyección son adecuadas a las clases.
A.4	Las aulas y espacios académicos cuentan con medios tecnológicos que favorecen el desarrollo del conocimiento.

Tabla II. Descriptores dimensión física.

DESCRPTORES	
B.1	El mobiliario es cómodo, ergonómico y flexible.
B.2	En los espacios académicos se cuenta con herramientas tecnológicas (pantalla, tv, proyector).
B.3	En el desarrollo de las clases se usan herramientas tecnológicas (Tablet, video, juegos, tabletas de video) con el fin de impartir y/o desarrollar el conocimiento.

<b>B.4</b>	Se incentiva el aprendizaje autónomo durante el desarrollo de las clases haciendo uso de las herramientas tecnológicas (tablets, videojuegos, tabletas de dibujo).
------------	--

La fase III Reflexión y Resultados se enfoca en realizar el análisis de datos por medio de una categorización de los aspectos que deben ser intervenidos desde el ámbito investigativo, finalmente a partir de la información se realiza una propuesta de un ambiente de aprendizaje adecuado para la comunidad sorda.

Tabla III. Descriptores dimensión Cognitiva y comunicativa.

DESCRIPTORES	
<b>C.1</b>	Los espacios o ambientes de aprendizaje involucran aspectos cognitivos, sociales y experimentales entre la comunidad sorda y estudiantes oyentes.
<b>C.2</b>	Los espacios académicos son adecuados para una óptima comunicación entre la comunidad sorda, intérprete y docentes oyentes.
<b>C.3</b>	Cuenta con herramientas tecnológicas para que el docente pueda entregar sus conocimientos de forma acertada a la comunidad sorda.
<b>C.4</b>	La metodología planteada por la universidad favorece el adecuado aprendizaje a la comunidad sorda.

Mediante software CAD se realiza un diseño de aula inteligente acondicionada a las necesidades identificadas de los estudiantes en condición de discapacidad auditiva.

### III. RESULTADOS

Los resultados en la primera fase están determinados por las encuestas realizadas a diferentes integrantes de la comunidad universitaria pertenecientes a cada uno de los descriptores que brindan información de interés para conocer la percepción en relación a condiciones de diferentes actores del proceso, entre ellos cabe destacar lo que se mencionan a continuación, sintetizados con la iniciar como se muestra:

D: Docentes

S: Sordos

I: Interpretes

Igualmente, para manejo adecuado de la información se clasifica de acuerdo a cuatro posibles estados como se puede observar a continuación:

MED: Muy en desacuerdo

ED: En desacuerdo

DA: De acuerdo

MDA: Muy de acuerdo

T: Total

La Tabla IV muestra los datos obtenidos a partir de encuestas por medio digital y escrito, en donde se observa que

92 personas de 106 encuestadas pertenecen a la comunidad objeto de estudio, en donde, alrededor de la mitad encuentran en desacuerdo con el descriptor relacionado al componente de dimensión visual y de percepción, para el caso de los intérpretes, no se ven afectados, por tanto, no pertenecen a la población que plantea estar en desacuerdo, sin embargo, los docentes y están en el grupo encuestado que plantea verse afectado en procesos de transferencia de conocimientos dado que son personas que tienen dificultades significativas en el proceso de envío de información y comprensión sin la ayuda de un intérprete como mediador o canal de comunicación, es así como, las estrategias de aulas pretenden estar encaminadas a dar solución en este campo.

Tabla IV. Encuesta dimensión visual y de percepción.

		MED	ED	DA	MDA	T
<b>A.1</b>	<b>D</b>	3	2	1	1	7
	<b>S</b>	52	26	8	6	92
	<b>I</b>	0	5	1	1	7
	<b>T</b>	55	33	10	8	106
	<b>T%</b>	52%	31%	9%	8%	100%
<b>A.2</b>	<b>D</b>	1	1	2	3	7
	<b>S</b>	30	20	15	27	92
	<b>I</b>	1	3	2	1	7
	<b>T</b>	32	24	19	31	106
	<b>T%</b>	30%	23%	18%	29%	100%
<b>A.3</b>	<b>D</b>	2	4	1	0	7
	<b>S</b>	60	20	7	5	92
	<b>I</b>	1	3	2	1	7
	<b>T</b>	63	27	10	6	106
	<b>T%</b>	59%	26%	9%	6%	100%
<b>A.4</b>	<b>D</b>	1	1	3	2	7
	<b>S</b>	32	24	23	13	92
	<b>I</b>	0	1	4	2	7
	<b>T</b>	33	26	30	17	106
	<b>T%</b>	31%	25%	28%	16%	100%

La Tabla V muestra los resultados de asociados al descriptor de dimensión física en donde se relaciona la ergonomía, espacios académicos, tecnología y herramientas. Más del 45% de personas en condición de discapacidad están en desacuerdo con las condiciones de acceso al conocimiento.

Tabla V. Encuesta dimensión física.

		MED	ED	DA	MDA	T
<b>B.1</b>	<b>D</b>	4	2	1	0	7
	<b>S</b>	67	18	4	3	92
	<b>I</b>	4	2	1	0	7
	<b>T</b>	75	22	6	3	106
	<b>T%</b>	71%	21%	5%	3%	100%
<b>B.2</b>	<b>D</b>	2	1	3	1	7
	<b>S</b>	45	21	16	10	92
	<b>I</b>	1	4	1	1	7
	<b>T</b>	48	26	20	12	106
	<b>T%</b>	45%	25%	19%	11%	100%
<b>B.3</b>	<b>D</b>	4	2	1	0	7
	<b>S</b>	61	28	2	1	92
	<b>I</b>	4	2	1	0	7

B.4	T	69	32	4	1	106
	T%	65%	30%	4%	1%	100%
	D	1	2	4	0	7
	S	45	23	15	9	92
	I	1	4	2	0	7
	T	47	29	21	9	106
T%	44%	27%	20%	9%	100%	

La percepción de los agentes involucrados se obtiene principalmente sobre las personas en condición de discapacidad, en la dimensión cognitiva entrega porcentajes de repuestas favorables, estudiantes que están de acuerdo con los procesos cognitivos aumentan en relación a las demás dimensiones Tabla VI.

Tabla VI. Encuesta dimensión Cognitiva y comunicativa.

		MED	ED	DA	MDA	T
C.1	D	1	2	4	0	7
	S	21	34	28	9	92
	I	1	2	4	0	7
	T	23	38	36	9	106
	T%	22%	36%	34%	8%	100%
C.2	D	1	4	2	0	7
	S	48	27	13	4	92
	I	2	3	2	0	7
	T	51	34	17	4	106
	T%	48%	32%	16%	4%	100%
C.3	D	2	1	3	1	7
	S	43	29	18	2	92
	I	2	1	3	1	7
	T	47	31	24	4	106
	T%	44%	29%	23%	4%	100%
C.4	D	1	2	4	0	7
	S	32	29	27	4	92
	I	0	2	4	1	7
	T	33	33	35	5	106
	T%	31%	31%	33%	5%	100%

De acuerdo a resultados obtenidos a partir de las encuestas, se confirma que es de gran importancia diseñar una estructura de aula inteligente, para satisfacer las necesidades de los involucrados en los procesos, sordos, docentes e intérpretes.

Por tanto, los diseños deben tener un componente asociado a los descriptores, en donde, a partir de las preguntas se deduce la necesidad de realizar modificaciones en las aulas, entre ellas cabe destacar, las relacionadas a mobiliario, condiciones de confort e iluminación y condiciones tecnológicas favorables.

Se realiza el diseño estructural de espacios para formación Fig. 2, el cual acondiciona a las necesidad de la comunidad sorda teniendo en cuenta las condiciones de iluminación natural ya que la vista es el sentido más desarrollado usado en estos procesos, adicionalmente, se observa una estructura ascendente, donde la parte más baja esta adelante y la parte más alta está en la parte más distante del tablero Fig. 3, en el modelo se tiene en cuenta las personas que se ubican en la parte de atrás del ambiente de formación.

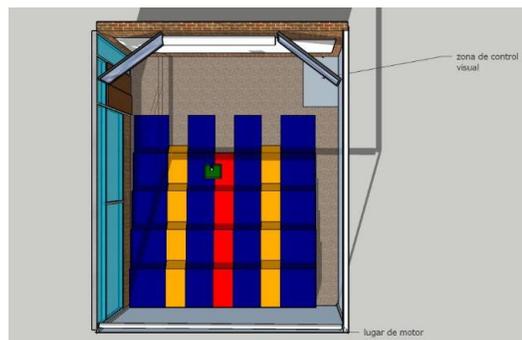


Fig. 2. Vista superior propuesta de aula para estudiantes con limitación auditiva. Fuente: El Autor.



Fig. 3. Vista lateral derecha propuesta de aula para estudiantes con limitación auditiva. Fuente: El Autor.

La Fig. 4, deja ver el punto de vista del observador, es decir, la visual interior desde la parte de atrás, cabe resaltar la iluminación para mejora del componente visual y los elementos audiovisuales como apoyo del proceso.



Fig. 4. Vista interior propuesta de aula para estudiantes con limitación auditiva. Fuente: El Autor.

#### A. Mobiliario mesas y sillas

De acuerdo con el análisis de los resultados cuantitativos realizados mediante la encuesta dimensión física, se requiere con un mobiliario “mesas” que sean ergonómicas, flexibles, modulares y confortables a fin de que el estudiante sordo pueda mantener la atención y un acceso a una buena visibilidad. Este mobiliario debe permitir una fácil adecuación en actividades de trabajo en equipo, de igual forma se debe contar con un escritorio para el docente que sea de fácil manipulación y que permita un buen uso a medios tecnológicos para el desarrollo de las clases Fig. 5.



Fig. 5. Sillas sugeridas y ficha técnica. Fuente: El autor.

Las sillas al igual que las mesas deben ser ergonómicas, confortables y tener un diseño de fácil desplazamiento, teniendo en cuenta el aspecto visual, se recomienda que estos se puedan graduar y así poder acceder a todos los medios audiovisuales del aula y a los intérpretes de lengua de señas, que no afecten la postura del estudiante. Este mismo diseño se debe aplicar para las sillas del docente oyente e intérprete.

#### B. Condiciones de confort e iluminación

De acuerdo con el análisis de los resultados cuantitativos realizados mediante la encuesta de dimensión visual y percepción, se recomienda unas consideraciones en confort e iluminación que a continuación se relacionan:

#### C. Fuente natural de luz para las aulas de clases

Contar con sistemas que regulen las fuentes de luz natural y artificial con el fin que no generen un desgaste visual. Se deben evitar ángulos visores que generen deslumbramiento. Se debe contar con espacio decorado con colores neutros. Se recomienda contar con un sistema de iluminación independiente para el intérprete de lengua de señas.

#### D. Medios tecnológicos

Estos espacios académicos están diseñados para la comunidad sorda, para ello se debe contar con medios tecnológicos que faciliten su aprendizaje como: tableros electrónicos o video beam con su velo beam táctiles para una mejor experiencia en su uso. Estos espacios académicos deben contar con las siguientes características:

Pantalla con tecnología táctil, video beam en una posición fija con un ángulo adecuado para su proyección, sistema de audio, conexión de red cableada e inalámbrica, acceso a puntos de conexión eléctrica 110V, se recomienda tener por lo menos 2 televisores en el espacio académico.

Los estudiantes con discapacidad auditiva, requieren soluciones desde el aspecto comunicativo, pero sin duda es importante reflexionar desde el acto metodológico y locativo de los centros de aprendizaje, se evidencia dificultad en el proceso de enseñanza y aprendizaje, dado que, no se cuenta con los recursos y herramientas necesarias para lograr el objetivo pedagógico.

El diseño académico se debe enfocar en la adaptación de un espacio físico donde el aprendiz con limitación auditiva pueda aprovechar su habilidad visual y permita el acceso a varios puntos donde pueda recibir la enseñanza, pensando en un

diseño más versátil y una configuración de los puestos de trabajo, los cuales deben ser flexibles para poder realizar diferentes didácticas en el proceso de enseñanza y aprendizaje.

Desde el tema de ergonomía y confort se recomienda la adaptación del espacio académico con el fin de contar siempre con la atención del estudiante sordo, para ello es importante la adecuación con colores neutros en el mobiliario y en temas de luz artificial o natural que cuenten con sistemas de graduación según la intensidad, con ayudas y medios tecnológicos que puedan facilitar la transmisión de la información a estas personas y adaptarlos a los usos necesarios para el desarrollo de la cátedra que brinda el docente oyente.

Dentro de las recomendaciones que se realizan, es importante que el mobiliario tenga características técnicas y ergonómicas, con el fin de garantizar buenas posturas y evitar el cansancio, agotamiento e incomodidad ya que se ha evidenciado que cuando un alumno presenta distracción no recibe adecuadamente la información que se le está transmitiendo.

En las adecuaciones con sistemas y medios tecnológicos se establece que es de vital importancia para el aprendizaje de los estudiantes sordos, ya que se les facilita más por medio de imágenes y/o representaciones gráficas que por textos escritos. Estos medios tecnológicos a su vez ayudan a los docentes oyentes e intérpretes a desarrollar diferentes estrategias pedagógicas con el fin de brindar un mejor aprendizaje a la comunidad sorda.

En las aulas de aprendizaje para la comunidad sorda se debe contar con un docente oyente y un intérprete por lo que ambos cumplen un rol muy importante para el proceso de aprendizaje, para ello debe ubicarse de manera lógica y estratégica en el aula buscando siempre un contacto visual con los alumnos, sin interferir en el material didáctico o medios tecnológicos que se estén usando para el desarrollo de la clase.

## IV. CONCLUSIONES

Se realiza una propuesta de diseño de aulas inteligentes que permite a los educadores realizar transferencia de conocimientos de manera asertiva dirigida a estudiantes en condición de discapacidad auditiva pertenecientes a la universidad ECCI de Colombia

Se realiza un diagnóstico de los espacios físicos y técnicos que hacen parte de la institución, se identifican aspectos a partir de los cuales, se debe mejorar la infraestructura, como aulas, accesos, condiciones tecnológicas, entre otros, para contribuir de manera eficiente en procesos de adopción de conocimiento de parte de los estudiantes en condición de discapacidad auditiva.

Con el fin de conseguir un mejor resultado en los avances de inclusión que adelanta la Universidad ECCI, se recomienda invertir en aspectos de confort y ergonomía, adecuación de espacios locativos en iluminación, color, espacios, especialmente en medios tecnológicos y en la implementación de planes de mejora continua en las estructuras académicas, ya que todo esto le permite a la comunidad sorda percibir el aprendizaje con una mejor experiencia y excelentes resultados.

La educación es una alternativa de inclusión social, cultural y laboral, por tanto, se realiza el diseño de un aula inteligente, en donde se tiene en cuenta varios conceptos técnicos, para solucionar las necesidades prioritarias a favor de la mejora del aprendizaje a la comunidad sorda, lo cual permite fortalecer las iniciativas de proyectos de vida.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores extienden sus agradecimientos a la Fundación Universitaria Iberoamericana, FUNIBER, a la universidad ECCI de Colombia sede Bogotá por facilitar la infraestructura y el capital humano al Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, al Ing. Jairo Iván Marín subdirector Centro Metalmecánico, y al grupo de investigación GICEMET por el apoyo en el proceso.

#### REFERENCIAS

- [1] J, Pérez. *Et. Al.* Constitución política de Colombia, capítulo 2, de los derechos sociales, económicos y culturales, artículo p. 67. 1991.
- [2] M, Garzón. Diseño de un sistem de control para prevenir la deserción escolar en la facultad de ciencias económicas administrativas y contables universidad Libre de Bogotá periodo 2014-2018. Universidad Libre facultad de ciencias económicas administrativas y contables. enero 2012.
- [3] J, Restrepo. Esquema para el derecho a la educación. Lunes 13 de junio de 2005. Disponible online: <https://www.colectivodeabogados.org/Derecho-a-la-educacion-y-a-la> . Tomado el 21 de marzo de 2019.
- [4] MEN Artículo 1-5 . Aspectos Generales. [2082]. 18 de noviembre de 1996 Recuperado el 19 de abril de 2018 de: [https://www.mineduccion.gov.co/1759/articles-103323\\_archivo\\_pdf.pdf](https://www.mineduccion.gov.co/1759/articles-103323_archivo_pdf.pdf).
- [5] INSOR. Boletín Observatorio Social Población Sorda Colombiana. Bogotá D.C. 2011.
- [6] MEN. Educación para todos. En: Al tablero. Publicación virtual, 43 2007. Recuperado el 10 de noviembre de 2017 de: <https://www.mineduccion.gov.co/1621/article-141881.html>
- [7] MEN. Lineamientos Política de Educación Superior Inclusiva. Bogotá D.C: Ministerio de Educación Nacional. 2013.

# Desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo para los equipos de los talleres de soldadura, mecatrónica, hidráulica refrigeración del centro CIES del SENA de Cúcuta, Norte de Santander

Michael Molina,  
m\_steven\_97@hotmail.com,  
Universidad de  
Pamplona  
(UniPamplona)  
2 Servicio Nacional  
de Aprendizaje  
(SENA)

Jeisson Martínez,  
jeissonmartinez81@gmail.com,  
Universidad de  
Pamplona  
(UniPamplona)  
2 Servicio Nacional  
de Aprendizaje  
(SENA)

Rafael Acosta,  
ingandresacostar@gmail.com,  
Universidad de  
Pamplona  
(UniPamplona)  
2 Servicio Nacional  
de Aprendizaje  
(SENA)

Pablo Gómez  
ingpablogomez@gmail.com,  
Universidad de  
Pamplona  
(UniPamplona)  
2 Servicio Nacional  
de Aprendizaje  
(SENA)

**Resumen**— En el presente artículo tiene como objetivo describir el diseño de un plan de mantenimiento preventivo para los equipos de los talleres de soldadura, mecatrónica, hidráulica y refrigeración del centro CIES del SENA-Cúcuta, cuyo objetivo principal fue determinar las actividades y metodología de gestión de mantenimiento a realizar en cada uno de los equipos de mayor criticidad e importancia para cada formación técnica. Se establecieron las etapas consecutivas necesarias, comenzando por el inventario, diagnóstico y fichas técnicas de los equipos en uso pertenecientes a los talleres de formación antes mencionados. La segunda etapa consistió en clasificar los equipos según su nivel de criticidad e importancia para la capacitación brindada en cada taller de formación. Fue vital implementar una metodología basada en análisis de mantenibilidad y criticidad cualitativa, lo que permitió analizar los equipos en base a siete preguntas enfocadas a evaluar ámbitos como el medio ambiente, seguridad laboral, calidad del producto/servicio, tiempo de trabajo, la entrega, la fiabilidad y la mantenibilidad. En la tercera etapa, se desarrolló el análisis de los modos y efectos de fallas (AMEF), que permitió determinar los tipos de falla que puede tener cada equipo y su respectivo análisis de riesgos. Finalmente, se establecieron los protocolos y actividades de mantenimiento a realizar para cada equipo crítico, gracias al análisis AMEF y al uso de hojas de decisión implementadas bajo la filosofía del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). Así, se pudo determinar una metodología para la gestión del mantenimiento preventivo en los equipos más críticos de cada taller de formación, estableciendo también, el marco documental necesario para definir y gestionar cada tarea de mantenimiento a realizar.

**Palabras clave**— mantenibilidad, criticidad, gestión, confiabilidad, disponibilidad, indicadores, mantenimiento.

**Abstract**— The purpose of this article is to describe the design of a preventive maintenance plan for the welding, mechatronics, hydraulics and refrigeration workshops of the CIES center of

SENA-Cucuta, whose main objective was to determine the activities and management methodology of maintenance to be carried out in each of the most critical and important equipment for each technical training. The necessary consecutive stages were established, starting with the inventory, diagnosis and technical data sheets of the equipment in use belonging to the training workshops mentioned above. The second stage was to classify the teams according to their level of criticality and importance for the training provided in each training workshop. It was vital to implement a methodology based on the analysis of maintainability and qualitative criticality, which allowed analyzing the teams based on seven questions focused on evaluating areas such as the environment, occupational safety, product / service quality, working time, delivery, reliability and maintainability. In the third stage, the analysis of the failure modes and effects (AMEF) was developed, which allowed to determine the types of failures that each equipment can have and their respective risk analysis. Finally, the protocols and maintenance activities to be carried out for each critical team were established, thanks to the AMEF analysis and the use of decision sheets implemented under the philosophy of maintenance centered on Reliability (RCM). Thus, it was possible to determine a methodology for the management of preventive maintenance in the most critical equipment of each training workshop, also establishing the necessary documentary framework to define and manage each maintenance task to be performed.

**Keywords**— maintainability, criticality, management, reliability, availability, indicators, maintenance.

## I. INTRODUCCIÓN

El Centro de la Industria, la Empresa y los Servicios del SENA (CIES) regional Norte de Santander tiene la función de impartir formación profesional integral para el trabajo productivo en los sectores de la industria, comercio, servicios, construcción y

salud. Algunos de los programas ofrecidos actualmente por el centro CIES del SENA son: Técnica en soldadura de productos metálicos, Técnica en mantenimiento de equipos de refrigeración y Tecnología en diseño e integración de automatismos mecatrónicos.

Este centro cuenta con una amplia dotación de equipos para todas sus líneas de formación, que requieren ser mantenidos para garantizar su vida útil, disponibilidad y confiabilidad, reducir costos por reparaciones correctivas y aumentar el uso eficiente por parte de los aprendices. Así como el cumplimiento de requisitos legales, auditorías, certificaciones y acreditaciones de calidad.

Lo anterior se enmarca en el cumplimiento del decreto 249 de 2004, en el que la dirección Administrativa y Financiera del SENA establece, en el artículo 25 numeral 21-28-30, los lineamientos para que los ordenadores del gasto del SENA a nivel nacional, gestionen el plan de mantenimiento preventivo y correctivo para los equipos utilizados para la formación. En tal decreto, se establece, además, la concepción de la vida útil como el tiempo que el bien mueble puede ser utilizado sin que sus costos de operación (mantenimiento e insumos), sean mayores que la producción económica o de valor que genere el mismo.

Por lo cual, se muestra a continuación el desarrollo metodológico y diseño del plan de mantenimiento preventivo para los equipos de los talleres de soldadura, automatismos mecatrónicos e hidráulica y refrigeración del centro CIES, bajo la metodología orientada hacia el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).

