

Diseño y construcción de un sistema de accionamiento electro-neumático de un Troquel modelo 744 genérico (junio de 2022)

Yoimar Leonardo Alférez Parrado 23551917057 yalferez87@uan.edu.co, Edward Ariel Rozo Morales 23551918095 erozo11@uan.edu.co

Resumen - El presente documento da cuenta del marco lógico del diseño y construcción de un sistema de accionamiento electroneumático para un Troquel sistema 744 modelo genérico. El proyecto aquí expuesto tiene sus bases en la necesidad emergente de contemplar todos los componentes del proceso productivo. Además, deja en evidencia la aplicación de conocimientos teóricos en la esfera práctica y la implementación de acciones de respuesta a necesidades actuales de la transformación de materiales en la esfera industrial.

Índice de Términos - Troquel, mecanismo manual y electro neumático.

I. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

El presente proyecto de modificación es una acción de respuesta ante la necesidad constante de realizar una actividad de mantenimiento eficiente y eficaz, puesto que la actividad industrial en las últimas décadas le ha dado un papel importante al sistema productivo en su totalidad (maquinas, herramientas, operarios, etc.)

En concordancia con lo expresado anteriormente se propone modificar el accionamiento manual de un Troquel sistema 744 por medio de la adaptación de un sistema electroneumático, con el fin de facilitar su operación y prevenir lesiones músculo-esqueléticas en hombros, cuello, manos y muñecas, también evita problemas circulatorios y dolores y molestias en la columna, además de hematomas leves producto de la actividad para la persona que ejecuta la labor continuamente.

Un troquel es una herramienta por medio de la cual se puede cortar, embutir, estampar, doblar, rebordar y perforar. Este tipo de herramientas es muy útil en la industria moderna, ya que son muy versátiles a la hora de manufacturar. Existen troqueles simple efecto, los cuales solo realizan operaciones de formado en la carrera de bajada del troquel hasta el punto muerto inferior (*Botton Dead Center* por sus siglas en inglés BDC) y libera la pieza en la carrera de subida hasta el punto muerto superior (*Top Dead Center* por sus siglas en ingles TDC). Los troqueles doble efecto son diseñados para realizar

una operación fundamental de formado en la materia prima en la carrera de subida al TDC por lo que este troquel forma la pieza en ambas carreras del troquel. [1]

Un troquel está conformado por componentes discretos cada uno con una función específica. Las partes más comunes son: los cortantes (macho y matriz de corte), las piezas formadoras (macho y matriz de embutición), la base donde están montadas estas piezas y los postes o columnas guías que facilitan el centrado de la herramienta. Normalmente se tiene una parte móvil (superior) y una parte fija (inferior). [2]

El accionamiento de un Troquel se da por medio de un mecanismo manual que con el movimiento de una palanca acciona una cuchilla que cizalla el material (aluminio 6063T5). De este modo, el movimiento de la palanca es esencial en el proceso de operación, sin embargo, demanda la aplicación de fuerza del operador y esto se configura como un detonante a corto, mediano y largo plazo de problemas relacionados con la salud del operador de la herramienta. Además de los aspectos técnicos que impactan negativamente en el proceso productivo (tiempos, paradas, disponibilidad, vida útil, etc.)

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Históricamente ha sido posible evidenciar que en la industria del aluminio el uso del Troquel es indispensable. Sirve como una herramienta de apoyo, dado que con su creación redujo los tiempos de producción y aumentó la exactitud de los cortes; por lo que, se obtiene con su uso, un trabajo más exacto y en concordancia, con un menor margen de error.

Teniendo en cuenta lo anterior, el Troquel se sitúa como una herramienta de uso continuo e indispensable en la transformación del material (aluminio). No obstante, en el continuo contacto con la herramienta es posible evidenciar que representa una serie de amenazas para el proceso productivo y la integridad física del operario.

Específicamente el Troquel 744 modelo genérico, cumple funciones de cizalla, por lo que, su proceso técnico se compone del accionamiento manual de una palanca y requiere el contacto de los dos brazos del operario, donde no solo se

debe estar atento al proceso sino se tiene que ejercer fuerza y presión con las extremidades superiores e inferiores.