## II. CARACTERIZACIÓN DE EQUIPOS

Un aspecto importante para poder realizar el mantenimiento adecuado es la información recolectada sobre los equipos a mantener. En aras de formular un plan de mantenimiento que tuviera como objetivos optimizar la seguridad, disponibilidad, confiabilidad y vida útil de los equipos, se dio seguimiento a los lineamientos impuestos por la dirección Administrativa y Financiera del SENA y por la norma internacional ISO 14224 en su versión 2016, la cual trata sobre la gestión de la información del mantenimiento y la confiabilidad. Para poder caracterizar correctamente todos los equipos de cada ambiente de formación se realizaron 3 actividades principales:

### A. Recolección de información de los activos

Este proceso se realizó atendiendo a la norma BS ISO 14224-2016, la cual está dirigida a la gestión de la información de mantenimiento y confiabilidad de activos mantenibles utilizados en la producción, en pro de obtener la información suficiente y de calidad para la toma de decisiones dentro de una organización.

La norma expresa la importancia de contar con una base de datos dedicada exclusivamente a las labores de mantenimiento y que, por ende, depende de un departamento de mantenimiento en la organización en la que se encuentren los equipos a

mantener. El centro CIES-Cúcuta, no cuenta con un departamento oficial encargado de la gestión del mantenimiento de sus activos, por lo tanto, se recurrió a las demás fuentes de información disponibles entre otras mencionadas por la norma, fueron: datos genéricos, manuales técnicos, proveedores, juicio experto.

En primera instancia se recolectó información a través de las bases de datos dispuestas por el coordinador logístico y de inventarios del centro de formación, adquirida desde la plataforma del SENA y tabulada en Excel en formatos previamente diseñados por los autores, para mantener la uniformidad y organización de la información tal como lo estipula la norma ISO 14224-2016 [1]. La información reunida fue plasmada en el formato de la Fig. 1.

SENA		CENTRO MULTISECTORIAL - 9537 CENTRO DE LA INDUSTRIA, LA EMPRESA Y LOS SERVICIOS - CIES CÚCUTA NOROCCIDENTAL DE SANTANDER		FORMATO:	FECHA:				
INVENTARIO DE EQUIPOS, MÁQUINAS E INSTRUMENTOS					08-07-18				
INVENTARIO DE OBJETOS A MANTENER									
AREA:	AMBIENTE DE MECATRONICA E HIDRAULICA		CUENTADANTE:	JUAN DE DIOS CARRILLO					
CODIGO AREA:	121		CEDULA:	13436363					
EQUIPOS MANTENIBLES									
NOMBRE DEL EQUIPO	CARACTERISTICAS	PLACA INVENTARIO	CANT	FECHA DE ADQUISICION	COSTO DE ADQUISICION	VIDA ÚTIL (Meses)	SERIAL	MODELO	MARCA
EQUIPO PARA SOLDADURA ELÉCTRICA	>>> SOLDADURA POR ARCO, MULTIPROCESO, TIPO INVERSOR, INCLUYE CABLE CONEXION DE 3 METROS PORTA ELECTRODO, PIRCA CON REGULADOR DE OXIGENO Y ACETILENO TIPO PESADO.	10542086303100000000	1	30/11/2009	\$ 574.936	180			
EQUIPO DE SOLDADURA	MULTIPROCESO, TIPO INVERSOR, INCLUYE CABLE CONEXION DE 3 METROS PORTA ELECTRODO, PIRCA CON REGULADOR DE OXIGENO Y ACETILENO TIPO PESADO.	105465916 105465917 105465918	3	21/10/2004	\$ 12.480.000	180	LE-439821 LE-439822 LE-439838	XMT-304.CC.CV	MILLER
EQUIPO DE SOLDADURA	VALVULAS STRAHLER, MANIFESTO Y VEGETILINDO DE 1/2", 3/4", 1", 1 1/2", 2", 2 1/2", 3", 4", 6", 8", 10", 12", 15", 20", 24", 30", 36", 42", 48", 60", 72", 84", 96", 108", 120", 144", 168", 192", 216", 240", 270", 300", 324", 360", 396", 432", 468", 504", 540", 576", 612", 648", 684", 720", 756", 792", 828", 864", 900", 936", 972", 1008, 1044, 1080, 1116, 1152, 1188, 1224, 1260, 1296, 1332, 1368, 1404, 1440, 1476, 1512, 1548, 1584, 1620, 1656, 1692, 1728, 1764, 1800, 1836, 1872, 1908, 1944, 1980, 2016, 2052, 2088, 2124, 2160, 2196, 2232, 2268, 2304, 2340, 2376, 2412, 2448, 2484, 2520, 2556, 2592, 2628, 2664, 2700, 2736, 2772, 2808, 2844, 2880, 2916, 2952, 2988, 3024, 3060, 3096, 3132, 3168, 3204, 3240, 3276, 3312, 3348, 3384, 3420, 3456, 3492, 3528, 3564, 3600, 3636, 3672, 3708, 3744, 3780, 3816, 3852, 3888, 3924, 3960, 3996, 4032, 4068, 4104, 4140, 4176, 4212, 4248, 4284, 4320, 4356, 4392, 4428, 4464, 4500, 4536, 4572, 4608, 4644, 4680, 4716, 4752, 4788, 4824, 4860, 4896, 4932, 4968, 5004, 5040, 5076, 5112, 5148, 5184, 5220, 5256, 5292, 5328, 5364, 5400, 5436, 5472, 5508, 5544, 5580, 5616, 5652, 5688, 5724, 5760, 5796, 5832, 5868, 5904, 5940, 5976, 6012, 6048, 6084, 6120, 6156, 6192, 6228, 6264, 6300, 6336, 6372, 6408, 6444, 6480, 6516, 6552, 6588, 6624, 6660, 6696, 6732, 6768, 6804, 6840, 6876, 6912, 6948, 6984, 7020, 7056, 7092, 7128, 7164, 7200, 7236, 7272, 7308, 7344, 7380, 7416, 7452, 7488, 7524, 7560, 7596, 7632, 7668, 7704, 7740, 7776, 7812, 7848, 7884, 7920, 7956, 7992, 8028, 8064, 8100, 8136, 8172, 8208, 8244, 8280, 8316, 8352, 8388, 8424, 8460, 8496, 8532, 8568, 8604, 8640, 8676, 8712, 8748, 8784, 8820, 8856, 8892, 8928, 8964, 9000, 9036, 9072, 9108, 9144, 9180, 9216, 9252, 9288, 9324, 9360, 9396, 9432, 9468, 9504, 9540, 9576, 9612, 9648, 9684, 9720, 9756, 9792, 9828, 9864, 9900, 9936, 9972, 10008, 10044, 10080, 10116, 10152, 10188, 10224, 10260, 10296, 10332, 10368, 10404, 10440, 10476, 10512, 10548, 10584, 10620, 10656, 10692, 10728, 10764, 10800, 10836, 10872, 10908, 10944, 10980, 11016, 11052, 11088, 11124, 11160, 11196, 11232, 11268, 11304, 11340, 11376, 11412, 11448, 11484, 11520, 11556, 11592, 11628, 11664, 11700, 11736, 11772, 11808, 11844, 11880, 11916, 11952, 11988, 12024, 12060, 12096, 12132, 12168, 12204, 12240, 12276, 12312, 12348, 12384, 12420, 12456, 12492, 12528, 12564, 12600, 12636, 12672, 12708, 12744, 12780, 12816, 12852, 12888, 12924, 12960, 12996, 13032, 13068, 13104, 13140, 13176, 13212, 13248, 13284, 13320, 13356, 13392, 13428, 13464, 13500, 13536, 13572, 13608, 13644, 13680, 13716, 13752, 13788, 13824, 13860, 13896, 13932, 13968, 14004, 14040, 14076, 14112, 14148, 14184, 14220, 14256, 14292, 14328, 14364, 14400, 14436, 14472, 14508, 14544, 14580, 14616, 14652, 14688, 14724, 14760, 14796, 14832, 14868, 14904, 14940, 14976, 15012, 15048, 15084, 15120, 15156, 15192, 15228, 15264, 15300, 15336, 15372, 15408, 15444, 15480, 15516, 15552, 15588, 15624, 15660, 15696, 15732, 15768, 15804, 15840, 15876, 15912, 15948, 15984, 16020, 16056, 16092, 16128, 16164, 16200, 16236, 16272, 16308, 16344, 16380, 16416, 16452, 16488, 16524, 16560, 16596, 16632, 16668, 16704, 16740, 16776, 16812, 16848, 16884, 16920, 16956, 16992, 17028, 17064, 17100, 17136, 17172, 17208, 17244, 17280, 17316, 17352, 17388, 17424, 17460, 17496, 17532, 17568, 17604, 17640, 17676, 17712, 17748, 17784, 17820, 17856, 17892, 17928, 17964, 18000, 18036, 18072, 18108, 18144, 18180, 18216, 18252, 18288, 18324, 18360, 18396, 18432, 18468, 18504, 18540, 18576, 18612, 18648, 18684, 18720, 18756, 18792, 18828, 18864, 18900, 18936, 18972, 19008, 19044, 19080, 19116, 19152, 19188, 19224, 19260, 19296, 19332, 19368, 19404, 19440, 19476, 19512, 19548, 19584, 19620, 19656, 19692, 19728, 19764, 19800, 19836, 19872, 19908, 19944, 19980, 20016, 20052, 20088, 20124, 20160, 20196, 20232, 20268, 20304, 20340, 20376, 20412, 20448, 20484, 20520, 20556, 20592, 20628, 20664, 20700, 20736, 20772, 20808, 20844, 20880, 20916, 20952, 20988, 21024, 21060, 21096, 21132, 21168, 21204, 21240, 21276, 21312, 21348, 21384, 21420, 21456, 21492, 21528, 21564, 21600, 21636, 21672, 21708, 21744, 21780, 21816, 21852, 21888, 21924, 21960, 21996, 22032, 22068, 22104, 22140, 22176, 22212, 22248, 22284, 22320, 22356, 22392, 22428, 22464, 22500, 22536, 22572, 22608, 22644, 22680, 22716, 22752, 22788, 22824, 22860, 22896, 22932, 22968, 23004, 23040, 23076, 23112, 23148, 23184, 23220, 23256, 23292, 23328, 23364, 23400, 23436, 23472, 23508, 23544, 23580, 23616, 23652, 23688, 23724, 23760, 23796, 23832, 23868, 23904, 23940, 23976, 24012, 24048, 24084, 24120, 24156, 24192, 24228, 24264, 24300, 24336, 24372, 24408, 24444, 24480, 24516, 24552, 24588, 24624, 24660, 24696, 24732, 24768, 24804, 24840, 24876, 24912, 24948, 24984, 25020, 25056, 25092, 25128, 25164, 25200, 25236, 25272, 25308, 25344, 25380, 25416, 25452, 25488, 25524, 25560, 25596, 25632, 25668, 25704, 25740, 25776, 25812, 25848, 25884, 25920, 25956, 25992, 26028, 26064, 26100, 26136, 26172, 26208, 26244, 26280, 26316, 26352, 26388, 26424, 26460, 26496, 26532, 26568, 26604, 26640, 26676, 26712, 26748, 26784, 26820, 26856, 26892, 26928, 26964, 27000, 27036, 27072, 27108, 27144, 27180, 27216, 27252, 27288, 27324, 27360, 27396, 27432, 27468, 27504, 27540, 27576, 27612, 27648, 27684, 27720, 27756, 27792, 27828, 27864, 27900, 27936, 27972, 28008, 28044, 28080, 28116, 28152, 28188, 28224, 28260, 28296, 28332, 28368, 28404, 28440, 28476, 28512, 28548, 28584, 28620, 28656, 28692, 28728, 28764, 28800, 28836, 28872, 28908, 28944, 28980, 29016, 29052, 29088, 29124, 29160, 29196, 29232, 29268, 29304, 29340, 29376, 29412, 29448, 29484, 29520, 29556, 29592, 29628, 29664, 29700, 29736, 29772, 29808, 29844, 29880, 29916, 29952, 29988, 30024, 30060, 30096, 30132, 30168, 30204, 30240, 30276, 30312, 30348, 30384, 30420, 30456, 30492, 30528, 30564, 30600, 30636, 30672, 30708, 30744, 30780, 30816, 30852, 30888, 30924, 30960, 30996, 31032, 31068, 31104, 31140, 31176, 31212, 31248, 31284, 31320, 31356, 31392, 31428, 31464, 31500, 31536, 31572, 31608, 31644, 31680, 31716, 31752, 31788, 31824, 31860, 31896, 31932, 31968, 32004, 32040, 32076, 32112, 32148, 32184, 32220, 32256, 32292, 32328, 32364, 32400, 32436, 32472, 32508, 32544, 32580, 32616, 32652, 32688, 32724, 32760, 32796, 32832, 32868, 32904, 32940, 32976, 33012, 33048, 33084, 33120, 33156, 33192, 33228, 33264, 33300, 33336, 33372, 33408, 33444, 33480, 33516, 33552, 33588, 33624, 33660, 33696, 33732, 33768, 33804, 33840, 33876, 33912, 33948, 33984, 34020, 34056, 34092, 34128, 34164, 34200, 34236, 34272, 34308, 34344, 34380, 34416, 34452, 34488, 34524, 34560, 34596, 34632, 34668, 34704, 34740, 34776, 34812, 34848, 34884, 34920, 34956, 34992, 35028, 35064, 35100, 35136, 35172, 35208, 35244, 35280, 35316, 35352, 35388, 35424, 35460, 35496, 35532, 35568, 35604, 35640, 35676, 35712, 35748, 35784, 35820, 35856, 35892, 35928, 35964, 36000, 36036, 36072, 36108, 36144, 36180, 36216, 36252, 36288, 36324, 36360, 36396, 36432, 36468, 36504, 36540, 36576, 36612, 36648, 36684, 36720, 36756, 36792, 36828, 36864, 36900, 36936, 36972, 37008, 37044, 37080, 37116, 37152, 37188, 37224, 37260, 37296, 37332, 37368, 37404, 37440, 37476, 37512, 37548, 37584, 37620, 37656, 37692, 37728, 37764, 37800, 37836, 37872, 37908, 37944, 37980, 38016, 38052, 38088, 38124, 38160, 38196, 38232, 38268, 38304, 38340, 38376, 38412, 38448, 38484, 38520, 38556, 38592, 38628, 38664, 38700, 38736, 38772, 38808, 38844, 38880, 38916, 38952, 38988, 39024, 39060, 39096, 39132, 39168, 39204, 39240, 39276, 39312, 39348, 39384, 39420, 39456, 39492, 39528, 39564, 39600, 39636, 39672, 39708, 39744, 39780, 39816, 39852, 39888, 39924, 39960, 40000	ME009-600-PRD							
ELABORADO POR:	JESSON HARVEY MARTÍNEZ FLOREZ MICHAEL STEVEN MOLINA GARCÍA			APROBADO POR:			CARGO:		

Fig. 1. Formato Inventario de objetos a mantener

### B. Levantamiento de las fichas técnicas

Son los formatos en los cuales se registró la información técnica y descriptiva de cada equipo a mantener, con el fin de generar una fuente de información única y de fácil acceso a la hora de generar acciones de mantenimiento para determinado equipo o máquina. En cuanto al diseño de la ficha técnica se tuvo en cuenta el formato planteado por Sony Zambrano en su Manual práctico de Gestión de Mantenimiento [2], el formato se adecuó a la normativa documental del SENA y a la información disponible que fue recolectada para las distintas gamas de equipos encontrados en los talleres de formación, como se puede ver en la Fig. 2. El formato establece las características generales de los equipos, permitiendo añadir o eliminar las necesarias dependiendo de la cantidad de información con la que se cuenta sobre un equipo en específico.

<b>SENA</b>		GESTIÓN DE MANTENIMIENTO	
CENTRO MULTISECTORIAL CUCUTA VTE STAMPER - 9537		MANTENIMIENTO DE MAQUINARIA, EQUIPOS, SISTEMAS ELÉCTRICOS Y ELECTRONICOS	
FORMA: _____		FECHA: 31-07-18	
<b>FICHA TÉCNICA DEL EQUIPO</b>			
ÁREA:	TALLER DE SOLDADURA	CODIGO DE ÁREA:	121
NOMBRE DEL EQUIPO:	COMPRESOR DE 2 CABALLOS 65 PSI 250 CFH	PLACA DEL EQUIPO:	1054682
MARCA:	CAMPBELL-HAUSFELD	MODELO:	311443-04
IDENTIFICANTE:	CARRILLO HIGUERA JUAN DE DIOS	CREDLA:	96125453
<b>PROVEEDOR</b>			
EMPRESA:	T.D. COLOMBIA GAS		
DIRECCIÓN:	Corabastos Norte crfa 7 con 180		
TELÉFONO:	3184560007		
CIUDAD:	Bogotá, Colombia		
WEB:	http://tdcolombia.com/index.php		
E-MAIL:	ventas@tdcolombia.com info@tdcolombia.com		
VALOR:	\$	2.049.840	
FECHA DE ADQUISICIÓN:	7/04/2000		
VIDA ÚTIL:	180 meses		
MANTENIBLES:	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	PLANOS: SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
<b>CARACTERÍSTICAS Y/O ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>			
PSO:	67.1317 Kg	MÁXIMA PRESIÓN:	135 Psi
ALIMENTACIÓN:	Monofásica 120v /240v	POTENCIA:	2 HP
RANGO DE AMPERAJE:	15/7.5 Amp	DIMENSIONES:	939.8 mm largo   533.4 mm ancho   774.7 mm alto
FRECUENCIA DE ENTRADA:	60 Hz		
CAPACIDAD / TAMAÑO:	20 galones		
<b>FUNCIONAMIENTO Y MANEJO</b>			
El compresor de aire portátil Campbell Hausfeld de 2 hp y tanque de 20 galones (VT6290) puede suministrar suficiente aire para una variedad de herramientas. Este compresor puede proporcionar hasta 8000 horas de trabajo con un motor de doble voltaje este puede operar en 120 volts o a 240 volts, haciéndolo mas versátil y fácil de trabajar en cualquier lugar. Las llantas de gran tamaño semi neumáticas hacen de esta unidad fácil de trasladar y maniobrar en cualquier sitio de trabajo. Diseñado para una silenciosa operación este compresor de trabajo pesado, construido en hierro colado, de dos cilindros, lubricado por aceite para una larga vida da una entrega de aire se 5.5 cfm a 90 psi.			
<b>OBSERVACIONES</b>			
Tener en cuenta las recomendaciones realizadas en el plan de mantenimiento. Seguir protocolos.			
<b>herramientas/Elementos incluidos</b>		<b>REPUESTOS EN BODEGA</b>	<b>OTROS</b>
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>APROBADO POR:</b>	<b>AMPRE ACOSTA</b>
JEISSON HARVEY MARTINEZ		MICHAEL STEVEN MOLINA DIAZ	CARGO: INGENIERO TUTOR



Fig. 2 Formato Ficha Técnica

**C. Categorización de los Activos**

Para realizar la categorización y organización de los equipos, máquinas y herramientas listadas en el inventario actualizado, se tomó en cuenta la norma ISO 14224-2016. En su apartado dedicado al sistema de clasificación taxonómica trata entre otras cosas sobre la gestión y organización de los equipos en grupos genéricos basados en su ubicación, principio de funcionamiento y uso. El desglose y categorización de cada equipo en sus componentes fue determinado por la complejidad del mismo y su mantenibilidad. Para lo cual fueron aplicados los niveles taxonómicos de Instalación, Planta-Unidad, Sección, Unidad de Equipo, Subunidad-Subsistema y Componente-item mantenible.

**III. ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICOS**

**A. Clasificación según su mantenibilidad**

La clasificación permite depurar el listado de equipos críticos para las formaciones, ya que se encontraron equipos e instrumentos que por su composición, funcionalidad y estado, no se hacían prioritarios para analizar. Para esto, se tuvieron en cuenta criterios como la selección, hecha por el instructor a cargo, de equipos que requerían un mantenimiento inmediato o con mayor urgencia.

Según la norma[3], indica que la mantenibilidad es la capacidad de un elemento, bajo determinadas condiciones de uso, para conservar, o ser restaurado a, un estado en el que pueda realizar la función requerida, cuando el mantenimiento se realiza bajo determinadas condiciones y usando procedimientos y recursos establecidos por lo tanto, todos los equipos donde el reemplazo del mismo es mucho

más conveniente que restaurarlo a su estado funcional, se excluyó de la lista; algunos ejemplos de estos equipos son los instrumentos de medición y los bancos didácticos. Obteniendo así un total de 6 equipos mantenibles en el taller de soldadura, 4 en el taller de refrigeración y 72 equipos en el ambiente de automatismos mecatrónicos.

**B. Análisis de criticidad cualitativo**

Fue necesario aplicar un análisis preliminar cualitativo debido a que la entidad no contaba con registros estadísticos de los equipos ni información de mantenimiento de ningún tipo. Este análisis según Parra y Crespo [4], hace referencia a un análisis puramente cualitativo sobre la jerarquía de equipos de producción, donde el resultado del proceso es una clasificación de los equipos en tres categorías reflejados en un flujograma. El seguimiento al flujograma se realizó a través de una serie de preguntas en el que se analizan aspectos como el medio ambiente, seguridad laboral, calidad del producto, tiempo de trabajo, la entrega, la fiabilidad y la mantenibilidad. El modelo del flujograma resultante se observa en la Fig. 3.

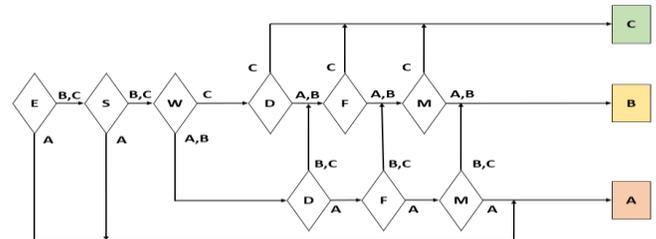


Fig. 3 Modelo de Flujograma Modificado

**C. Análisis de criticidad cuantitativo propuesto**

Con base al anterior análisis de criticidad, se diseñó un algoritmo matemático que permitiera modelar el sistema de preguntas numéricamente y así ponderar el peso que representa el orden de las preguntas. Los valores se determinaron en un encuentro con el instructor a cargo, donde se establecieron las condiciones que debe cumplir la ponderación. La tabla 1 muestra los valores establecidos para cada categoría de su respectivo ambiente.

Tabla I. Ponderación De Los Respectivos Ambientes.

ÁMBITO	CATEGORÍA	PUNTAJE
<b>Medio Ambiente (E)</b>	A	99
	B	16
	C	8
<b>La Seguridad (S)</b>	A	66
	B	16
	C	8
<b>Tiempo de Trabajo (W)</b>	A	33
	B	16
	C	0
<b>La Entrega (D)</b>	A	8
	B	7
	C	0
<b>La Fiabilidad</b>	A	8

(F)	B	7
	C	0
La Mantenibilidad (M)	A	8
	B	7
	C	0

La letra A representa una criticidad alta, la B una criticidad media y la C una criticidad baja. Los rangos de la criticidad se muestran en la Tabla 2.

Tabla II. Puntaje De Criticidad.

CRITICIDAD	CATEGORIA	RANGO
Baja	A	0 – 33
Media	B	34 – 66
Alta	C	67 – 100

Donde la criticidad se determina por medio de la ecuación 1.

$$Criticidad = E + (S + ((W + (D + F + M) * C_2) * C_1))$$

Ecuación 1.

Donde C1 y C2 son constantes definidas con el fin de respetar la trayectoria establecida en el flujograma y sus valores están dados por las siguientes condiciones:

- Si D o M o F es igual a cero es decir la criticidad es baja entonces la constante C1 será igual a cero (0) de lo contrario será igual a uno (1).

- Si D o M o F es igual a siete es decir la criticidad es media entonces la constante C2 será igual a cero (0) de lo contrario será igual a uno (1).

#### D. Análisis de modo y efecto de fallas

El AMEF (Análisis del Modo y Efecto de Fallas) que se llevó a cabo para los respectivos equipos se basó en la Norma SAE J-1739 de 1995 “Modo de falla potencial y análisis de efectos” [5]. Según la norma con este análisis se puede identificar los modos potenciales de falla de proceso de cada uno de los activos existentes en los ambientes de formación, evaluar los efectos potenciales de las fallas en los usuarios, identificar las posibles causas del proceso e identificar las variables de proceso en las que se enfocan los controles para la reducción de ocurrencia o la detección de las condiciones de falla.

Acorde a las condiciones del plan de mantenimiento, se diseñó un formato para el AMEF basado en el propuesto por la norma SAE J-1739, que se puede observar en la Fig. 4.

CENTRO MULTITECTORIAL-4037 CENTRO DE LA INDUSTRIA LA EMPRESA Y LOS SERVICIOS - CIES CIUDAD NOROCCIDENTAL DE SANTANDER												
ÁREA:	TALLER DE SOLDADURA	SISTEMA:	COMPRESOR	PÁGINA:	1 de 1							
CÓDIGO DE ÁREA:	121	EQUIPO:	CAMPBELL HAUSEFELD	FECHA DE AMEF:	29/09/2018							
COVENIO/CLIENTE:	CARRILLO HOJUELA JUAN DE DIOS	SUBSISTEMA:	ENSAMBLAJE GENERAL	FORMATO:	Version 1							
SOUSA CUENTADAMANT:	13279210	PLACA INVENTARIO:	01071									
REALIZADO POR:	JERSON HARVE Y MARTINEZ FLOREZ	APROBADO POR:	CARRILLO HOJUELA JUAN DE DIOS									
COMPONENTE	FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA DE POTENCIAL	EFFECTOS DE FALLAS POTENCIALES	SEVERIDAD	CAUSAS DE FALLAS POTENCIALES	OCURRENCIA	CONTROL DE DETECCIÓN Y PREVENCIÓN	DISEÑO ACTUAL	ACCIONES RECOMENDADAS	RESPONSABLE (S)	
1 Bomba	Aumentar la presión que entra por medio de succión y la descarga en el tanque.	Poca potencia de succión de la bomba por falta de flujo de aire entrante.	Filtro de admisión de aire se encuentra tapado.	Poca potencia de succión de la bomba por falta de flujo de aire entrante. Disminución del rendimiento de la vida útil.	5	Por exceso de polvo y tierra en el ambiente de trabajo. Exceso de polución en el ambiente de trabajo.	5	Control de detección: Inspección visual y poca potencia de bombeo. Control de prevención: Limpieza del filtro.	3	75	Reemplazar el filtro. *Apagar y desenchufar el compresor, alivar toda la presión de aire del sistema.	Mecánico.
		Comas de transmisión desgastadas o huecas.	Pérdida de eficiencia en la transmisión.	Distorsión de las poleas mal utilizadas y desalineadas. Charnalada versión de la correa disminuyendo la vida útil de la misma.	6	4	Control de detección: Inspección visual. Control de prevención: Ajuste de comas y verificación diaria.	4	4	Reemplazar el cambio de la correa si es necesario. *Verificar la alineación	Mecánico.	
		Conexión eléctrica inestable, el motor no arranca a su potencia nominal.	El rendimiento de trabajo disminuye radicalmente. Poca potencia de funcionamiento de la bomba. No funcionara en sus condiciones óptimas, deteriorando la vida útil.	Tipo de daño en la red de suministro eléctrico. Dispositivos de protección de la red eléctrica, actuando de manera incorrecta, deteriorando la vida útil.	7	4	Control de detección: Instrumentos de medición eléctrica. Control de prevención: Dispositivos de protección del compresor.	7	75	*Apagar y desenchufar el compresor, alivar toda la presión de aire del sistema. *Verificar el sistema eléctrico y solucionar problema de alimentación de la red de suministro eléctrico.	Eléctrico.	

Fig. 4 Formato de Análisis de modos y efectos de fallas

#### E. Cálculo NPR

El NPR o Numero de Prioridad de Riesgo indica la criticidad que tiene el componente analizado y este sirve para jerarquizar los ítems de cada máquina, con el fin de que al momento de desarrollar el cronograma de manteniendo se tenga en cuenta esta jerarquía para el orden de los mantenimientos. El valor del NPR está comprendido entre 1 – 1000 y se calcula por medio de la ecuación 2.

$$NPR = Severidad \times Ocurrencia \times Detección$$

Ecuación 2.

Donde, la severidad es la estimación de la gravedad del efecto del modo de falla potencial, la ocurrencia es la probabilidad de que una causa específica, resulte en un modo de falla y la detección es un valor para clasificar la probabilidad de encontrar la falla.

Los resultados que se pudieron obtener con esta metodología AMEF y prioridad de riesgo NPR, permitieron no solo aclarar y marcar la importancia de atención a la hora de definir el plan de mantenimiento, sino que también dieron una visión mejorada de los procesos prioritarios que realizan cada uno de los equipos y máquinas, así como comprender la importancia de mantener su estado funcional y el reconocimiento de la escala de riesgo de los posibles fallos.

#### IV. PLAN DE MANTENIMIENTO

Para el diseño de la gestión documental del plan de mantenimiento preventivo se realizaron una serie de etapas metodológicas que se han detallado en los puntos anteriores, que complementan y dan la base para formular las actividades de mantenimiento preventivo, a través de protocolos.

Estas actividades se enfocan, principalmente, a los equipos clasificados como críticos nivel A y B, según el análisis de criticidad realizado. A los que se les establecieron actividades de mantenimiento preventivo, así como correctivo según el caso. Para el resto de máquinas, herramientas e instrumentos de medición del inventario se plantearon actividades de chequeo programado para verificar su estado y vida útil, dado que éstas

fueron clasificadas en un nivel de criticidad bajo C y no representan riesgo considerable para el correcto desarrollo de las actividades académicas dentro de cada ambiente de formación.

**A. Hojas de decisiones**

Metodología propuesta por Moubray J. en su libro “Mantenimiento Centrado en Confiabilidad”, con la cual se pudieron determinar los siguientes aspectos para cada modo de falla de cada activo.

- ¿Qué mantenimiento de rutina (si lo hay) será realizado, con qué frecuencia y quién lo hará?.
- ¿Qué fallas son lo suficientemente serias como para justificar un rediseño?.
- Casos en los que se toma la decisión deliberada para dejar que las fallas ocurran. Además, Moubray [6] propone un formato de Hoja de Decisión que fue adaptado al estilo documental que se llevó para cada uno de los formatos de este plan de mantenimiento y que se puede observar en la Fig. 5.

Según la empresa de mantenimiento Renovetec liderada por el ingeniero García [7], define el protocolo de mantenimiento cómo un listado de tareas a realizar en un tipo concreto de equipo. En el protocolo de mantenimiento se incluyen datos como la especialidad del trabajo, la frecuencia con la que se debe hacer, la duración estimada realizando la actividad, el tipo de mantenimiento y el estado del equipo en el momento: parado o en funcionamiento.

**B. Protocolos de mantenimiento**

Los protocolos surgen del análisis realizado en las Hojas de decisiones detalladas anteriormente, donde se establecieron las actividades o tareas de mantenimiento recomendadas por los operarios y responsables de cada uno de los posibles modos de falla de cada equipo crítico. Para consolidar las actividades rutinarias y programadas de mantenimiento, se estableció un formato que se puede observar en la Fig. 6, es basado en el formato formulado por Sony Zambrano en su Manual de Gestión de Mantenimiento [2].

CENTRO MULTISECTORIAL-9537 CENTRO DE LA INDUSTRIA, LA EMPRESA Y LOS SERVICIOS - CIES CÚCUTA NORTE DE SANTANDER															
HOJA DE DECISIONES										FORMATO:					
REALIZADO POR:					APROBADO POR:					FECHA DE APROBACIÓN					
MICHAEL STEVEN MOLINA DAZA					JUAN DE DIOS CARRILLO					20/11/2018					
JEISSON HARVEY MARTINEZ					Cuentadante Ambiente Soldadura										
INFORMACIÓN DEL EQUIPO															
ÁREA:		TALLER DE SOLDADURA			SISTEMA:		ORTE Y RANURADO PLASMA DE AL			CRÍTICIDAD DEL EQUIPO:					
CÓDIGO DE ÁREA:		121			EQUIPO:					(A) - Crítico: <input type="checkbox"/>					
CUENTADANTE A CARGA:		JUAN DE DIOS CARRILLO			PLACA INVENTARIO:					(B) - Semicrítico: <input checked="" type="checkbox"/>					
										(C) - No Crítico: <input type="checkbox"/>					
REFERENCIA DE INFORMACIÓN															
EVALUACIÓN DE LAS		CRITERIOS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA			ACCIÓN A FALTA DE				TAREA O ACTIVIDAD PROPUESTA		INTERVALO INICIAL	A REALIZARSE POR			
F	FF	FM	H	S	E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4			
							S1	S2	S3						
							O1	O2	O3						
							N1	N2	N3						
1	A	1	NO				NO	SI					Preventiva: Tarea de recondicionamiento cíclico. Reemplazar el filtro de aire.	Trimestral	Técnico operario
2	A	1	SI	NO	NO	SI	NO	NO	NO				Correctiva: Tarea de búsqueda de fallas. Reemplazar el interruptor de presión	N/A	Técnico operario
3	A	1	NO				NO	NO	NO	SI			Correctiva: Tarea de búsqueda de fallas. Reemplazar la válvula	N/A	Técnico operario
4	A	1	SI	NO	NO	SI							Predictiva: Tarea a condicion. Reemplazar el regulador de presión.	N/A	Técnico operario

Fig. 5 Formato Hoja de Decisiones

CENTRO MULTISECTORIAL-9537 CENTRO DE LA INDUSTRIA, LA EMPRESA Y LOS SERVICIOS - CIES CÚCUTA NORTE DE SANTANDER															
PROTOSCOLOS DE MANTENIMIENTO POR EQUIPOS										FORMATO:		FECHA:			
INFORMACIÓN DEL EQUIPO															
GAMA DE EQUIPOS:		Compresores		CRITICIDAD:		Código: <input type="checkbox"/> Crítico; <input checked="" type="checkbox"/> Semicrítico; <input type="checkbox"/> No Crítico.		ÁREA:		Ambiente de Soldadura		CÓDIGO ÁREA:		121	
CÓDIGO DEL PROTOCOLO		DESCRIPCIÓN		FRECUENCIA		TIEMPO ESTIMADO		RECURSOS		CONDICIÓN DE OPERACIÓN		TIPO DE MANTENIMIENTO			
								PERSONAL		OPERANDO		PREVENTIVO			
								REPUUESTOS		PARADO		CORRECTIVO			
								INSUMOS Y MATERIALES		HERRAMIENTAS		O			
1-01		limpieza del filtro, previo alvivo de presión.	Semanal	10 minutos	Técnico Operario	NA	Material es de Limpieza	NA			X	X			
1-02		Verificar dispositivos de protección eléctrica del compresor. Inspeccionar red eléctrica y cableado.	NA	10 minutos	Técnico Eléctrico	NA	Herramientas eléctricas				X	X			
1-03		Revisar compresor, ajustar presión de aire del sistema. Revisar integridad del tanque. Solicitar reparación especializada o cambio de tanque.	NA	5 Minutos	Técnico Mecánico	NA	NA	NA			X		X		
1-04		Revisar la integridad del tanque. Limpiar y reconectar la parte soldada.	Anual	60 Minutos	Técnico Mecánico	NA	Material es de Limpieza	Herramientas mecánicas			X		X		
1-05		Inspeccionar los instrumentos de medición del compresor, ajustar tornillos y acople, limpiar filtro.	Bimensual	15 minutos	Técnico Operario	NA	Material es de Limpieza	Herramientas mecánicas			X	X			

Fig. 6 Formato protocolos de mantenimiento

**C. Lista de Chequeo**

La lista de chequeo permite llevar control y cumplimiento de requisitos y actividades repetitivas basadas en inspección. De esta forma, el operador puede asegurarse de que el equipo opere en óptimas condiciones o por el contrario en caso de encontrar una anomalía debe generar el debido reporte a un superior directo. Para mantener en estado funcional estos equipos se tuvo en cuenta para la lista de chequeo lo siguiente:

- Las actividades deben realizarse paso a paso y hacerse con un orden establecido.
- Registrar las actividades realizadas con el fin de conocer los puntos inspeccionados.
- Dependiendo del tipo de equipo o instrumento se debe verificar o examinar artículos funcionales disponibles.
- Examinar o analizar la localización de defectos o averías.
- Verificar las causas de los defectos o averías.

La Fig. 7 muestra el formato para la lista de chequeo, el cual está basada en la norma UNE 58921 [8] “Instrucciones para la instalación, manejo, mantenimiento, revisiones e inspecciones de las plataformas elevadoras móviles de personal”.

CENTRO DE LA INDUSTRIA, LA EMPRESA Y LOS SERVICIOS - CIES CÚCUTA - NORTE DE SANTANDER GESTIÓN DE MANTENIMIENTO									
LISTA DE CHEQUEO								NUMERO	
								FORMATO	
INFORMACIÓN DEL EQUIPO									
GAMA DE EQUIPOS		COMPRESOR		HORA		ÁREA		TALLER DE SOLDADURA	
INSPECTOR		FIRMA				CÓDIGO DE ÁREA		121	
ITEMS		TAREA				CUMPLIMIENTO		OBSERVACIONES	
						SI NO N/A			
<b>1. INSPECCION</b>									
1.1	Interruptor de encendido esté en buen estado.								
1.2	Válvula de seguridad en buen estado.								
1.3	Cables de alimentación en óptimas condiciones								
1.4	Manómetros en óptimas condiciones y funcionales								
1.5	Correas en buen estado								
1.6	Protección de motor en óptimas condiciones								
1.13	Tanque de almacenamiento de aire libre de oxidación o corrosión excesiva								
<b>2. MEDICION</b>									
2.1	Nivel de aceite del motor en rango óptimo								
2.2	Nivel de tensión adecuado								
ELABORADO POR:		Jeisson Harvey Martinez Flores				CHA DE APROBACION			
APROBADO POR:		Michael Steven Molina Daza				DE CUMPLIMIENTO			
$\% \text{ CUMPLIMIENTO} = \frac{\text{TOTAL N}^\circ \text{ SI}}{\text{TOTAL ITEMS APLICABLES}} \cdot 100$									

Fig. 7 Formato de lista de chequeo

**D. Cronograma de mantenimiento**

Según Sony Zambrano en el manual práctico de gestión de mantenimiento [2] “todo proceso de programación debe seguir ciertos lineamientos los cuales deben estar interconectados con los objetivos y metas organizacionales”. El objetivo de la programación de mantenimiento es señalar la periodicidad de la realización de las instrucciones técnicas. En el mantenimiento programado los programas abarcan periodos de hasta un año, en el rutinario hasta semanales y en circunstancial como no se tiene una fecha fija de arranque se debe hacer el programa para un ciclo de funcionamiento. Ver Fig. 8.

Se clasificaron todas aquellas actividades catalogadas como mantenimiento rutinario, que engloba todas aquellas tareas comprendidas en un periodo de tiempo semanal, estas tareas tienen como objetivo mantener los equipos en las condiciones de operaciones recomendadas. Las actividades propuestas son de carácter preventivo e involucra distintos factores como la lubricación, inspecciones más detalladas, limpiezas, ajustes, etc. Este mantenimiento rutinario debe ser realizado por el operario de la máquina, con ayuda del formato de mantenimiento rutinario en la cual se contempla el nombre de las partes vitales del equipo, el mantenimiento rutinario diario y semanal.

CENTRO MULTISECTORIAL - 9637 CENTRO DE LA INDUSTRIA, LA EMPRESA Y LOS SERVICIOS - CIES CÓCUTA NORTE DE SANTANDER												
CRONOGRAMA DE MANTENIMIENTO												
AREA	TALLER DE SOLDADURA	EQUIPO	FULGORA BOSCH	MODELO	NA							
CODIGO DE AREA	101	PLACA INVENTARIE		SERIE	NA							
ACTIVIDAD DE MANTENIMIENTO	RESPONSABLE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT		
Lubricar los rodamientos y eje de la empujadora												
Cambio de grasa en el mecanismo de engranes												
LABORADO POR	Jesson Harvey Martinez Flores Michael Steven Padua Daza	APROBADO POR		FECHA DE APROBACION								
				<input type="checkbox"/> PREVENTIVO <input type="checkbox"/> BASADO EN CONDICION								

Fig. 8. Formato de lista de chequeo

**E. Indicadores de mantenimiento**

Los indicadores permiten conocer la situación actual de un equipo o sistema, elaborar informes, analizar de la evolución de la gestión del plan de mantenimiento, elaborar auditorias cuantitativas de mantenimiento que se basan en los indicadores para calcular índices de conformidad y rendimiento del plan de gestión.

Para la elección de los indicadores se tuvo en cuenta su utilidad dentro de todo el sistema de gestión de mantenimiento, así como la facilidad de adquirir la información necesaria para determinarlos.

1) Disponibilidad: Es el indicador más importante en la gestión de mantenimiento, permite determinar el grado de disponibilidad operacional de un activo o sistema. Se calcula a través de la Ecuación 4.

$$D = \frac{\text{Horas Totales} - \text{Horas de parada por mto}}{\text{Horas Totales}}$$

Ecuación 4.

2) Disponibilidad total: Se compone por la media aritmética de la disponibilidad de cada uno de los equipos de un sistema o área. Permite determinar el grado de disponibilidad operacional de un ambiente en general. Se calcula a través de la Ecuación 5.

$$DT = \frac{\text{Disponibilidad de equipos significativos}}{\text{Nº de equipos significativos}}$$

Ecuación 5.

3) Confiabilidad: Este índice determina la probabilidad de que un activo lleve su función a cabo adecuadamente durante un periodo de tiempo y bajo condiciones establecidas. [8]. Se calcula a través de la ecuación 6.

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

Ecuación 6.

Donde:

R(t) = Confiabilidad de un equipo en un tiempo t dado

e = Constante Neperiana (e=2.71828)

λ = Tasa de fallas (número total de fallas por periodo de operación)

t = Tiempo

4) Disponibilidad por averías: Se determina de las actividades de mantenimiento no programadas, lo que permite inferir qué tanto impacto generó las acciones correctivas en la disponibilidad de los equipos. Además, permite evaluar que las tareas de mantenimiento programadas fueron suficientes para garantizar la vida útil del equipo, y también detectar aquellas acciones de mantenimiento que deben ser incluidas en las actividades programadas, dado que generaron un alto impacto y tiempo de parada. Se calcula a través de la ecuación 7.

$$DA = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas de parada por avería}}{\text{Horas totales}}$$

Ecuación 7.

5) Tiempo medio entre fallos: Este indicador permite conocer la frecuencia con la que ocurren las averías en cada uno de los equipos[5]. Se calcula a través de la ecuación 8.

$$MTBR = \frac{\text{Nº de Horas totales del rango de tiempo analizado}}{\text{Nº de averías}}$$

Ecuación 8.

6) Tiempo medio entre reparación: Este indicador permite conocer la importancia de las averías que le ocurren a un equipo, considerando el tiempo promedio que toma repararlos después de una falla[8]. Se calcula a través de la ecuación 9.

$$MTTR = \frac{\text{Nº de Horas de paro por avería}}{\text{Nº de averías}}$$

Ecuación 9.

7) Tiempo medio para la falla.

$$TMPF = \frac{\text{Nº de Horas de operación del equipo}}{\text{Nº total de averías}}$$

Ecuación 10.

**V. GESTION DOCUMENTAL**

La gestión documental es el conjunto de actividades administrativas y técnicas destinadas a la planificación,

manejo y organización de toda la documentación producida, y de cada una de sus etapas desarrolladas con el fin de facilitar su utilización y conservación.

Con esta gestión se evita la pérdida de los documentos y se garantiza la veracidad de la información, genera un control de los mismos y es susceptible a futuras modificaciones.

**A. Bitácora de fallos**

La bitácora de fallos permite registrar todos los acontecimientos previstos e imprevistos durante el desarrollo de las practicas llevadas a cabo por los estudiantes en los ambientes de soldadura, mecatrónica y refrigeración, el formato contempla solo datos relevantes para una mejora continua del plan de mantenimiento (Fig. 9).

CENTRO MULTISECTORIAL - 9537 CENTRO DE LA INDUSTRIA, LA EMPRESA Y LOS SERVICIOS - CIES CÚCUTA NORTE DE SANTANDER						
REGISTRO DE FALLOS						
ÁREA:		NÚMERO:		FORMATO:		
CÓDIGO DE ÁREA:		REALIZADO POR:		APROBADO POR:		
FECHA	EQUIPO	PLACA	CAUSA	TIPO	RESPONSABLE	

Fig. 9 Bitácora Registro de Fallos

**B. Bitácora de mantenimiento**

La bitácora de mantenimiento es primordial incluirla en el plan de mantenimiento, ya que ella provee información crucial para desarrollar indicadores los cuales dan a conocer que tan efectivo es el plan, para así realizar debidas correcciones o mejoras del mismo y cumplir con la ruta propuesta por el plan de mantenimiento.

CENTRO MULTISECTORIAL - 9537 CENTRO DE LA INDUSTRIA, LA EMPRESA Y LOS SERVICIOS - CIES CÚCUTA NORTE DE SANTANDER							
MANTENIMIENTO							
ÁREA:		NÚMERO:		FORMATO:			
CÓDIGO DE ÁREA:		REALIZADO POR:		APROBADO POR:			
EQUIPO	PLACA INVENTARIO	MOD DE FALLO	TIPO DE MANTENIMIENTO	DESCRIPCIÓN	DURACION DEL MANTENIMIENTO	FECHA DE INICIO DEL MANTENIMIENTO	FECHA DE FINALIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO

Fig. 10 Formato de mantenimiento

**C. Bitácora de calibración**

Ambientes como los de soldadura, mecatrónica y refrigeración cuentan con activos los cuales requieren una calibración metrológica para su buen desempeño. Estas acciones de calibración deben ser llevadas a cabo por una empresa certificada en el área.

Para mantener un control adecuado de toda lo documentación, se estableció un formato para complementar

el histórico de todas las actividades realizadas a un activo por la empresa que elaboró la calibración.

**D. Bitácora de operación**

Actualmente el centro CIES cuenta con equipos los cuales requieren mantenimientos basados en condición. El mantenimiento basado en condición consiste en realizar determinadas tareas de mantenimiento por horas de funcionamiento o por períodos de tiempo, por ende, es preciso conocer el tiempo de trabajo al que ha sido sometido el equipo. Para dar solución a esto se diseñó un formato como se muestra en la Fig. 12, el cual debe ser llenado cada vez que un equipo sea utilizado.

CENTRO MULTISECTORIAL - 9537 CENTRO DE LA INDUSTRIA, LA EMPRESA Y LOS SERVICIOS - CIES CÚCUTA NORTE DE SANTANDER										
REGISTRO DE AJUSTE Y CALIBRACION										
ÁREA:		NÚMERO:		FORMATO:						
CÓDIGO DE ÁREA:		REALIZADO POR:		APROBADO POR:						
FECHA	EQUIPO	PLACA	ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD DE MEDIDA	RANGO DE MEDICION	TOLERANCIA	RESPONSABLE	ANALISIS DE CONFORMIDAD:	

Fig. 11 Registros y ajustes de Calibración

CENTRO MULTISECTORIAL - 9537 CENTRO DE LA INDUSTRIA, LA EMPRESA Y LOS SERVICIOS - CIES CÚCUTA NORTE DE SANTANDER							
REGISTRO DE OPERACION							
ÁREA:		NÚMERO:		FORMATO:			
CÓDIGO DE ÁREA:		REALIZADO POR:		APROBADO POR:			
EQUIPO	FECHA	HORA DE INICIO	HORA DE FINALISACION	TOTAL DE HORAS DE USO	OBSERVACION	RESPONSABLE	FIRMA

Fig. 12 Registro de Operación

**E. Orden de trabajo**

La orden de trabajo es el documento en el cual se describen las características de un activo y las acciones de mantenimiento por realizar. Una orden de trabajo es de vital importancia para solicitar acciones de mantenimiento para la conservación de los activos y en el peor de los casos se realiza cuando se presenta una avería ya que se debe proceder a realizar la reparación requerida para que se coloque nuevamente en funcionamiento Fig. 13.

CENTRO MULTISECTORIAL - 9537 CENTRO DE LA INDUSTRIA, LA EMPRESA Y LOS SERVICIOS - CIES CÚCUTA NORTE DE SANTANDER, A					
ORDEN DE TRABAJO			FORMATO:		
DATOS DEL EQUIPO					
ÁREA:		NÚMERO DE CONTROL:			
NOMBRE DEL EQUIPO:		PLACA DEL EQUIPO:			
MARCA:		MODELO:			
GRADO DE URGENCIA:		SERIE:			
EMERGENCIA <input type="checkbox"/>		COMPLETARSE SIN INTERRUPCIÓN?		SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	
URGENCIA <input type="checkbox"/>		TIPO DE MANTENIMIENTO:			
PROGRAMADA <input type="checkbox"/>		TIPO DE SERVICIO:			
TURNO: A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>		SOLICITANTE:			
PERSONAL: INTERNO <input type="checkbox"/> EXTERNO <input type="checkbox"/>					
DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO					
MANO DE OBRA			MATERIALES		
ENCARGADO	TIEMPO E/R	DESCRIPCIÓN	PARTES	UDS.	PRECIO
OBSERVACIONES					
ELABORADO P/			FECHA DE TERMINACIÓN:		
APROBADO P/			FECHA DE APROBACION:		

Fig. 13 Formato Orden de Trabajo

### F. Reporte de averías

El reporte de averías tiene como finalidad registrar todos los eventos o incidentes ocurrientes en un activo, para así, atender de manera correcta las necesidades de cada uno de los ambientes de formación por medio de análisis de averías.

SENA		CENTRO MULTISECTORIAL - 3637 CENTRO DE LA INDUSTRIA, LA EMPRESA Y LOS SERVICIOS - CIES CÚCUTA NORTE DE SANTANDER, A	
REPORTE DE AVERIAS		NUMERO:	FORMATO:
<b>DATOS DEL USUARIO</b>			
NOMBRE:		CARGO:	
DOCUMENTO:		DEPENDENCIA:	
<b>DATOS DEL EQUIPO</b>			
AREA:		CODIGO DEL AREA:	
EQUIPO:		PLACA DEL EQUIPO:	
MARCA:		MODELO:	
<b>DETECCION DE LA FALLA</b>			
HORA:		FECHA:	
MODULO DE FALLO:		CAUSA DEL FALLO:	
<b>DESCRIPCION</b>			
<b>OBSERVACIONES</b>			
SOLICITANTE:		FIRMA	
RESPONSABLE:		FIRMA	

Fig. 14 Formato Reporte de Averías

## VI. RESULTADOS

Al no haber ninguna base documental referente a mantenimientos realizados a los equipos del Centro CIES del SENA dificultó el desarrollo del plan, lo que repercutió en agendar encuentros con el personal a cargo de los equipos y contactar con los proveedores oficiales de los mismos, para ello se establecieron estrategias que faciliten y optimicen la recolección de información basadas en la norma ISO 14224 del 2016.

Tras realizar los análisis de criticidad se llegó a la conclusión de que no hay equipos altamente críticos. Hay un total de 22 equipos equivalentes al 75,86% del total de los equipos analizados, que son catalogados como semi-críticos y 7 equipos equivalentes al 24,13% clasificado como no críticos. Lo que evidencia que, al tratarse de instrumentos y equipos destinados a la formación y utilización ocasional por parte de los aprendices, no se ven envueltos en un ambiente de gran riesgo operativo producto de alguna falla por mantenimiento y por ende los aspectos ambientales y de seguridad laboral quedan sujetos al control del instructor responsable de formar a los aprendices en el correcto uso y manipulación de los equipos, sustentado en las instrucciones dadas por el manual del fabricante, y que quedan fuera del alcance de este proyecto. El aspecto que se tuvo principalmente en cuenta fue la utilidad que se le da al mismo para el desarrollo de la formación.

## VII. CONCLUSIONES

Con el desarrollo del proyecto se pudo diagnosticar el estado logístico y administrativo de la gestión de mantenimiento en el centro CIES-Cúcuta del SENA. Se encontraron varias deficiencias en gestión de actividades tanto preventivas como correctivas, un ejemplo de ello es la falta de registros históricos sobre averías, reparaciones y actividades de calibración realizadas a los equipos utilizados por los aprendices e

instructores en los talleres de formación. Este hallazgo permitió redirigir el enfoque del plan de mantenimiento que se pretendía desarrollar, ya que al no contar con información de calidad y verás, fue necesario implementar una metodología basada en normativas como ISO 14224 de 201, UNE 60706-2 de 2006 y SAE J-1739 de 1995, bajo la filosofía del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).

En la metodología desarrollada fue fundamental tomar en cuenta el criterio del personal a cargo de los equipos para el desarrollo del análisis de modo y efectos de fallas, ya que cuentan con la experiencia en el manejo de los mismos, lo que garantizó que se tuvieran en cuenta las necesidades principales de los talleres. Con esto se obtuvieron las bases en gestión documental y metodología de implementación, para que posteriormente sea implementado el plan de mantenimiento preventivo por el centro CIES-Cúcuta.

El sistema de gestión de mantenimiento diseñado no solo beneficiará al centro CIES, Norte de Santander, también servirá de base para las demás sedes del país que quieran optimizar sus procesos de gestión de activos. Esto genera un gran impacto ya que, esta gestión se adapta a las necesidades presentes y está desarrollado con fines de mejora continua.

## VIII. RECOMENDACIONES

Cumplir con las tareas propuestas en el plan de mantenimiento con el objetivo de mejorar la condición de los ambientes y la formación impartida por el SENA.

Implementar los indicadores cada mes y así evaluar el estado de los equipos para llevar registro de la evolución del mismo tras aplicar lo propuesto en el plan de mantenimiento.

Administrar toda la información obtenida por parte de los proveedores al momento de adquirir nuevos equipos con el fin de tener las bases para incluirlos posteriormente al plan de mantenimiento.

Implementar el software de mantenimiento como "Mantum", recientemente adquirido por esta entidad, para agilizar las labores administrativas de mantenimiento y atender las necesidades que se presenten en el menor tiempo posible.

Asignar un departamento destinado únicamente a las labores de mantenimiento donde se gestionen todas las actividades y formatos desarrollados.

## REFERENCIAS

- [1] *Organización Internacional De Normalización, Industrias del petróleo, la petroquímica y el gas natural: recopilación e intercambio de datos de fiabilidad y mantenimiento para equipos.* Norma ISO 14224. 3 ed. 2016.
- [2] S. Zambrano y S. Leal, *Fundamentos básicos de mantenimiento.* Venezuela, Fondo editorial de la universidad del Táchira, 2005.
- [3] *Normalización Española, Mantenibilidad de equipos parte 2: Requisitos y estudios de mantenibilidad durante la fase de diseño y desarrollo.* Norma UNE

60706-2. 2006.

- [4] C. Parra y A. Crespo, *Técnicas de Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicadas en el proceso de gestión de activos. Nota técnica 5: Métodos de análisis de criticidad y jerarquización de activos*. Vol. 5. Sevilla España. Editado por Ingeman. 2012. 46 p.
- [5] *Organismo Internacional de Estandarización. Análisis de Modo y Efectos de Fallas Potenciales en los procesos de diseño, manufactura y ensamble*. Norma SAE J1739. 2009.
- [6] J. Moubray, *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II*, 3er edición, ISBN : 09539603-2-3, 2004.
- [7] S. García, *Elaboración de planes de mantenimiento basados en protocolos de mantenimiento por tipo de equipo*. [En línea]. Disponible en: <http://santiagogarciagarrido.com/index.php/actividades-de-idi/56-planes-de-mantenimiento>. [Accedido el 10 de Nov 2018].
- [8] *Normalización Española, Instrucciones para la instalación, manejo, mantenimiento, revisión e inspecciones de las plataformas elevadoras móviles de personal (PEMP)*. Norma UNE 58921 IN. 2002.

# Diseño de un sistema para la emulación de movimiento en una mano robotizada a bajo costo

Oscar M. Duque S,  
 oduques@sena.edu.co  
 Centro CEDRUM,  
 Regional N.D.S,  
 Tecnoacademia  
 Cúcuta, Cúcuta,  
 Colombia,

Andres M Puentes V,  
 apuentesv@sena.edu.co,  
 Centro CEDRUM,  
 Regional N.D.S,  
 Tecnoacademia  
 Cúcuta, Cúcuta,  
 Colombia,

David A Arredondo R,  
 david0910sena@gmail.com,  
 Centro CEDRUM,  
 Regional N.D.S,  
 Tecnoacademia  
 Cúcuta, Cúcuta,  
 Colombia,

Elmer D Yaruro V  
 eduvanyaruro@gmail.com,  
 Centro CEDRUM,  
 Regional N.D.S,  
 Tecnoacademia  
 Cúcuta, Cúcuta,  
 Colombia,

**Resumen.** En el presente artículo, se describirá el desarrollo de un sistema de emulación de movimiento robotizado en mano con bajo costo siguiendo la metodología STEM. (Science Technology Engineering Mathematics). Los desarrollos de un sistema de emulación de mano suelen ser costosos y Tecnoacademia Cúcuta tiene la limitante de hacer desarrollo con el material de formación. Como etapa inicial se realizó un estudio de antecedentes y STEM de Microsoft Education en el desarrollo de un sistema para la emulación del movimiento de mano, además la anatomía de mano; para seleccionar los dispositivos de instrumentación, procesamiento, visualización y materiales necesarios para el proyecto. La etapa siguiente, consistió en diseñar el sensor de lectura de movimiento de falange y un guante que compila todos los dedos de la mano y una maqueta de emulación de mano donde se puede visualizar los mandos (órdenes) obtenidos de la lectura de movimiento de cada falange. Para el logro del objetivo general, fue necesario realizar el código de control en una tarjeta de desarrollo que registrara los datos del sensor de cada falange y las remite los actuadores de la maqueta de emulación de mano. Para finalizar, se articuló el sistema de sensado de los movimientos de cada falange con la mano robotizada de cinco falanges con la que cuenta Tecnoacademia Cúcuta y con interfaz de visualización en Excel de señales de Microsoft Education.

**Palabras Clave:** TEM, mano, robotizado, Velostat, mando, sensor.

**Abstract.** In this article, we will describe the development of a robotic hand-held emulation system with low cost following STEM methodology. The developments of a hand-held emulation system are usually expensive and Tecnoacademia Cúcuta has the limitation of developing with the training material. As an initial stage, a background study and STEM of Microsoft Education was carried out in the development of a system for the emulation of hand movement, in addition to hand anatomy; to select the instrumentation, processing, visualization and materials necessary for the project. The next stage was to design the phalange motion reading sensor and a glove that compiles all the fingers of the hand and a hand-held emulation model where you can visualize the controls (orders) obtained from the movement

reading of each phalanx. In order to achieve the general objective, it was necessary to carry out the control code on a development card that recorded the sensor data of each phalanx and sent by the actuators of the hand-held emulation model. Finally, the sensing system of the movements of each phalanx was articulated with the robotic hand of five phalanges with which Tecnoacademia Cúcuta has an Excel display interface for Microsoft Education signals.

**Keywords:** STEM, hand, robotic, Velostat, control, sensor.

## I. INTRODUCCIÓN

El propósito de poder reproducir el funcionamiento de la anatomía humana ha sido, a lo largo del tiempo, uno de los mayores intereses de la ciencia. Desde la antigüedad, el hombre ha construido diferentes dispositivos que le permiten emular sus movimientos, con el fin de ser empleados, ya sea para estudiar el comportamiento fisiológico del hombre o para facilitar las labores en el diario vivir [1]. Estos se diseñaron para funcionar automáticamente o empleando un sistema de control hombre – máquina. Pero es hasta mediados del siglo veinte en donde se logran construir los primeros robots industriales pesados, con electrónica compleja y con un rango de funciones muy limitado. El verdadero reto sería poder transmitir la sutilidad de la mano humana como principal componente de la manipulación para el hombre en un sistema robotizado.

La ingeniería y la medicina han unido fuerzas y experiencias en la búsqueda de dispositivos que permitan mejorar la calidad de vida de las personas [2], esto ha permitido el diseño de instrumentos más precisos y eficaces de emulación [3]. El presente proyecto se enfoca en el diseño de un sistema de emulación de movimiento robotizado de la mano humana de bajo costo para los procesos de aprendizaje de Tecnoacademia Cúcuta y como principio para aplicaciones en tele-operación robotizada, manipulación segura y diseños biomecánicos de imitación del movimiento.

## II. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

### A. Problema.

Tecnoacademia Cúcuta como escenario de aprendizaje dotado de tecnologías emergentes en la línea de Ingeniería robótica que busca apropiarse conocimientos a través del desarrollo de proyectos de investigación aplicada e innovación, teniendo como población objetivo a los estudiantes de los colegios. Dentro de las áreas de interés de Tecnoacademia Cúcuta está la bioingeniería y el desarrollo de sistemas de emulación de movimiento humano y el uso de dichas señales para generar mandos (órdenes) en sistemas robotizados. [4]

El principal limitante de los desarrollos de los proyectos de investigación en Tecnoacademia Cúcuta es el costo asociado a los mismos, dado que se debe trabajar con los materiales de formación disponibles y el 90% de los aprendices son de bajos recursos entre los estratos 1 y 2. Para los procesos formativos bajo metodología STEM es importante el desarrollo de proyectos de ingeniería aplicada, pero al alcance de los recursos con los que se disponen.

¿Cómo se podrían generar mandos y órdenes a un sistema de emulación del movimiento de mano robotizado de bajo costo por los aprendices de Tecnoacademia Cúcuta?

### B. Justificación.

Tecnoacademia Cúcuta cuenta con un fuerte programa de formación en electrónica, robótica e investigación, esta última a través del semillero SEIINTAC y dentro de sus líneas de investigación está la biomecánica y bioingeniería. El desarrollo de un sistema de emulación de movimiento de mano robotizada de bajo costo y bajo metodología STEM es completamente viable si articulamos esfuerzos entre los recursos disponibles en los materiales de formación de Tecnoacademia Cúcuta, los conocimientos adquiridos y los lineamientos STEM de Microsoft Education.

El desarrollo del proyecto de emulación del movimiento robotizado de mano daría continuidad a un proyecto anterior desarrollado por aprendices de Tecnoacademia Cúcuta en el diseño de una mano robotizada de cinco falanges y al cual complementaría el desarrollo de la emulación. Mediante la adecuada selección de elementos se podría establecer un sensor de movimiento lo suficientemente útil y de bajo costo para cada falange de manera que se midan los movimientos [5], y enviar estas señales a actuadores que permitan la emulación del movimiento, siempre en el marco del uso de software, hardware abierto, de elementos de bajo costo; delimitados a los materiales de formación y contenidos formativos de Tecnoacademia Cúcuta.

## III. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

### A. Objetivo General

- Desarrollar un sistema de emulación de movimiento robotizado de mano de bajo costo siguiendo metodología STEM.

### B. Objetivos Específicos

- Realizar un estudio de antecedentes y de STEM de Microsoft Education en el desarrollo de un sistema de

emulación de movimiento de mano, además de anatomía de mano; para seleccionar los elementos de instrumentación, procesamiento, visualización y materiales necesarios para el proyecto.

- Diseñar el sensor de lectura de movimiento de falange y un guante que compile todos los dedos de la mano y una maqueta de emulación de mano donde se pueda visualizar los mandos (órdenes) obtenidos de la lectura de movimiento de cada falange.
- Realizar el código en una tarjeta de desarrollo que registre los datos del sensor de cada falange y las remita a los actuadores de la maqueta de emulación de mano.
- Articular el sistema de sensado de los movimientos de cada falange con la mano robotizada de cinco falanges con la que cuenta Tecnoacademia Cúcuta y con interfaz de visualización en Excel de señales de Microsoft Education

### C. Metodología del desarrollo de la investigación

Como metodología pedagógica se usó, la STEM que por política Tecnoacademia es la debemos usar basada en la ciencia, la tecnología, la ingeniería y la matemática. Como metodología de diseño usaremos “diseño concurrente” que es ideal para el diseño de prototipos mecatrónicos, y se basa en analizar el diseño desde todos los puntos de vista, mecánico, electrónico, de programación al mismo tiempo. [6] Las fases son estudio y diseño del prototipo, diseño e implementación, pruebas de conexión y emulación. [7] Los productos son:

1. Prototipo de sensor de movimiento de falanges acoplado en forma de guante.
2. Conexión a interface en Excel para percibir el porcentaje de extensión de cada variable
3. Emulación del movimiento robotizado de mano.

### D. Antecedentes

“Diseño de un prototipo electromecánico para la emulación de los movimientos de un brazo humano” desarrollado por Gallo Sánchez, Luisa Fernanda; Guerrero Ramírez, Mónica Alejandra; Vásquez Salcedo, Juan Diego; desarrollado en el 2016 en la Universidad de Ibagué [8], este trabajo aportó ideas en la forma de crear emulación de mano.

También en el 2016, se desarrolló en la Universidad de Pamplona el trabajo titulado “Diseño de un sistema de percepción de señales mioeléctricas usando reconocimiento de patrones para control de una prótesis virtual de mano”, desarrollado por Carlos David Flórez Mora y Elkin Said Jaimes Martínez [9]. Este segundo trabajo, aportó formas de generar mandos o órdenes a una emulación.

En el 2013 el proyecto “Filtrado de señales de EMG de superficie basado en la red neural cuántica para el control de la mano robótica” Desarrollado por Gandhi, Vaibhav S. y McGinnity, Thomas-Martin y presentado en la “International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)” en Dallas, Texas USA [10]. El tercer antecedente aportó formas de reconocimiento de patrones y las ordenes

que pueden acabar en una mano robotizada. Se debe hacer énfasis que se tomó en cuenta aquello que se podía aplicar.

- Resistencia por superficie < 31KΩ/cm cuadrado

E. Criterios de Diseño y Selección

Para hacer el desarrollo de la emulación y la implementación de la mano robotizada que iba a ejecutar las órdenes, con el equipo de trabajo se realizó el levantamiento de los criterios de diseño y selección de los actuadores, sensores, tarjeta de procesamiento [11] y la maqueta de mano robotizada, ver Tabla 1.

TABLA I. CRITERIOS DE DISEÑO.

CRITERIOS ACTUADORES	CRITERIOS SENSOR	CRITERIOS TARJETA DE PROCESAMIENTO	CRITERIOS MANO ROBOTIZADA
BAJO PESO	BAJO COSTO	BAJO COSTO	MORFOLOGÍA DE MANO Y FALANGE CON BUENA EMULACIÓN
BAJO VOLUMEN	FÁCIL DE ADAPTAR A NIVEL ELECTRÓNICO	PRESENTE EN LA LINEA DE FORMACIÓN DE LOS APRENDICES DE TECNOACADEMIA CÚCUTA	LOS MECANISMOS DE MOVIMIENTO DE LAS FALANGES SEAN DE BAJO TORQUE
BAJO CONSUMO ENERGÉTICO	ALTA RESOLUCIÓN Y SENSIBILIDAD	ACEPTABLE RELACIÓN ENTRADAS SALIDAS, QUE DISPONGA SALIDAS PWM Y ENTRADAS ANALÓGICAS	RELACIÓN VOLUMEN-PESO BAJA
ADAPTABLE TECNOLÓGICAMENTE A LA TARJETA DE PROCESAMIENTO Y DE PREFERENCIA PRESENTE EN LOS MATERIALES DE FORMACIÓN DISPONIBLES	ADAPTABLE TECNOLÓGICAMENTE A LA TARJETA DE PROCESAMIENTO Y DE PREFERENCIA PRESENTE EN LOS MATERIALES DE FORMACIÓN DISPONIBLES	PRESENTE EN LOS MATERIALES DE FORMACIÓN DISPONIBLES	ADAPTABLE TECNOLÓGICAMENTE A LA TARJETA DE PROCESAMIENTO Y DE PREFERENCIA PRESENTE EN LOS MATERIALES DE FORMACIÓN DISPONIBLES

FUENTE: PROPIA

IV. DESARROLLO DEL DISEÑO

Se inició con la selección de la instrumentación y la tarjeta de procesamiento. Para el desarrollo del sensor escogimos el material Velostat de referencia ADAFR 1361 que es sensible a la presión y a la extensión ejercida sobre él, de tal manera que, a estos cambios, el material modifica su resistencia.

A. Instrumentación con ADAFR 1361 Velostat

Este material conductor también conocido como Velostat o Linqstat es un accesorio ideal para tus sensores tipo Wearable. Este material es sensible a la presión ejercida sobre él de tal manera que a mayor presión menor resistencia.

Características:

- Grosor 4mil / 0.1mm
- Límites de temperatura - 45°C hasta 65°C
- Resistividad por volumen <500 ohm-cm

B. Procesamiento ARDUINO UNO

Para el procesamiento se escogió la Arduino UNO, dado que cuenta con 14 pines entra/salida y 6 entradas análogas. Suficientes para las necesidades del proyecto.

Características

- Microcontrolador: ATmega328
- Voltaje Operativo: 5v
- Voltaje de Entrada (Recomendado): 7 – 12 V.
- Pines de Entradas/Salidas Digital: 14 (De las cuales 6 son salidas PWM) Pines de Entradas Análogas: 6
- Memoria Flash: 32 KB (ATmega328) de los cuales 0,5 KB
- Bootloader.
- SRAM: 2 KB (ATmega328) EEPROM: 1 KB (ATmega328) Velocidad del Reloj: 16 MHZ

C. Visualización – HMI en Excel de STEM de Microsoft Education

Se optó por seleccionar la interfaz de visualización, por lo que se escogió la HMI (interface humano máquina) en Excel de STEM de Microsoft Education. Todo bajo la guía STEM de Microsoft Education en el desarrollo de un sistema de emulación de movimientos de mano para la generación de ordenes en una mano robotizada, [12] ver Fig. 1.

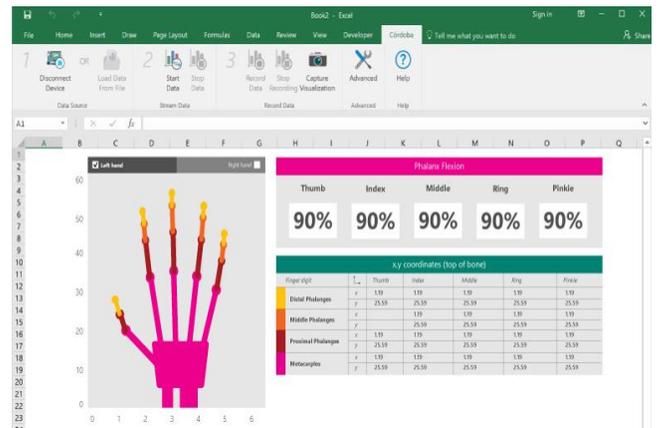


Fig. 1 HMI en Excel de STEM de Microsoft Education para la emulación de movimiento de mano. Fuente: Microsoft Education [13]

D. Desarrollo del sensor de ADAFR 1361 Velostat

A continuación, en la Fig. 2, se puede visualizar la composición en capas del sensor desarrollado.

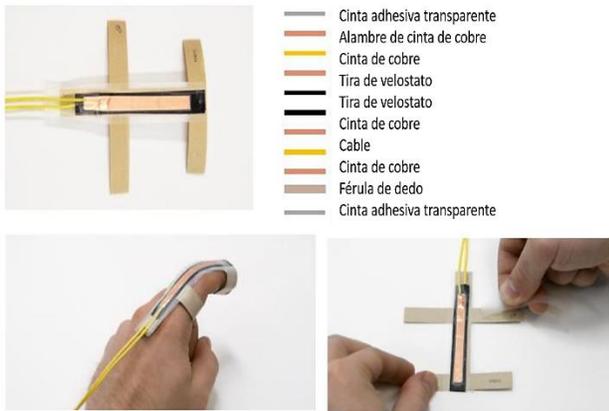


Fig. 2 Sensor de ADAFR 1361 Velostat, para medir el movimiento de un dedo. Fuente: Microsoft Education [7]

E. Desarrollo de una maqueta de prueba de emulación inicial

En la Fig. 3, se puede visualizar una maqueta inicial que se realizó, para poder probar la lectura de los movimientos de los dedos de la mano, la correcta lectura del sensor de Velostat y la creación de órdenes en los actuadores (servomotores) a partir de las señales sensadas. [14]



Fig. 3 Maqueta de Ejecución de mandos y guante con distribución de sensores de ADAFR-1361 -Velostat en los dedos del usuario. Fuente: Propia.

F. Captación de la señal de los sensores y código de lectura

Se creó el código en la tarjeta de desarrollo Arduino que registra los datos del sensor de cada falange y las remite a los actuadores de la maqueta de emulación de mano. El código puede resumirse, en convertir la variación de resistencia del Velostat con el movimiento de cada falange en una variación de voltaje que es entregada a las entradas analógicas de la arduino; que mediante una escala de variación transmite la orden al grado en que debe posicionarse cada micro servo de la maqueta de emulación. En la Fig. 4, se puede visualizar el plano de conexión de los sensores de Velostat que van en cada dedo del usuario a la tarjeta Arduino y las referencias de los servomotores usados en las maquetas de emulación de movimiento. La referencia Micro Servo 9g SG90 TowerPro fue utilizada en la maqueta inicial de prueba y la referencia Micro-Servomotor GS9018 GDTECK COMPANY, fue utilizado en la mano robotizada final; este microservo de piñonaría metálica y de mayor torque era más eficiente para las necesidades de nuestro desarrollo. [15]

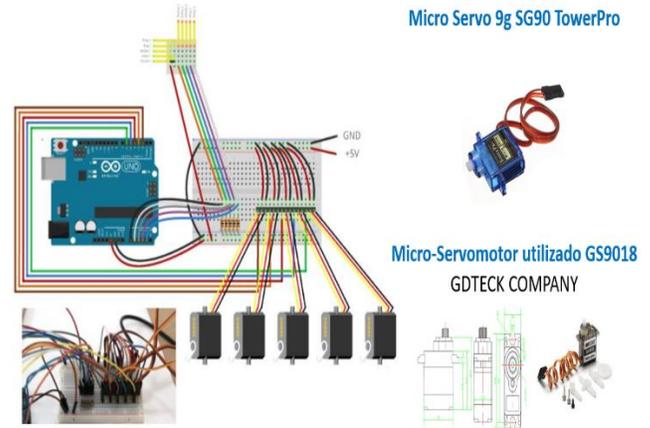


Fig. 4 Plano de conexión de sensores de ADAFR 1361 Velostat a la tarjeta y maqueta, también las referencias de los microservos utilizados. Fuente: Propia.

G. Articulación del guante de sensores de Velostat y maqueta de mano robotizada de 5 falanges.

Para el cuarto objetivo que consistía en articular el sistema de sensado de los movimientos de cada falange con la mano robotizada de cinco falanges con la que cuenta Tecnoacademia Cúcuta y que se muestra en la Fig. 5. Se buscaba aprovechar un proyecto anterior que consistió en el desarrollo de una mano robotizada basada en microservos y de la cual, se obtuvieron 2 publicaciones; una en la revista CON-CIENCIA Y TÉCNICA de las Tecno academias, y la revista Sennova; ambas en el 2018. Usar dicha mano robotizada era viable dado que los mandos también lo reciben micro servomotores, pero con la ventaja de que la estructura de la mano era más consistente y por tal, se podría lograr una mejor emulación.



Fig. 5. Mano robotizada de 5 falanges con la que cuenta Tecnoacademia Cúcuta y muestra de las publicaciones asociadas a ella en el 2018. Fuente: Propia.

A continuación, en la Fig 6, se puede visualizar los aprendices de Tecnoacademia Cúcuta, realizando pruebas y ajuste del código y del prototipo desarrollado, 2 evidencias de la validación del proyecto, en el cual los sensores fueron

ensamblados a un guante para mejor presentación y acoplados a la mano robotizada de 5 falanges.



Fig. 6. Aprendices de Tecnoacademia Cúcuta, realizando pruebas y ajustes al proyecto. Fuente: Propia.

Luego del perfeccionamiento del código y de las escalas de lectura de cada sensor, se formalizaron las conexiones y se sustituyó el circuito de una protoboard a una baqueta realizada por los aprendices, ver Fig 7.



Fig. 7. Versión final del prototipo desarrollado y muestras de las ejecuciones de mandos a través de la lecturas registradas por los sensores de Velostat acoplados al guante. Fuente: Propia.

## V. CONCLUSIONES

La emulación del movimiento de mano tiene múltiples aplicaciones en el avance de sistemas de manipulación de elementos. En el desarrollo de un sistema de emulación de movimiento robotizado de mano a bajo costo es innegable las capacidades que provee la motricidad fina de un ser humano; el ideal sería poder hacer uso de dicha capacidad en los sistemas robóticos. [16]

Sensar la extensión y contracción de las falanges provee una oportunidad para una vez consolidadas en una señal, estas; puedan ser usadas como mandos de control (órdenes) en sistemas robóticos. Esto abre la puerta al desarrollo de sistemas de tele-operación robotizados.

En la actualidad diseñar sistemas de emulación haciendo uso de materiales de bajo costo, es accesible debido a la amplia gama de productos open hardware y software, por tal; el desarrollo de prototipos está al alcance de estudiantes de bachillerato de la región.

La metodología STEM llevada al plano del desarrollo de proyectos de investigación aplicada por estudiantes de bachillerato y en este caso por los aprendices de Tecnoacademia Cúcuta, provee un marco metodológico, basado en la sinergia de la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] *Manual técnico de OSHA. ROBOTS industriales y seguridad del sistema ROBOT "sección IV: Capítulo 4 - Occupational Safety and Health Administration.* 2011-01-28.
- [2] Angelo J. *Robótica: una guía de referencia a la nueva tecnología.* Bibliotecas ilimitadas. págs. 258-327.2011, ISBN978-1-57356-337-6.
- [3] Vaibhav G.; McGinnity, Thomas-Martin. *Quantum Neural Network based surface EMG signal filtering for control of Robotic*, 2013.
- [4] Ollero, A. (2001). *Robótica: Manipuladores y robots móviles.* Barcelona: <https://doi.org/10.1111/1755-0998.12480>.
- [5] Vera Luzuriaga, J. G. (2017). *Control de trayectoria de la simulación de un brazo robot de 5 grados de libertad. valencia: tesis de grado.*
- [6] Reyes Cortes F. *Robótica: Control De Robots Manipuladores.* Editorial: S.A. MARCOMBO 2011.
- [7] Fusario R. J, Crotti P. S, Andrés P.M. Bursztyn, *Teoría De Control Para Informáticos* Editorial: S.A. MARCOMBO 2013
- [8] Sánchez G, Guerrero L, Vásquez M. *Diseño de un Prototipo Electromecánico para la Emulación de los Movimientos de un Brazo humano.* INGE CUC Volumen: 12 Número: 2. 2016, Páginas: 17-25
- [9] Flórez C, Jaimes E. *Diseño de un sistema de percepción de señales mioeléctricas usando reconocimiento de patrones para control de una prótesis virtual de mano,* UNIVERSIDAD DE PAMPLONA, Ingeniería Mecatrónica, 2016.
- [10] Hand. International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN) Ubicación: Dallas, TX Fecha: AUG 04-09. Int Neural Network Soc; IEEE Computat Intelligence Soc 2013 *INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON NEURAL NETWORKS (IJCNN) Colección: IEEE International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, 2013.
- [11] K S FY; R C González, *Robótica Control Detección Visión e Inteligencia.* Editorial: MCGRAW-HILL 2011.
- [12] Cuenca Lacruz Ángel; Salt Llobregat, *Automática Industrial Y Control* Editorial: UNIVERSIDAD POLITECNICA 2005.
- [13] STEM MICROSOFT. *ROBOTIC HAND – MICRO BIT VERSION (2018). Building machines that emulate humans, Lesson-1 y 2; Hacking STEM MICROSOFT.*
- [14] P.M. TAYLOR, *MANUAL DE CONTROL ROBOTICO*, Editorial: CEAC. 1992.
- [15] Vivas Albán O. A, *Diseño Y Control De Robots Industriales. Teoría Y Práctica.* Editorial: ELALEPH. 2011.
- [16] Bullo F, Cortés J, Martínez S, *Distributed Control of Robotic Networks E-book.* Editorial: Princeton University Press. 2009.

# Diseño de un sistema de percepción del impacto de choques mecánicos y golpes en el cerebro

Oscar M. Duque S,  
oduques@sena.edu.co  
Centro CEDRUM,  
Regional N.D.S,  
Tecnoacademia  
Cúcuta, Cúcuta,  
Colombia,

Andres M Puentes V,  
apuentesv@sena.edu.co,  
Centro CEDRUM,  
Regional N.D.S,  
Tecnoacademia  
Cúcuta, Cúcuta,  
Colombia,

David A Arredondo R,  
david0910sena@gmail.com,  
Centro CEDRUM,  
Regional N.D.S,  
Tecnoacademia  
Cúcuta, Cúcuta,  
Colombia,

Elmer D Yaruro V  
eduvanyaruro@gmail.com,  
Centro CEDRUM,  
Regional N.D.S,  
Tecnoacademia  
Cúcuta, Cúcuta,  
Colombia,

**Resumen.** El siguiente artículo busca dar a conocer el proyecto sobre el desarrollo de un sistema de percepción del impacto por choques mecánicos y golpes en el cerebro de bajo costo siguiendo una metodología STEM (Science Technology Engineering Mathematics). Para ello se realiza un estudio de antecedentes y de STEM de Microsoft Education en el desarrollo de sistemas de percepción del impacto por choques mecánicos y golpes en el cerebro, para así poder seleccionar los elementos de instrumentación, procesamiento, visualización y materiales necesarios para el proyecto. La siguiente etapa fue el diseño del sensor de impacto por choques mecánicos y golpes en el cerebro y una maqueta de casco en el que se distribuyan los sensores de percepción del impacto de choque mecánico en los diferentes lóbulos del cerebro. Para llevar a implementación se realizó el código en una tarjeta de desarrollo que registre los datos del sensor de percepción de impacto en cada lóbulo del cerebro y las pruebas experimentales para la caracterización de la señal. La última etapa fue, articular el sistema de sensado de impacto de todos los lóbulos con la interfaz de visualización en Excel de señales choques mecánicos de Microsoft Education. Para realizar la correcta medición en los impactos se caracterizaron los sensores desarrollados con cargas conocidas y se interpolaron las funciones que representan su funcionamiento.

**Palabras Clave**—STEM, impacto, cerebro, Velostat, interpolación, sensor.

**Abstract**—This article seeks to publicize the project on the development of a system of perception of the impact of mechanical shocks and blows on the brain of low cost following STEM methodology. For this, it began with a background and STEM study of Microsoft Education in the development of impact perception systems for mechanical shocks and strokes in the brain, to select the necessary instrumentation, processing, visualization and materials for the project. The next stage was the design of the impact sensor for mechanical shocks and strokes in the brain and a helmet model in which the sensors for the perception of the impact of mechanical shock are distributed in the different lobes of the brain. To carry out implementation, the code was carried out on a development card that records the data of the impact perception sensor in each lobe of the brain and the experimental tests for the characterization of the signal. The last stage was to articulate the impact sensing system of all the lobes with the visualization interface in Excel of mechanical shock signals from Microsoft Education. To perform the correct

impact measurement, the sensors developed with known loads were characterized and the functions representing their operation were interpolated.

**Keywords**—STEM, impact, brain, Velostat, interpolation, sensor.

## I. INTRODUCCIÓN

La idea de poder analizar el impacto de los golpes y los choques mecánicos en el cerebro, ha sido de gran interés para la medicina. Desde la antigüedad, el hombre ha estudiado el cerebro y ha sido víctima del daño que se puede sufrir por un impacto craneal. Dado que los diferentes lóbulos del cerebro cumplen importantes y particulares funciones, las consecuencias de un impacto en el cráneo; varían de la zona donde recaiga el golpe.

La ingeniería y la medicina han unido fuerzas y experiencias en la búsqueda de dispositivos que permitan medir el impacto sufrido por un golpe en el cráneo. El presente proyecto se enfoca en el diseño de un sistema de percepción del impacto por golpes y choques mecánicos en las diferentes zonas del cerebro, mediante el establecimiento de un sistema de sensado en cada lóbulo, la recopilación de la señal de impacto y el escalamiento de la misma por medio de procesos experimentales con fuerzas conocidas para caracterizar el proceso de sensado [1] y así conocer el impacto sufrido y según la zona establecer el posible daño ocasionado.

## II. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

### A. Problema

Tecnoacademia Cúcuta, como escenario de aprendizaje dotado de tecnologías emergentes en la línea de Ingeniería-Robótica busca apropiarse conocimientos a través del desarrollo de proyectos de investigación aplicada e innovación, teniendo como población objetivo a los estudiantes de los colegios

Dentro de las áreas de interés de Tecnoacademia Cúcuta está la bioingeniería, los sistemas bio-inspirados y los sistemas biomédicos. Entre estos intereses, se encuentran el estudio de

la percepción del impacto por choques mecánicos y golpes en el cerebro.

El principal limitante de los desarrollos de los proyectos de investigación en Tecnoacademia Cúcuta es el costo asociado a los mismos, dado que se debe trabajar con los materiales de formación de los que se disponen y el 90% de los aprendices son de bajos recursos entre los estratos 1 y 2. Para los procesos formativos de Tecnoacademia Cúcuta bajo metodología STEM es importante el desarrollo de proyectos de ingeniería aplicada,[2] pero al alcance de los recursos de los que se disponen. Toda la población es vulnerable a sufrir impactos y golpes en el cráneo por muchas causas y la consecuencia del impacto varía de la zona del cerebro que se vea afectada [3].

¿Cómo se podría lograr la percepción del impacto de choques mecánicos y golpes del cerebro a bajo costo por los aprendices de Tecnoacademia Cúcuta para fines de medición en los diferentes lóbulos?

### B. Justificación

Tecnoacademia Cúcuta, cuenta con un fuerte programa de formación en electrónica, robótica e investigación, esta última a través del semillero SEIINTAC y dentro de sus líneas de investigación está la biomecánica y bioingeniería.[4] El desarrollo de un sistema de percepción de choques mecánicos y golpes en el cerebro de bajo costo y bajo metodología STEM es necesario porque la obtención de un sistema de medición del impacto en los lóbulos del cerebro que sea fiable, suele ser un desarrollo de costo elevado; con este proyecto se podría obtener un producto de medición confiable y replicable a bajo costo si articulamos esfuerzos entre los recursos disponibles en los materiales de formación de Tecnoacademia Cúcuta, los conocimientos adquiridos y los lineamientos STEM de Microsoft Education.

El desarrollo del proyecto de percepción del impacto en las diferentes zonas del cerebro y de acuerdo al lóbulo afectado puede establecer el daño o consecuencia ocasionada, aportaría grandes beneficios y conocimientos. Dada la fortaleza matemática y de ingeniería con la que cuentan los aprendices, y siguiendo la metodología STEM se podrá perfilar y caracterizar la señal sensada con pruebas experimentales usando fuerzas conocidas; siempre en el marco del uso de software y hardware abierto y de elementos de bajo costo [5] y acotados a los materiales de formación y contenidos formativos de Tecnoacademia Cúcuta.

## III OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

### A. Objetivo General

- Desarrollar un sistema de percepción del impacto por choques mecánicos y golpes en el cerebro de bajo costo siguiendo metodología STEM.

### B. Objetivos Específicos

- Realizar un estudio de antecedentes y de STEM de Microsoft Education en el desarrollo de sistemas de percepción del impacto por choques mecánicos y golpes en el cerebro, para seleccionar los elementos

de instrumentación, procesamiento, visualización y materiales necesarios para el proyecto.

- Diseñar el sensor de impacto por choques mecánicos y golpes en el cerebro y una maqueta de casco en el que se distribuyan los sensores de percepción del impacto de choque mecánico en los diferentes lóbulos del cerebro.
- Realizar el código en una tarjeta de desarrollo que registre los datos del sensor de percepción de impacto en cada lóbulo del cerebro y las pruebas experimentales para la caracterización de la señal.
- Articular el sistema de sensado de impacto de todos los lóbulos con la interfaz de visualización en Excel de señales choques mecánicos de Microsoft Education

### C. Metodología

Como metodología pedagógica se usó, la STEM que por política Tecnoacademia es la debemos usar basada en la ciencia, la tecnología, la ingeniería y la matemática. Como metodología de diseño usaremos “diseño concurrente” que es ideal para el diseño de prototipos Mecatrónicos, y se basa en analizar el diseño desde todos los puntos de vista, mecánico, electrónico, de programación al mismo tiempo. [6] Las fases son Estudio y Diseño del prototipo, Diseño e implementación, Pruebas de conexión y emulación. [7] Los productos son:

1. Prototipo de medición del impacto por golpe y choque mecánicos en los lóbulos del cerebro.
2. Conexión a interfaz en Excel para percibir la señal de impacto en cada lóbulo del cerebro.
3. Análisis experimental de diferentes impactos en los lóbulos del cerebro y caracterización usando interpoladores matemáticos para establecer ecuaciones de perfilamiento del impacto en magnitud real.

### D. Antecedentes

En el 2018, el artículo titulado “Jóvenes futbolistas australianos experimentan fuerzas de impacto en la cabeza como jugadores de las ligas junior y senior: un estudio prospectivo de las mediciones cinemáticas”. Artículo desarrollado por Hecimovich, Mark; King, Doug; Dempsey, Alasdair; publicado en “JOURNAL OF SPORTS SCIENCE AND MEDICINE”, nos aportó conocimiento sobre las consecuencias de los impactos [8].

En el 2017 el trabajo titulado “La influencia de la energía de deformación acumulada en la medición por el método DSI en las propiedades mecánicas seleccionadas de los tejidos óseos”. Realizado por Makuch, Anna M.; Skalski, Konstanty R.; Pawlikowski, Marek y publicado en “ACTA OF BIOENGINEERING AND BIOMECHANICS”, nos aportó formas de generar medición sobre los golpes y la amplitud [9].

En el 2015 el artículo denominado "Medición de la fuerza del impacto de los atletas de Taekwondo, evaluando la posibilidad de lesiones de la cabeza humana" y que tiene por autores a Svoboda, Martin; Soukup, Josef; Jelen, Karel; y presentado en la “Conferencia: 20th International Slovak-Polish Conference on Machine

Modeling and Simulations (MMS)”, nos aportó ideas de cómo medir la fuerza de impacto. Debemos tener en cuenta que se tomó en cuenta lo que podíamos aplicar [10].

**E. Traumatismo Encefalocraneano (TEC)**

Se realizó un estudio del Traumatismo Encefalocraneano (TEC) que nos enseñó que en los niños y adolescentes los TEC son causados principalmente por caídas, golpes deportivos y accidentes de tránsito [3], tal como se aprecia en la tabla 1. También se realizó un estudio sobre el cerebro sus lóbulos y sus principales funciones

TABLA I. CAUSAS DE TEC SEGÚN EDAD.

EDAD	MECANISMO FRECUENTE	MAYOR SEVERIDAD	COMENTARIO
< DE 2 AÑOS	CAIDAS	ACCIDENTE DE TRÁNSITO	EL TRAUMA SEVERO ES RARO ACCIDENTE DE TRÁNSITO COMO PASAJERO LIBRE
2 A 15 AÑOS	CAIDAS	ACCIDENTE DE TRÁNSITO	PACIENTE PEATÓN
6 A 12 AÑOS	CAIDAS	ACCIDENTE DE TRÁNSITO	PACIENTE PEATÓN
ADOLESCENTES	ACCIDENTE DE TRÁNSITO ASALTOS TRAUMA DEPORTIVO	ACCIDENTE DE TRÁNSITO ASALTOS	PACIENTE ES CONDUCTOR, PEATÓN O COPILOTO

FUENTE: FELIPE OTAYZA M. REVISTA CHILENA DE PEDIATRÍA 2000 [11]

**IV .DESARROLLO DEL DISEÑO**

Se inició con la selección de la instrumentación y la tarjeta de procesamiento. Para el desarrollo del sensor escogimos el material Velostat de referencia ADAFR 1361 que es sensible a la presión ejercida sobre él de tal manera que a mayor presión menor resistencia.

**A. Instrumentación con ADAFR-1361 -Velostat**

Este material conductivo también conocido como Velostat o Linqstat es un accesorio ideal para tus sensores tipo Wearable. Este material es sensible a la presión ejercida sobre él de tal manera que a mayor presión menor resistencia.

Características:

- Grosor 4mil / 0.1mm
- Límites de temperatura - 45°C hasta 65°C
- Resistividad por volumen <500 ohm-cm
- Resistencia por superficie < 31Kohms/cm cuadrado

**B. Procesamiento: ARDUINO UNO**

Para el procesamiento se escogió la Arduino UNO, dado que cuenta con 14 pines entra/salida y 6 entradas análogas. Suficientes para las necesidades del proyecto.

Características

- Microcontrolador: ATmega328
- Voltaje Operativo: 5v
- Voltaje de Entrada (Recomendado): 7 – 12 v

- Pines de Entradas/Salidas Digital: 14 (De las cuales 6 son salidas PWM) Pines de Entradas Análogos: 6
- Memoria Flash: 32 KB (ATmega328) de los cuales 0,5 KB es usado por
- Bootloader.
- SRAM: 2 KB (ATmega328) EEPROM: 1 KB (ATmega328) Velocidad del Reloj: 16 MHZ

**C. Visualización HMI en Excel de STEM de Microsoft Education**

Se optó por seleccionar la interface de visualización para lo que se escogió la HMI (interface humano máquina) en Excel de STEM de Microsoft Education. Todo bajo la guía STEM de Microsoft Education en el desarrollo de un sistema de estudio de impactos en el cerebro, Ver Fig. 1.

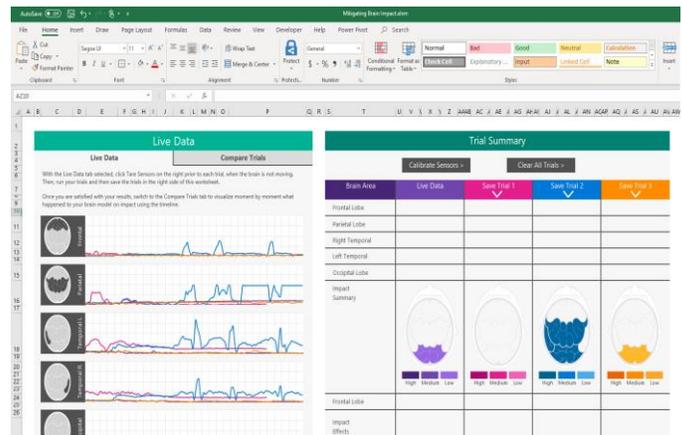


Fig.1 HMI en Excel de STEM de Microsoft Education. Fuente: Microsoft Education [12]

**D. Desarrollo del sensor de ADAFR 1361 Velostat**

A continuación, en la Fig 2, se puede visualizar la composición en capas del sensor desarrollado.



Fig.2 Sensor de ADAFR-1361 -Velostat. Fuente: Microsoft Education [13]

*E. Desarrollo de maqueta de prueba de impactos*

En la Fig.3, se puede visualizar una maqueta de casco en el que se distribuyan los sensores de percepción del impacto de choque mecánico en los diferentes lóbulos del cerebro.



Fig. 3 Maqueta con distribución de sensores de ADAFR-1361 -Velostat. Fuente: Propia.

*F. Captación de la señal de los Sensores y código de lectura*

Para el código en la tarjeta de desarrollo Arduino que debe registrar los datos del sensor de cada lóbulo y los remite a la tarjeta arduino, y está a la HMI; donde podremos ver la señal de voltaje del impacto y con una curva interpolada de ajuste saber el valor real del golpe. El código puede resumirse en convertir la variación de resistencia del Velostat causada por cada golpe en una variación de voltaje, que es entregada a las entradas analógicas de la arduino. En la Fig 4, se visualiza el plano de conexión de la señal de los sensores acoplados e la modalidad divisor de voltaje acopladas en las entradas analógicas de la arduino y las imágenes de como acoplamos los sensores a la maqueta.

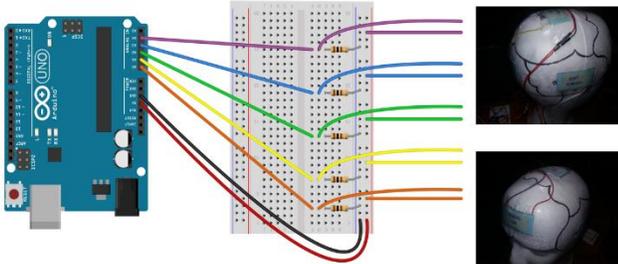


Fig. 4 Plano de conexión de sensores de ADAFR-1361 -Velostat a la tarjeta y maqueta. Fuente: Propia.

*G. Caracterización de los sensores e Interpolación de función de comportamiento*

Para el cuarto objetivo que consistía en Articular el sistema de sensado de impacto de todos los lóbulos con la interfaz de visualización en Excel de señales choques mecánicos. Al ocurrir un impacto, el golpe deforma el Velostat del sensor que envía la señal a la arduino y de la arduino a la HMI que nos muestra no solo en q lóbulo está ocurriendo el impacto, sino el valor de la señal; pero este valor no está escalado en términos de fuerza, por lo que se debe desarrollar un modelo matemático, mediante el cual; con pesos conocidos determinar la fuerza del impacto. Con el modelo matemático, se puede pueden generar impactos de magnitud conocida. Al tener un rango de impactos conocidos en términos de la señal,

podremos tener la curva de respuesta de cada sensor y con esta curva interpolar una función que me defina su comportamiento. [14] Las pruebas experimentales se realizaron con un péndulo, al cual se le varían la masa para generar impactos de diferente valor, pero dependientes del ángulo del péndulo en el que se deje caer la masa y del peso de esta. En la Fig. 5 se muestra un ejemplo de la aplicación del modelo con una masa conocida.

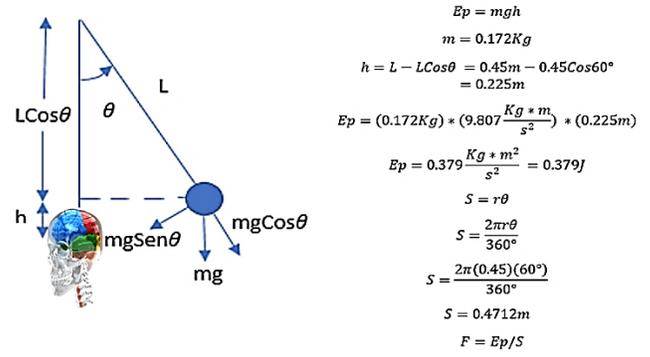


Fig.5 Ejemplo de determinación de la fuerza de impacto, usand un mecanismo de péndulo al variar el angulo y las masas. Fuente: Propia.

A continuación, en la Fig 6, se puede visualizar los aprendices de Tecnoacademia Cúcuta, realizando el pesaje de las masas y pruebas experimentales para caracterizar los sensores.

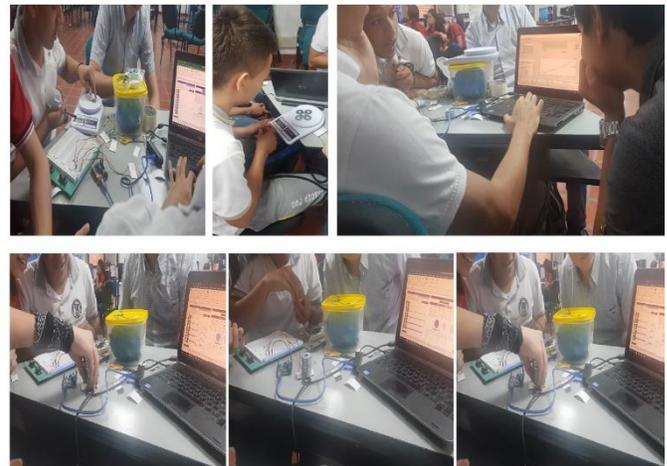


Fig.6 Determinación de pesos conocidos y prueba sexperimentales, para la caracterización de sensores. Fuente: Propia.

Los aprendices se capacitaron para usar el programa CFTOOL de MATLAB para la interpolación de curvas. La idea de usar el programa CFTOOL es crear una función que obtenga la fuerza en términos de la amplitud de voltaje leída por cada sensor y representada en la HMI, ver Fig 7.

Debido a que sin importar el cuidado tenido al desarrollar y ensamplar los sensores, tratando que sean idénticos; esto no puede gatantizarse. Por tal, el proceso de caracterización y de interpolación de curva de comportamiento se debe aplicar a cada sensor, ver Fig 8. Una vez interpoladas las funciones de cada sensor estas son

programas en la HMI de excel donde la tarjeta envía la amplitud del impacto para verla como fuerza de choque y dependiendo del sensor donde ocurre sabremos en que lóbulo esta ocurriendo el impacto; ver Fig 9.

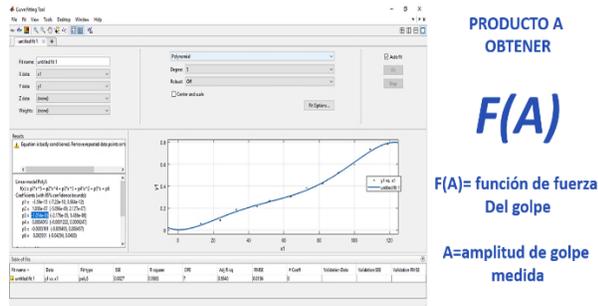


Fig.7 Cftool de Matlab para interpolación de la función de caracterización de sensores. Fuente: Propia.

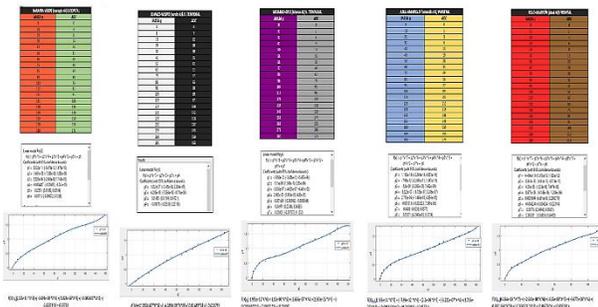


Fig.8 Cftool de Matlab aplicado a la data de respuesta de cada sensor y las curvas de respuesta. Fuente: Propia.

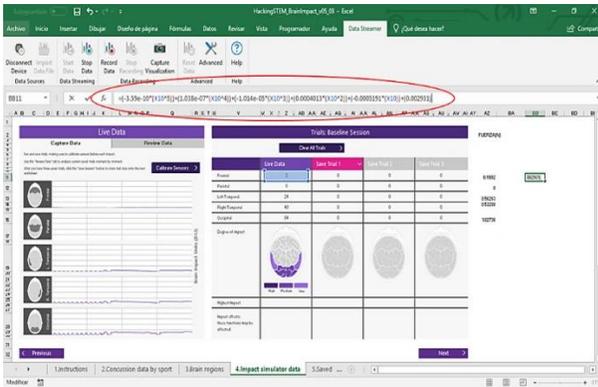


Fig. 9 Programación en la HMI de Excel las funciones interpoladas de cada sensor. Fuente: Propia.

V. CONCLUSIONES

El diseño de sistemas de percepción del impacto de choques mecánicos y golpes a nivel cerebral de manera automatizada permite robustecer el establecimiento de los daños según la magnitud y según la región cerebral que sea impactada.

Los lóbulos del cerebro cumplen funciones particulares, por ello es necesario la distribución de medición de impacto de golpe y choque mecánico para cada uno de ellos, de manera; que se pueda establecer de manera individualizada las magnitudes de los choques sufridos.

Sensar el impacto por golpe o por choque mecánico y obtener su representación gráfica, no sería de ninguna utilidad más allá de evidenciar la presencia de dicha fuerza negativa. Es necesario poder caracterizar matemáticamente la señal y escalarla mediante el uso de pruebas con fuerzas conocidas para obtener una representación matemática que permita no solo evaluar cualitativamente, sino cuantitativamente el impacto registrado. [15]

La metodología STEM llevada al plano del desarrollo de proyectos de investigación aplicada por estudiantes de bachillerato y en este caso por los aprendices de Tecnoacademia Cúcuta, provee un marco metodológico, basado en la sinergia de la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas. Esta última rama, permite el establecimiento y uso de métodos de interpolación para poder lograr una representación matemática útil para cuantificar el impacto de choques mecánicos en el cerebro, previo registro y evaluación de la señal.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Ollero, A. (2001). Robótica: Manipuladores y robots móviles. Barcelona: <https://doi.org/10.1111/1755-0998.12480>.
- [2] Vera Luzuriga, J. G. (2017). Control de trayectoria de la simulación de un brazo robot de 5 grados de libertad. valencia: tesis de grado.
- [3] Bear, M. F., Connors, B. W., & Paradiso, M. A. (2007). *Neuroscience: Exploring the Brain, 3rd Edition*. Estados Unidos: Lippincott Williams & Wilkins.
- [4] Bullo Francesco, Cortés Jorge, Martínez Sonia, 2009. Distributed Control of Robotic Networks EBook. Editorial: Princeton University Press
- [5] Reyes Cortes Fernando, 2011. Robótica: Control De Robots Manipuladores Editorial: S.A. MARCOMBO
- [6] Fusario Rubén Jorge; Patricia S. Crotti; Andres P.M. Bursztyn, 2013. Teoría De Control Para Informáticos Editorial: S.A. MARCOMBO
- [7] Vivas Albán Oscar Andrés, *Diseño Y Control De Robots Industriales. Teoría Y Práctica*. Editorial: ELALEPH 2011.
- [8] Hecimovich, M., King, D., Dempsey, A., Gittin, M., & Murphy, M. (2018). Youth Australian Footballers Experience Similar Impact Forces to the Head as Junior- and Senior-League Players: A Prospective Study of Kinematic Measurements . *Journal of Sports Science and Medicine* , 547-556.
- [9] Makuch A, Skalski, K., Pawlikowski M. The influence of the cumulated deformation energy in the measurement by the DSI method on the selected mechanical properties of bone tissues. *ACTA OF BIOENGINEERING AND BIOMECHANICS Volumen: 19 Número: 2, 2017, Páginas: 79-91* Svoboda
- [10] M, Soukup J, Jelen K. Measurement of force impact Taekwondo athletes, assessing the possibility of injury of human head; et ál. Conferencia: 20th International Slovak-Polish Conference on Machine Modeling and Simulations (MMS) Ubicación: Terchova, SLOVAKIA. Patrocinador(es): Alexander Dubcek Univ Trencin, Fac Ind Technologies 20TH INTERNATIONAL CONFERENCE MACHINE MODELING AND SIMULATIONS, MMS 2015 Colección: Procedia Engineering Volumen: 136 Páginas: 211-215 Fecha de publicación: 2016
- [11] Otayza F. Traumatismo encefalocraneano. *Revista chilena de pediatría. versión impresa ISSN 0370-4106. Rev. chil. pediatr. v.71 n.4 Santiago. 2000.*
- [12] STEM MICROSOFT, BRAIN IMPACT SIMULATOR. Building models to understand and mitigate brain injur; *Hacking STEM MICROSOFT, 2018.*
- [13] Microsoft. (2018). Microsoft. Obtenido de Microsoft: <https://www.microsoft.com/en-us/education/education-workshop/brain-impact-simulator.aspx>.
- [14] P.M. TAYLOR, *MANUAL DE CONTROL ROBOTICO*, Editorial: CEAC. 1992.

- [15] K S FY; R C González., *Robótica Control Detección Visión e Inteligencia*. Editorial: MCGRAW-HILL. 2011.

# La Caja – Multimedia MakerLab: Un modelo de cadena producción

Andrea Carolina Camacho Yáñez  
accamacho28@misena.edu.co

Grupo GICS – Centro de Electricidad, Electrónica y Telecomunicaciones  
SENA – Regional Distrito Capital  
Bogotá, D.C. , Colombia

*Abstract: The Orange Economy (EN) is one of the bets of the national government for the generation of wealth, under a productive model of cultural goods and services, which in addition to entertaining, can generate wealth and be protected intellectually (Creative and Cultural Industries ICC). CEET-SENA, regional capital district, through its line of multimedia education, in conjunction with the new technologies of the fourth industrial revolution, proposes the development and implementation of a laboratory for the generation of content oriented to CCIs, creative products or also called “mindsets”, where the methodology of production chains or “supply chains” is applied, providing skills and appropriation of the knowledge of these technologies, by instructors and apprentices, under a collaborative learning environment such as makerspaces, where activities of exploration, design and manufacturing of physical products are developed, as a result or solution to problems of multimedia design and development.*

**Keywords:** Creativity industries, maker-spaces, mind-factories, multimedia, Supply Chains.

**Resumen—**La Economía Naranja (EN) es una de las apuestas del gobierno nacional para la generación de riqueza, bajo un modelo productivo de bienes y servicios culturales, que además de entretener, puedan generar riqueza y ser protegidos intelectualmente (Industrias Creativas y Culturales ICC). El CEET-SENA, regional distrito capital, por medio de su línea de educación multimedia, en conjunción con las nuevas tecnologías de la cuarta revolución industrial, hace la propuesta del desarrollo e implementación de un laboratorio para la generación de contenidos orientados a las ICC, productos creativos o también llamados “mentefacturas”, donde se aplique la metodología de cadenas de producción o “supply chains”, propendiendo habilidades y apropiación del conocimiento de estas tecnologías, por parte de instructores y aprendices, bajo un entorno de aprendizaje colaborativo como son los makerspaces, donde se desarrollan actividades de exploración, diseño y fabricación de productos físicos, como resultado o solución a problemas del diseño y el desarrollo multimedia.

**Palabras clave—**Industrias Creativas, Makerspaces, Mentefacturas, Multimedia, Supply Chains.

## I. INTRODUCCIÓN

La UNESCO define como industrias creativas, aquellas industrias que combinan creación, producción y comercialización de contenido creativo [1]. Ahora bien y dentro del nuevo panorama mundial de cambio tecnológico, económico e industrial, Colombia y el SENA como brazo operativo del estado, tiene la función de poner en marcha la Economía Naranja (EN), la 4ta Revolución Industrial y la doble titulación: bachiller / técnico para capacitar y formar capital humano, en los conocimientos, cualidades y habilidades propias de la industria tecnológica creativa cultural.

Por lo tanto y como objetivo de este artículo del área multimedia del Centro de Electricidad, Electrónica y Telecomunicaciones (CEET) está la propuesta de transformación tecnológica y competitiva de nuestros aprendices e instructores en las industrias creativas y culturales (ICC) a través de un espacio y momento creativo, como lo es un laboratorio, que fomente y permita el diseño, creación y producción de contenidos digitales.

Lo anterior, mediante la investigación y conocimiento de las nuevas tecnologías de la 4ta Revolución Industrial, la generación de un laboratorio ICC + I + C + T (Industrias Creativas y Culturales + Innovación + Ciencia + Tecnología) que fomente las habilidades y soluciones a problemas de diseño creativo; y finalmente, aplicando la metodología de encadenamientos productivos [2] o cadenas de producción “supply chains” que permitan abordar y conocer la complejidad interdisciplinar en la creación, producción y comercialización de dichos contenidos. Así, este documento busca sentar las bases de la propuesta, estructurándose en cuatro secciones de la siguiente manera: Marco contextual y antecedentes, Oportunidades económicas, Metodología propuesta; y Conclusiones y recomendaciones.

## II. MARCO CONTEXTUAL

Colombia es un país que carece de manufacturas complejas y dentro del compendio de las industrias creativas y los trece sectores de la Economía Naranja: Publicidad, Arquitectura, Artes y Antigüedades, Artesanía, Diseño, Moda, Cine, Software Interactivo de Ocio, Música, Artes Escénicas, Edición, Servicios de Software y Hardware, Radio y Televisión; no tiene una industria organizada y las necesidades de creación y diseño, hasta el día de hoy, no habían sido tratadas como problemáticas urgentes del sector productivo [3].

La Economía Naranja (EN) se basa en la red de relaciones multidimensional, el análisis de subsectores económicos y las industrias creativas y culturales (ICC) trabajadas con innovación, ciencia y tecnología. En Colombia, hace falta entender que la producción implica creatividad y que los resultados con alguna propiedad intelectual y fuertes significados simbólicos crean cadena de valor a los productos creativos o también llamados “mentefacturas” del país. Es decir, a todos los productos, bienes y servicios desarrollados a partir de una idea creativa y en actividades encadenadas, con un valor intangible superior a su valor de uso [4].

La Economía Naranja (EN) también, puede definir la identidad de una región, ciudad o país, impulsando la inversión en proyectos concretos, si logra reconocimiento, valor estratégico y convertirse en motor de desarrollo y empleo. Para esto, debe existir un tejido empresarial de diferentes sectores económicos, entrelazados con servicios complementarios y fuerte participación y consumo cultural. Un ejemplo y según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE, está en los subsectores de Cultura: Libros y publicaciones, Juegos y juguetes, Audiovisuales, Diseño y Artes Visuales que representan el 0,7% del PIB de Colombia. Y si estos subsectores, se amplían o entrelazan con los campos de las Tecnologías de la Información, Logística y Telecomunicaciones, los resultados ascienden al 6% del PIB. En 2018, Villegas establece que: “un sector genera más impacto en cuanto encadene más sectores hacia adelante o hacia atrás” [5] o, en otras palabras, genere más enlaces, más impacto, más productos o mercancías, más complejidad y por supuesto más empleo.

De otro lado, una economía diversificada y preparada para competir, tiene sus bases en la formación y desarrollo de capital humano. Desde aquí, el SENA con su amplio potencial, está llamado a sostener el ritmo de cambio en las tendencias tecnológicas y entrar en la formación y capacitación de trabajadores idóneos para las industrias creativas y culturales del país. Así, mitigará de alguna manera la baja remuneración ofrecida, el requerimiento de habilidades técnicas y el conocimiento profundo y especializado, que demandan los diferentes cargos de los sectores productivos y que Villegas [6] ha descubierto en un

estudio reciente, muestran un 40% de traslape con las ocupaciones especializadas.

Por lo tanto, es importante apoyar políticas públicas, como el Fondo de Innovación, Tecnología e Industrias Creativas, estipulado en el Artículo 106 del Plan de Desarrollo, así como todos los espacios para el desarrollo cultural y creativo, que potencien el emprendimiento y se constituyan en iniciativas de cultura. Sólo así, se logran y lograrán espacios que se transformen en área de desarrollo naranja y demuestren una verdadera intención de modernización y tejido empresarial, que produzca y aplique conocimiento.

## III. OPORTUNIDADES ECONÓMICAS

Las industrias creativas y culturales (ICC) ligadas a la innovación y las tecnologías de la información, se pueden convertir en un gran impulso productivo de transformación tecnológica y económica del país, apropiándose no sólo del mercado local, sino constituyéndose en un sector clave para la exportación de servicios. Igualmente, resaltan y demuestran la importancia del consumo cultural y creativo en el desarrollo económico de un país, sin contar con el hecho de que las sociedades que invierten en lo creativo y que fomentan los espacios para la creación permanente, son más prosperas y pueden proliferar un consumo creativo estable.

Otra gran oportunidad, la constituye la marca Ciudad Bogotá como concentrador (*hub*) creativo, pues las ICC son el escenario perfecto para la creación de ecosistemas, alianzas y redes de articulación productivos.

Ahora y dentro de las ICC, la dimensión educativa es clave para que el SENA se convierta en plataforma permanente de intercambio cultural e ideación. También se puede convertir en la base de proyectos pioneros en innovación empresarial y desarrollo tecnológico, así como en la formación técnica, certificable y adaptable a los dinanismos de cada sector productivo, de los trece ya mencionados de la Economía Naranja (EN).

Para tener en cuenta, el conocimiento es la fuente esencial de las ventajas competitivas de las naciones y el llamado es a la creación de conocimiento avanzado, para así constituir una verdadera sociedad del saber, en capacidad de administrar, almacenar y transmitir grandes cantidades de información. En 1992, Drucker establece que “No existen países pobres, sólo países incapaces de crear, adquirir y aplicar conocimiento” [7]. En otras palabras, generar valor y riqueza a través de formas y métodos para resolver problemas de creación.

Finalmente, se estarían cumpliendo los vaticinios de Drucker y la inversión en conocimiento ya está superando en los países altamente desarrollados, a la inversión en infraestructura y equipamiento [8]. Esto quiere decir, que la economía actual no se basa en la producción de objetos, sino

en la producción de ideas e intangibles como: Innovaciones, Marcas, Patentes, Sistemas y Metodologías de conocimiento para producir valor funcional, pero sobre todas las cosas, valor estratégico.

#### IV. METODOLOGÍA PROPUESTA

La línea de formación multimedia del área de teleinformática del Centro de Electricidad, Electrónica y Telecomunicaciones (CEET) quiere proponer la aplicación de la metodología de “encadenamientos productivos” [9] Cadenas de producción o “Supply chains” en el desarrollo e implementación de un laboratorio makerspace que genere contenidos digitales para las industrias creativas y culturales (ICC).

##### A. ¿Por qué la metodología de encadenamientos productivos?

Esencialmente, porque como dice Isaza, la metodología de encadenamientos productivos permite conocer la articulación de diferentes unidades empresariales de cara al proceso de generación de valor, y el papel que cumple cada una de las empresas que intervienen en el mismo [10], en este caso, la de contenidos digitales para las industrias creativas y culturales (ICC).

En cuanto a la aplicación de esta metodología, también se va a poder demostrar lo que Hirschman, en 1958 planteaba acerca de la existencia de encadenamientos [11] y que debería ser aplicable a su vez, a los diferentes procesos y productos creativos o también llamados “mentefacturas”. De igual manera, esta metodología podría validar el desarrollo de actividades de una organización empresarial desde el MakerLab y su generación de valor al producto final, como lo planteaba Porter en 1990 [12]. Toda esta cadena aplicable a los procesos de creación e ideación, propuestos por los mismos aprendices e instructores de los programas tecnólogo en “Producción Multimedia, técnico en Diseño e Integración Multimedia y técnico en Elaboración de Audiovisuales”, podría determinar, validar y clasificar actividades primarias (abastecimiento, infraestructura, recursos humanos y desarrollo de tecnología), apoyadas o auxiliadas en actividades secundarias para la generación de productos, bienes y servicios creativos.

En otras palabras y como lo indica Isaza: “Maximizar la creación de valor mientras se minimizan los costes” [13] y como lo planteaba Porter, en la planeación estratégica de la cadena de valor [14] replicable a las industrias creativas y culturales.

Al final y gracias a la aplicación de esta metodología y con seguimiento de todos los procesos, deberíamos tener como resultado, un conjunto de productos y servicios

creativos que ofrecer al consumidor final. Por consiguiente, también deberíamos poder seguir las interacciones sincronizadas entre proveedores, distribuidores y clientes finales, y así, evidenciar las cadenas de valor como secuencia y consecuencia de actividades dependientes y relacionadas para poner un producto, bien o servicio creativo en competencia. Estos procesos, cabe recordar, se encuentran directamente relacionados al desarrollo de modelos de negocio, *startups*, *clusters*, redes de cooperación y la consolidación de *distritos industriales*.

De otro lado, las relaciones con los proveedores, el estado, los clientes, distribuidores, entre otros, genera estímulos y permiten sinergias que facilitan la creación de ventajas competitivas. Esto resulta sumamente beneficioso para el esquema de cadena productiva, además si lo apoyamos con eslabones o pasos de producción, subdivididos y adecuados para describir una amplia gama de productos, bienes y servicios creativos o también llamados “mentefacturas”, ciertamente se convertiría en toda una cadena, para promover la creación, comercialización y diversificación de nuevos mercados, con total seguimiento de los encadenamientos productivos, que tienen lugar hacia delante y hacia atrás, en los diferentes procesos de ideación y producción digital.

Finalmente, y porque el SENA persigue liderazgo y competitividad permanente, para potenciar los niveles micro, macro y meta económica de Bogotá y el país, la aplicación de la metodología de encadenamientos productivos, puede llegar a ser beneficiosa para conseguir una división de trabajo bastante definida: *Operaciones de Diseño e Ingeniería - Actividades de Producción - Generación de Capital humano y Formación en actividades de diseño y desarrollo de las industrias creativas y culturales (ICC)*. En suma, para la especialización a mediano o largo plazo, de la provisión de insumos, maquinaria, servicios e infraestructura necesarios para los diferentes productos, bienes y servicios creativos, validando no sólo el desempeño sino toda la operación en cadena de valor.

##### B. ¿Por qué la propuesta de un MakerLab?

La Cultura Maker - Movimiento contemporáneo que surge como extensión de la Cultura DIY (Do it yourself / Hágalo usted mismo) - permite preparar, capacitar y formar a los aprendices e instructores para el futuro de la economía digital, colaborativa y creativa. Es decir, responde a la perspectiva de que el mercado laboral será liderado por carreras, formación, profesiones u oficios asociados a las ciencias, tecnologías e innovación. Uno de sus principios dice: “Toda persona es capaz de construir o solucionar un problema con tecnología, empoderándola y permitiéndole acceder al conocimiento abierto que se genera en comunidad” [15]. Además, dentro de esta cultura, existen los *makerlabs* como espacios no sólo de aprendizaje, sino también de fabricación y generación de ideas. Entonces, la propuesta de un *multimedia makerlab* resulta ser una solución fuera de los

formatos tradicionales de la educación y permite el aprendizaje con tecnología, escenario común para los campos de las ingenierías, el diseño, ciencias, internet, inteligencia artificial y robótica, entre otros.

Adicional, los *makerlabs* surgen de la aparición de herramientas digitales de diseño y fabricación, permitiendo la reducción de costos de equipos de producción (impresoras 3D, cortadoras láser, etc), participación colectiva en plataformas sociales (redes de código abierto) y la aparición de espacios de co-construcción, conocidos como *makerspaces*. Desde este punto de vista, se convierten en espacios de trabajo colaborativo, en donde se realizan actividades de exploración, diseño y fabricación de productos físicos, creados para resolver un problema o atender una necesidad específica. Todo esto permite, sin duda alguna, la inclusión digital, la construcción social de conocimiento y las soluciones a partir de la creatividad y la generación de soluciones innovadoras. Es decir, el desarrollo de competencias cognitivas, intrapersonales e interpersonales, a través del interés por las disciplinas STEAM (Science / Technology / Engineering / Arts / Maths) claves en la transformación tecnológica y la nueva economía creativa digital.

Finalmente, y para hacer la propuesta de nuestro laboratorio *La Caja – Multimedia MakerLab* mucho más atractiva, los espacios *makerspaces* tienen un componente altamente comercial y es el de tener una identidad gráfica propia, que puede llegar a funcionar como marca, bajo la promesa de valor de constituirse como nuevo escenario de aprendizaje a través de la experiencia de la creación. Esto, además de poseer los equipos necesarios para la fabricación digital y las herramientas necesarias para cumplir o dar solución a los diferentes problemas creativos.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1) Para entender y aplicar los principios y fundamentos de la Economía Naranja (EN), como instructores y aprendices SENA y en particular, Centro de Electricidad, Electrónica y Telecomunicaciones - Regional Distrito Capital, estamos llamados a de verdad entender de qué se trata este modelo productivo y en la creación de contenidos digitales, no trabajar sobre sólo especulaciones.

2) Desde los procesos de diseño curricular hasta la orientación de programas formativos, es de vital importancia implementar y fortalecer los componentes de innovación, nuevas tecnologías y modelos de negocio, para incentivar la creación y desarrollo de cadenas productivas o “supply chains”.

3) Como metodología de trabajo, es importante instaurar el modelo de cadenas de producción o “supply chains” en los proyectos formativos y de emprendimiento de los programas

de formación, para crear una buena cadena de valor en todos los productos, bienes o servicios desarrollados por nuestros aprendices e instructores para las Industrias Creativas y Culturales (ICC).

4) Se debe orientar formación y abrir nuevos espacios de trabajo colaborativo, con énfasis en la potenciación de habilidades y competencias tecnológicas de los instructores y aprendices, así como la articulación y seguimiento de los diferentes procesos, pasos o eslabones creativos y las diferentes áreas productivas, que intervienen en la producción de contenidos digitales, productos creativos o también llamados “mentefacturas”.

5) Es importante trabajar e impulsar la modalidad de producción en cadena, desde los proyectos productivos y hacer seguimiento sobre los procesos específicos, tareas y oficios, que intervienen en este modelo de producción.

6) Se debe estimular la creatividad en nuestros ambientes de aprendizaje, así como proponer nuevos espacios de creación y fabricación, orientados en el “saber hacer” que promulga el SENA, también como espacios de trabajo 100% prácticos en la solución a problemas de diseño y competencias de las disciplinas STEAM.

7) La prospectiva del impacto de las nuevas tecnologías de la 4ta Revolución Industrial, aplicadas a proyectos de formación innovadores, dan al SENA la oportunidad de convertirse en ese brazo operativo, que de verdad ponga en funcionamiento la Economía Naranja (EN) y de nuevos modelos de negocio, proyectos naranja y la creación e investigación de nuevos formatos y tecnologías inmersivas, con alto nivel de interactividad en la nueva economía creativa cultural.

## REFERENCIAS

- [1] Villegas, E. B. V. (2018). Aproximación conceptual. In Alcaldía Mayor de Bogotá (Ed.), Cuadernillos de Desarrollo Económico "Economía Naranja" (pp. 8–10). Recuperado de [http://observatorio.desarrolloeconomico.gov.co/sites/default/files/files\\_articles/cuadernillo07.pdf](http://observatorio.desarrolloeconomico.gov.co/sites/default/files/files_articles/cuadernillo07.pdf)
- [2] Albert Hirschman. The Strategy of Economic Development, Yale University Press, New Haven, 1958.
- [3] Villegas, E. B. V. (2018). Aproximación conceptual. In Alcaldía Mayor de Bogotá (Ed.), Cuadernillos de Desarrollo Económico "Economía Naranja" (p. 9). Recuperado de [http://observatorio.desarrolloeconomico.gov.co/sites/default/files/files\\_articles/cuadernillo07.pdf](http://observatorio.desarrolloeconomico.gov.co/sites/default/files/files_articles/cuadernillo07.pdf)
- [4] Isaza C., J. (2008). Cadenas productivas. Enfoques y precisiones conceptuales. *Sotavento M.B.A.*, (11), 8-25. Recuperado a partir de <https://revistas.uexternado.edu.co/index.php/sotavento/article/view/1602>
- [5] Villegas, E. B. V. (2018). Aproximación conceptual. In Alcaldía Mayor de Bogotá (Ed.), Cuadernillos de Desarrollo Económico "Economía Naranja" (p. 9). Recuperado de [http://observatorio.desarrolloeconomico.gov.co/sites/default/files/files\\_articles/cuadernillo07.pdf](http://observatorio.desarrolloeconomico.gov.co/sites/default/files/files_articles/cuadernillo07.pdf)

- [6] Villegas, E. B. V. (2018). Aproximación conceptual. In Alcaldía Mayor de Bogotá (Ed.), Cuadernos de Desarrollo Económico "Economía Naranja"(p. 9). Recuperado de [http://observatorio.desarrolloeconomico.gov.co/sites/default/files/files\\_articles/cuademillo07.pdf](http://observatorio.desarrolloeconomico.gov.co/sites/default/files/files_articles/cuademillo07.pdf)
- [7] Peter F. Drucker. The age of discontinuity, Guidelines to Our Changing Society, Taylor & Francis Inc, United Kingdom, 1992.
- [8] Peter F. Drucker. The age of discontinuity, Guidelines to Our Changing Society, Taylor & Francis Inc, United Kingdom, 1992.
- [9] Isaza C., J. (2008). Cadenas productivas. Enfoques y precisiones conceptuales. *Sotavento M.B.A.*, (11), 8-25. Recuperado a partir de <https://revistas.uexternado.edu.co/index.php/sotavento/article/view/1602>
- [10] Isaza C., J. (2008). Cadenas productivas. Enfoques y precisiones conceptuales. *Sotavento M.B.A.*, (11), 8-25. Recuperado a partir de <https://revistas.uexternado.edu.co/index.php/sotavento/article/view/1602>
- [11] Albert Hirschman. The Strategy of Economic Development, Yale University Press, New Haven, 1958.
- [12] Porter, Michael. La ventaja competitiva de las naciones, Javier Vergara (ed.), Buenos Aires, 1990.
- [13] Isaza C., J. (2008). Cadenas productivas. Enfoques y precisiones conceptuales. *Sotavento M.B.A.*, (11), 8-25. Recuperado a partir de <https://revistas.uexternado.edu.co/index.php/sotavento/article/view/1602>
- [14] Porter, Michael. La ventaja competitiva de las naciones, Javier Vergara (ed.), Buenos Aires, 1990.
- [15] Daniel Head, D. H. (2017, 31 julio). Qué es la Cultura MAKER y por qué queremos traerla a la educación (I). Recuperado 21 junio, 2019, de <https://medium.com/@danielitohead/la-cultura-maker-y-por-que-queremos-traerla-a-la-educacion-i-%C3%A9-nos-interesa-tanto-desde-la-educaci%C3%B3n-f7c6b1703fd4>

# Identificador de apósitos y material quirúrgico en cirugías

Rubén. Darío. Cárdenas Espinosa  
Líder Semillero de Investigación E-InnovaCMM  
Centro Metalmecánico SENA, Distrito Capital  
[rcardenase@sena.edu.co](mailto:rcardenase@sena.edu.co)

Claudia María Martínez Zuluaga  
Asesora Centro Metalmecánico SENA, Distrito Capital.  
[cmartinezz@sena.edu.co](mailto:cmartinezz@sena.edu.co)

**Resumen**— El propósito del proyecto desarrollar un dispositivo electrónico que permita identificar los apósitos o instrumental quirúrgico en el cuerpo de un paciente antes de suturar una incisión. Teniendo en cuenta que algunas entidades de salud han presentado casos en los cuales los profesionales de la salud que realizan una intervención quirúrgica han dejado olvidado instrumental quirúrgico y/o apósitos en el cuerpo del paciente, surge la necesidad de diseñar un dispositivo para detectar material textil e instrumental en dichos procedimientos. La metodología empleada corresponde a una investigación experimental, con enfoque analítico y descriptivo de corte transversal, desarrollada en 6 fases: concepto de producto, diseño conceptual, diseño funcional, prototipado virtual, prototipo funcional y preseries. El dispositivo desarrollado contribuye a garantizar la seguridad del paciente para evitar que en su interior cuerpos extraños después de ser sometido a una intervención quirúrgica. Este proyecto reduce pérdidas económicas al hospital, mitiga el riesgo de demandas y tutelas por parte de pacientes que hayan podido tener este tipo de inconvenientes, además brinda confiabilidad al personal médico y a las entidades hospitalarias que hagan uso de este equipo.

**Palabras clave**— Dispositivo Electrónico , Instrumental, Surgical Procedures, dressings, patient.

**Abstract**—The purpose of the project is to develop an electronic device that allows the identification of surgical dressings or instruments in a patient's body before suturing an incision. Given that some health entities have presented cases in which health professionals who perform a surgical intervention have left surgical instruments and / or dressings in the patient's body forgotten, there is a need to design a device to detect textile material and instrumental in such procedures. The methodology used corresponds to an experimental investigation, with an analytical and descriptive approach of cross-section, developed in 6 phases: product concept, conceptual design, functional design, virtual prototyping, functional prototype and preseries. The developed device helps to ensure the safety of the patient to prevent foreign bodies inside after undergoing surgery. This project reduces economic losses to the hospital, mitigates the risk of lawsuits and guardianships on the part of patients who may

*have had this type of inconvenience, and also provides reliability to medical staff and hospital entities that make use of this equipment.*

**Keywords**—Electronic Device, Instrumental, Surgical Procedures, dressings, patient.

## I. NOMENCLATURA

Apósitos: productos sanitarios empleados para cubrir y proteger una herida, contribuye a la reepitelización del tejido dañado y en consecuencia la cicatrización de la herida.

Electrónica: rama de ciencia aplicada que estudia y emplea sistemas para el control del flujo microscópico de los electrones u otras partículas cargadas eléctricamente [1].

Diseñar: proceso previo de configuración mental, "prefiguración", en la búsqueda de una solución en cualquier campo [2].

Diseño: plan final de consideraciones funcionales y estéticas, con numerosas fases de investigación, análisis, modelado, ajustes y adaptaciones previas a la producción definitiva del objeto. Comprende multitud de disciplinas y oficios dependiendo del objeto a diseñar y de la participación en el proceso de una o varias personas [3].

Diseño de circuitos electrónicos: resolución de problemas aplicables en los campos de la ingeniería electrónica, mecatrónica, electromecánica, automatización industrial, biomédica, el cual puede implicar el diseño de software para realizar su configuración y control [4].

## II. INTRODUCCIÓN

Ante el incremento de eventos adversos que afectan a los pacientes después de una cirugía por el olvido de apósitos o instrumental quirúrgico en sus organismos durante una su

intervención quirúrgica, se identificó la necesidad de diseñar un dispositivo electrónico que mediante el uso de

sensores pueda determinar si dichos elementos se encuentran en el cuerpo de un paciente después de realizarse un procedimiento quirúrgico antes de proceder a realizar la sutura por parte del profesional de la salud, lo cual permitirá verificar que la herida no contenga dichos elementos.

Al indagar durante un periodo de 4 años entre 2014 y 2018 en diferentes entidades de salud del Departamento de Caldas en este campo, se ubicaron sesenta y ocho (68) casos de cuerpos extraños retenidos en el organismo de pacientes, de los cuales se procedió a verificar la información hallando solo 34 casos confirmados. El 59% de los cuerpos extraños que se encontraban en los pacientes fueron hallazgos no esperados mediante el uso rutinario postoperatorio con rayos x, siendo las gasas el cuerpo extraño retenido más común encontrado en los casos analizados, y la ubicación más frecuente fue en la zona abdominal. Lo anterior trae como consecuencia, enfermedades e infecciones posteriores en los pacientes y demandas a los hospitales y desprestigio a los médicos, entre otros inconvenientes [5].

El objetivo general es realizar el diseño electrónico de un dispositivo que permita detectar los apósitos e instrumental en pacientes que han sido sometidos a cirugías o tratamientos quirúrgicos.

La pregunta de investigación es: ¿Cómo desarrollar un sistema electrónico para identificación de apósitos o instrumental quirúrgico en el cuerpo de un paciente antes de suturar una incisión?

El proyecto consiste en analizar la información que permita identificar los tipos de instrumental quirúrgico y apósitos que se emplean en cirugías y que pueden ser detectados electrónicamente, luego se realiza el diseño electrónico necesario para el montaje del prototipo, su verificación y validación para realizar los ajustes pertinentes e implementar el diseño del identificador electrónico de apósitos.

Los principales usos de los circuitos electrónicos son el control, el procesado, la distribución de información, la conversión y la distribución de la energía eléctrica. Estos dos usos implican la creación o la detección de campos electromagnéticos y corrientes eléctricas [6].

Un sistema electrónico es un conjunto de circuitos que interactúan entre sí para obtener un resultado. Una forma de entender los sistemas electrónicos consiste en

dividirlos en las siguientes partes: Entradas, Circuitos de procesamiento de señales, Salidas [7].

Las entradas y salidas de todo sistema electrónico utilizan señales. Una señal es la representación de un fenómeno físico o estado material a través de una relación establecida; las entradas y salidas de un sistema electrónico serán señales variables. Las señales pueden ser análogas (toman un conjunto infinito de valores entre dos límites, como presión, temperatura y velocidad) o digitales (toman valores discretos en estados binarios 1 (encendido) o cero (apagado) [8].

Un sistema programado a través de un sistema informático almacenado en una memoria realiza el control y gestión del sistema contenido en un circuito electrónico que contiene un microprocesador o un microcontrolador y una serie de componentes electrónicos dispositivos tales como transistores, válvulas, resistencias y otros integrados en una tarjeta electrónica, pueden hacer funciones complejas utilizando las cargas eléctricas [9].

En la universidad de Stanford en California se realizaron estudios para que los cirujanos no olviden objetos dentro de los pacientes, el sistema alertó con precisión a los cirujanos cuando dejaban deliberadamente una gasa, equipada con una cinta de detección, dentro de un sitio cerrado temporalmente. No obstante, los especialistas señalaron que el tamaño de los chips empleados de 20 milímetros es demasiado grande y deberían ser reducidos para ser empleados en gasas e instrumentos quirúrgicos.

### III. METODOLOGÍA

La Metodología empleada corresponde a una investigación experimental, con enfoque analítico y descriptivo de corte transversal. Los materiales que se utilizaron fueron: Sensor Óptico, Microcontrolador PIC16f877, CIMax232, Condensadores, Resistencias, Pantalla LCD, Cristal de cuarzo, Potenciómetro, diodos Led, Swich, Diodos Zenner, Parlante, Amplificador Operacional, Bobina, Transistor PNP, Software PICsimulator, Mplab, Proteus VSM y Office. Las fases del ciclo de desarrollo de un producto electrónico son las 6 que se presentan a continuación en 4 Etapas así: Etapa de Análisis se desarrolla el concepto de producto y diseño conceptual, En la Etapa de Diseño se realiza el Diseño funcional y el prototipo virtual, en la Etapa de Ejecución se realiza el prototipo Funcional y en la Etapa de Evaluación se realizan las Preseries.:

1. Concepto de producto: Corresponde a la definición del producto electrónico que se desea desarrollar. En esta primera etapa inicia con la generación de

ideas, las cuales se pueden generar a partir del mercado o a partir de la tecnología. La identificación de las necesidades del mercado conlleva al desarrollo de nuevas tecnologías y productos para satisfacer estas necesidades [10]. Esta identificación se puede realizar a través de la vigilancia estratégica, que es el sistema por el cual la empresa dispone de información apropiada, en el momento oportuno, para tomar la decisión más adecuada. Se requiere de un proceso en el cual se hace lo siguiente: recolección de información que la empresa necesita, transformación en conocimiento, valoración y distribución de la información todo esto con el objetivo de vigilar el entorno y explotar la información [11]. Adicionalmente se analiza la viabilidad técnico-económica del producto. A través de la evaluación de los principios técnicos del sistema y al mismo tiempo recoge información adicional sobre el rendimiento, fiabilidad, características de mantenimiento y productividad; además se valorará la inversión económica comparada con los beneficios que se obtendrán en la comercialización y utilidad del producto o sistema [12].

2. Diseño conceptual: Describe las especificaciones técnicas del producto tales como normas, exigencias y procedimientos a ser empleados y aplicados en todos los trabajos de construcción o desarrollo de nuevos productos [13].
3. Diseño funcional: En esta fase se realiza el diseño del hardware o parte física y el software o parte blanda del producto a desarrollar [14].
4. Prototipado virtual: Corresponde al diseño y generación de un producto con suficientes características claves que permitan su evaluación frente a los requerimientos. Virtual significa que el producto diseñado aún no está creado físicamente sin embargo se genera su representación visual para observación, análisis (técnico y funcional) minimizando costes económicos y plazos de desarrollo; el objeto tiene aproximadamente el mismo comportamiento que el modelo físico excepto que este está disponible en un ambiente virtual generado en un computador [15].
5. Prototipo funcional: Es el prototipo físico del producto, en el cual se realizan pruebas y ensayos para verificar el cumplimiento de las especificaciones; su propósito es obtener una

muestra para el cliente, se deben realizar pruebas al prototipo para que se ajuste a los requisitos iniciales y obtener valores necesarios para realizar una aproximación más cercana del producto final [16].

6. Preseries: En esta fase se realiza la asesoría y los ensayos especiales del producto, pruebas de seguridad eléctrica, ensayo de condiciones climáticas y su validación en el proceso productivo [17].

#### IV. RESULTADOS

Se analizaron varias alternativas de diseño de producto electrónico a continuación se presentan los resultados de cada alternativa analizada:

Incorporar un código de barras en la gasa para que el detector mediante un dispositivo óptico, pueda leer la codificación de este y así localizar el material textil. El prototipo realizado fue un circuito electrónico con lector del código de barras, sus ventajas son: El código de barras se imprime a bajos costos, Durante el desarrollo del proyecto se pudo verificar que el código de barras permite capturar rápidamente los datos, Tiene márgenes de error muy bajos. Sus desventajas son: Afecta notablemente la asepsia de las gasas. La presencia de sangre y de diferentes órganos del cuerpo humano puede bloquear el paso del haz de luz y por lo tanto el detector no lee el código de barras.

Detectar material textil implementando banda magnética. El prototipo realizado fue un circuito electrónico sensor inductivo, la banda magnética de alta coercitividad se le añade a la gasa para que sea detectada por un sensor inductivo. Los aspectos a favor son: La banda magnética resiste los 134°C del proceso de esterilización de la gasa. Gracias al desarrollo del proyecto se pudo verificar que la banda magnética está realizada con material de alta coercitividad por lo tanto es de fácil detección por un sensor inductivo. Sus aspectos en contra que se pudieron encontrar son: La banda magnética afecta la asepsia de la gasa. El proceso de magnetización es costoso y dispendioso.

Detección de material textil e instrumental con un oscilador de frecuencia. Se basa en la existencia de una bobina de referencia y una de búsqueda que se utilizan como osciladores a una misma frecuencia. Cuando la bobina de búsqueda se acerca a un conductor genera corrientes que producen un campo magnético que varía el auto inductor de la bobina de búsqueda. Esta variación conlleva una diferencia en las frecuencias de los osciladores que se baten y se amplifican produciendo un sonido audible. El prototipo realizado fue un circuito electrónico oscilador de frecuencia, sus ventajas son: El oscilador de frecuencia detecta objetos metálicos y no

metálicos, así como líquidos, sólidos y material textil. El oscilador tiene la capacidad de detectar materiales sin necesidad de tener un contacto físico. El oscilador de frecuencia es de bajo costo. Las desventajas encontradas durante el desarrollo del proyecto son: Tiene una distancia de detección muy corta (60mm). Son muy sensibles a factores ambientales: la humedad puede afectar el resultado de la detección.

Detectar material textil por ultrasonido. Los sensores ultrasónicos tienen como función principal la detección de objetos a través de la emisión y reflexión de ondas acústicas. Funcionan emitiendo un pulso ultrasónico contra el objeto a identificar, y al detectar el pulso reflejado, se para un contador de tiempo que inicio su conteo al emitir el pulso. Este tiempo es referido a distancia y de acuerdo con los parámetros elegidos de respuesta con ello manda una señal eléctrica digital o analógica. Es un sensor que produce ondas acústicas de alta frecuencia para producir imágenes al interior del organismo. Nos permitiría observar la presencia de gasa o apósitos en el interior de la cavidad abdominal. En la etapa de Ejecución del proyecto se realizó el prototipo con un circuito electrónico sensor capacitivo, sus fortalezas son: La asepsia no se afectaría de ninguna manera. Las imágenes que se obtienen son muy acertadas. Detecta material textil e instrumental simultáneamente. Sus debilidades son: es una alternativa costosa comparativamente con las alternativas anteriores. La interfaz desde el sensor hasta una pantalla es muy compleja.

Al evaluar las 4 alternativas se consideró más viable el número 3 (Detección de material textil e instrumental con un oscilador de frecuencia ver imagen 1 que contiene el diagrama de bloques) debido a que el oscilador de frecuencia permite detectar material textil e instrumental fácilmente debido a sus bobinas de referencia y de búsqueda, además es de bajo costo y su funcionamiento es efectivo.

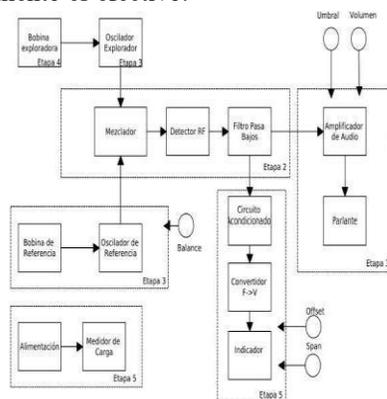


Imagen 1 Diagrama de Bloques del diseño seleccionado alternativa de Solución 3.

Frente a este problema, se han tratado de dar varias soluciones algunas rudimentarias como contar las gasas y todos los instrumentos antes, durante y después de un procedimiento quirúrgico; Otras más desarrolladas emplean avanzada tecnología como lo es un microchip que se implanta en las gasas, el cual produce un sonido cuando se pasa un aparato revisor por encima; o llevando al paciente a un cuarto de inspección posoperatoria, donde por medio de un equipo de rayos x de alta resolución se examina antes de pasarlo a una sala de recuperación. Sin embargo, en la mayoría de casos los objetos se detectan por medio de radiografías después de que el paciente ha abandonado la sala de operaciones.

En Estados Unidos, se utiliza un método denominado gasa segura (the Safety-Sponge System™) de Surgicount Medical,

el cual consiste en que cada gasa, compresa y/o apósito está pre marcada, con una marca de barras única y específica. Este sistema consiste en un escáner para el conteo el cual es utilizado para leer y registrar el código de barras del material que se usará en una cirugía.

Existen otros sistemas como el denominado cuenta clara (Clear-Count y ClearCount's SmartSponge System™) que automatiza el procedimiento del conteo y evita el uso de rayos X, ideado también para la resolución de la complicación, ya que en más de 10 millones de cirugías cada año, en los Estados Unidos, el personal de enfermería utiliza 15-30 minutos en el conteo manual del material quirúrgico antes, durante y después del procedimiento quirúrgico, para evitar una complicación. Sin embargo, se necesita un sistema, como el propuesto, que sea realmente seguro, donde se disminuya la probabilidad de que el paciente abandone la sala de procedimientos quirúrgicos, con un objeto extraño en su cuerpo.

Durante la ejecución del proyecto se tuvieron múltiples problemas debido a que las bobinas no proporcionaban las frecuencias determinadas y el circuito basado en condensadores no aseguraba buena estabilidad, sin embargo, durante la primera prueba "en protoboard" el circuito respondió satisfactoriamente, aunque en ocasiones las mediciones de frecuencias eran inexactas. De igual modo faltaba un componente demasiado relevante para el efectivo desarrollo del circuito (Convertor de frecuencia a voltaje).

## V. CONCLUSIONES

En la etapa de Diseño del proyecto se efectuaron las pruebas con un oscilador de referencia para cada componente llevando a cabo las respectivas mediciones

para descartar un mal estado de estos; Un procedimiento similar se realizó en las etapas de oscilador de búsqueda, mezclador y amplificador de la señal.

La realización del proyecto se basó en varias etapas, un oscilador de referencia el cual nos proporciona las frecuencias determinadas con el fin de tomarlas como base para implementar el otro oscilador; una bobina exploradora, impresa en tarjeta de circuito impreso la cual compone el oscilador de búsqueda; el mezclador basado en un emisor común degenerado con filtros para reunir las señales de los osciladores y luego pasar a la siguiente etapa; y la fase de amplificación de la señal la cual toma la salida del detector y la amplía de tal manera que pueda ser aplicada en un parlante.

Se empleó un circuito integrado conversor de frecuencia a voltaje para los indicadores visuales y para tener un circuito estable.

Durante la elaboración de la tarjeta de circuito impreso se tuvo problemas debido a que las pistas estaban muy delgadas y no había buen contacto entre ellas, se optó por incrementar su tamaño. Después de impreso y de estar en la tarjeta de circuito impreso el nuevo circuito, se verificó si había buen contacto entre cada componente.

Se efectuaron las respectivas mediciones de frecuencias y voltajes dando resultados no satisfactorios debido a que lo obtenido no está dentro de las especificaciones. El diseño de los osciladores se vio afectado y las frecuencias no dieron los valores esperados, el integrado Conversor de frecuencia a voltaje distorsionó las impedancias de las señales provenientes de los osciladores antes de pasar a la fase del mezclador y el circuito no respondió como se esperaba.

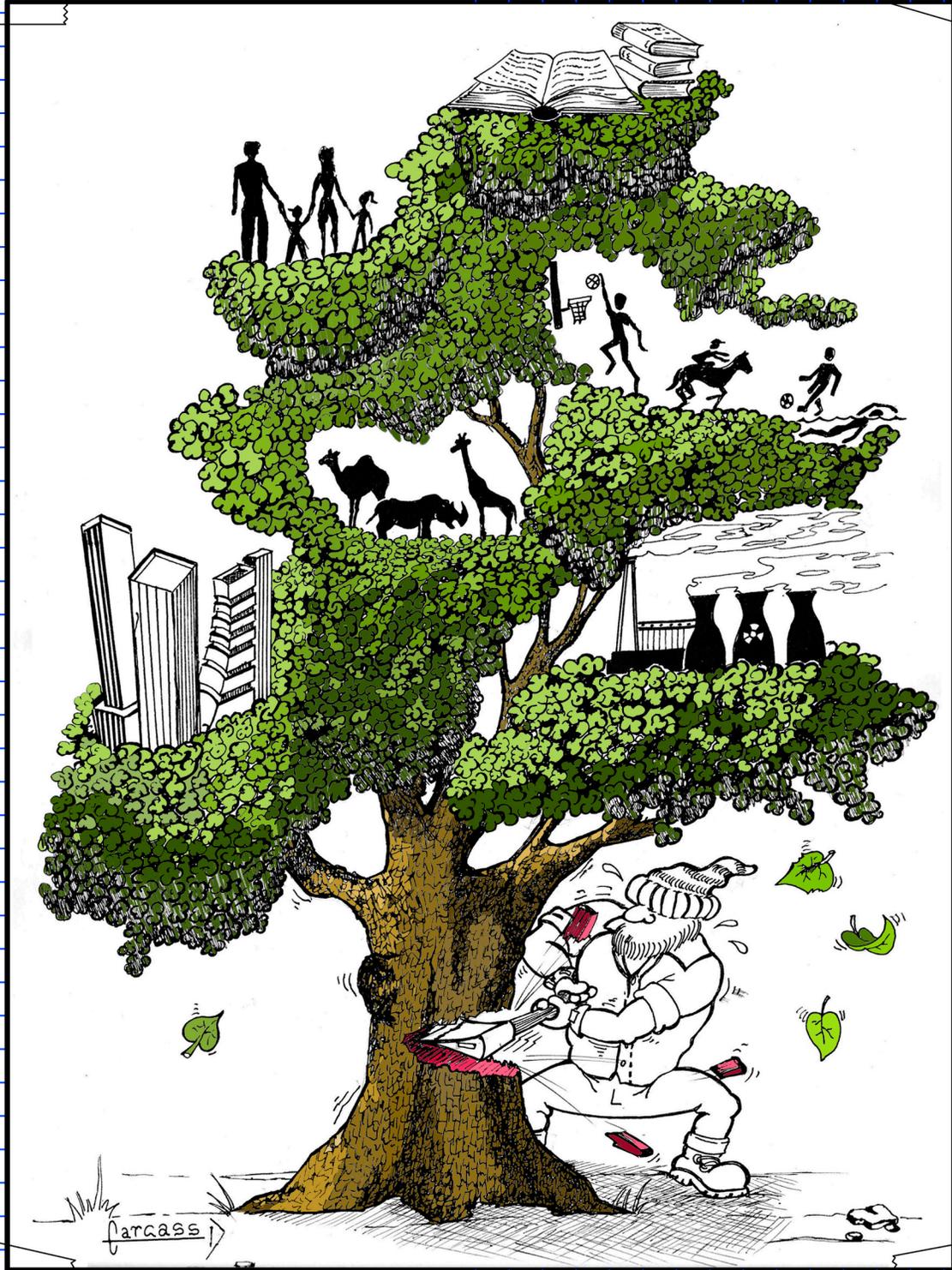
#### REFERENCIAS

- [1] Gismondi Glave, G. (2010). Ingeniería biomédica. Revista Ciencia y Cultura, (24), 99-118.
- [2] Garcés Unda, A. S. (2010). Diseño de una prótesis acoplable al antebrazo que permita el uso de herramientas básicas (Bachelor's thesis, Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ambato).
- [3] Colombo Pulgarín, J. C. (2011). Prótesis ocular estética con movimiento: propuesta de diseño de una Superficie de Apoyo Deslizante (SAD) (Bachelor's thesis, Universidad EAFIT).
- [4] Llanos, B., Marino, R., & Leonel, H. (2015). Evaluación de los sistemas tecnológicos de los laboratorios especializados de los departamentos de Ciencias de la Tierra (DECTC), Energía y Mecánica (DECEM), Eléctrica y Electrónica (DEEE) de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, matriz (Master's thesis, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Maestría en Evaluación y Auditoría de Sistemas Tecnológicos.).
- [5] Kohn, L. (Ed.). (2000). Daoism handbook (Vol. 14). Brill.
- [6] Botache Botache, J. D., Arias, G., & Isacc, B. (2011). Dispositivos de medición y captadores de datos Dispositivo para el monitoreo de temperatura, humedad relativa, luz.
- [7] Carrasco Mayorga, R. M. (2012). Marcador Electrónico con control inalámbrico para visualizar la información de resultados en el estadio central de Liga Deportiva Parroquial Atahualpa de la ciudad de Ambato (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Carrera Ingeniería Electrónica y Comunicaciones).
- [8] Sánchez Morillo, D. (2008). Procesado y transmisión de señales biomédicas para el diagnóstico de trastornos y enfermedades del sueño.
- [9] García Pérez, N. V., Hernández Alvarenga, C. E., Hernández Hernández, C. J., & Quintanilla Ruiz, J. N. (2006). Sistema informático para el control de mantenimiento preventivo programado y correctivo de maquinaria y equipo del Hospital Nacional de Niños Benjamín Bloom (Doctoral dissertation, Universidad de El Salvador).
- [10] Morote, J. P., Serrano, G. L., & Nuchera, A. H. (2014). La gestión de la innovación y la tecnología en las organizaciones. Ediciones Pirámide.
- [11] Figueroa, A., & María, G. (2016). Gestión de la innovación tecnológica mediante el análisis de la información de patentes. Revista Negotium, 11(33).
- [12] Rey-Vázquez, L. (2009). Informe APEI sobre vigilancia tecnológica. Gijón: APEI, Asociación Profesional de Especialistas en Información, 2009.
- [13] Guzmán, P., & Viviana, L. (2012). Metodología para valoración y adquisición de equipos biomédicos (Bachelor's thesis, Ingeniería Biomédica).
- [14] García Vélez, L. M. (2013). Actualización del sistema de seguridad y salud ocupacional y del plan interno de emergencias.
- [15] Hernández Sánchez, C. A. (2016). Integración de Solidworks y Labview para la elaboración de un prototipo virtual de un manipulador paralelo tipo delta de tres grados de libertad (Bachelor's thesis, Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira).
- [16] Cruz, M. (2014). Investigación para el desarrollo nacional de un Capnógrafo. Anales de la Academia de Ciencias de Cuba.
- [17] Guerra, A. R. M. (2017). Equipos biomédicos coadyuvantes para el control de la nutrición y para el ejercicio físico de personas con diabetes. Enfoque UTE, 8(1), pp-92.

Lixiviados  
Clan

Presentan:

# conCiencia



Por: Carlos Alfonso Rodríguez Castillo



**Revista Metalnova - Producto SENNOVA**

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