La situación descrita deja en evidencia una necesidad dual, por una parte, es menester minimizar el peligro de accidentes y por otra, abordar los riesgos que a largo plazo produce esta labor repetitiva.

Es por esto que, uno de los temas de estudio de la Ergonomía es la carga de trabajo con énfasis en todos los factores o requerimientos psicofísicos a los que está expuesto el trabajador durante su jornada laboral y que implica el uso del sistema musculo-esquelético y cardiovascular [3]. Entre los factores más relevantes es posible identificar: las posturas, la fuerza y los movimientos, los cuales sólo representan un peligro cuando se sobrepasa la capacidad de respuesta del individuo o no hay una adecuada recuperación biológica del tejido.

En síntesis, en una visión prospectiva, la exposición continua a sobrecarga física puede llegar a lesionar el aparato locomotor generando desórdenes musculo esqueléticos que, según la Organización Mundial de la Salud, son problemas de origen multifactorial, donde inciden factores del entorno físico, la organización del trabajo, factores psicosociales, individuales y socioculturales. [4]

III. JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto de modificación se enfoca en el peligro que representa a corto y a largo plazo para el operario, el accionamiento manual del Troquel 744. Por lo que, se identificó una necesidad latente de búsqueda activa de alternativas teniendo presente el proceso productivo que representa la herramienta.

En este orden de ideas, la adaptación de un sistema electro neumático se proyecta como una respuesta a una problemática que se agudiza con el tiempo, ya que, teniendo en cuenta las aseveraciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), el dolor lumbar forma parte de los desórdenes músculo esqueléticos relacionados con el trabajo que incluyen alteraciones de músculos, tendones, vainas tendinosas, síndromes de atrapamientos nerviosos, alteraciones neurovasculares y articulares.

Desde una perspectiva más amplia, la modificación de la herramienta representa una aplicación práctica de conocimientos teóricos adquiridos durante la formación y que resulta fundamental para el desarrollo profesional del tecnólogo en mantenimiento electromecánico industrial. Además de abordar un campo emergente y ampliar el horizonte del profesional al realizar una actividad integral que tiene en cuenta no solo las máquinas y herramientas sino el operario de las mismas, haciendo hincapié en el impacto que tiene cada uno de los componentes en el funcionamiento óptimo del proceso productivo.

IV. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar una modificación al accionamiento manual de un Troquel 744 modelo genérico por medio de la adaptación de un sistema electro neumático.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar la geometría y cinemática del troquel sistema 744 modelo genérico con énfasis en parámetros de montaje, operación y mantenimiento.

Elaborar los cálculos técnicos y planos de diseño para la modificación del sistema de accionamiento del Troquel 744 modelo genérico

Evaluar la viabilidad del proyecto

Elaborar las modificaciones proyectadas en la herramienta troquel sistema 744 modelo genérico

V. ALCANCE

Diseño y construcción de un sistema de accionamiento electro-neumático de un Troquel modelo 744 genérico.

VI. MARCO DE REFERENCIA

En aras de otorgar una serie de aspectos técnicos al lector, en este apartado se abordan los elementos teóricos que atraviesan y sustentan el proyecto. Los conceptos son: aluminio, ventanería en aluminio, troquel, sistema electroneumático, cilindro neumático doble efecto y compresor.

A. *Aluminio*

Inmersos en el devenir histórico es posible afirmar que, desde los inicios de la humanidad, el ser humano ha buscado el uso y la transformación de elementos que faciliten y/o mejoren su calidad de vida. Lo anterior, configura un ambiente propicio para el desarrollo de procesos industriales y marca un antes y un después en la historia del ser humano; el aluminio no es la excepción, por el contrario, es el metal más abundante sobre la corteza terrestre, y el tercer elemento más abundante después del oxígeno y el silicio, destacado por su capacidad de resistir la corrosión y por su baja densidad, es atractivo para la industria, lo que ha hecho de este metal uno de los más importantes, tanto en cantidad como en variedad de usos [5] [6]

Históricamente el aluminio fue conocido por el hombre por primera vez en 1808 pero no fue hasta 1827 que se le atribuyó el descubrimiento a Frederich Wöler. En las décadas posteriores, el auge del aluminio hizo que la solidez asociada con peso se hiciera una dicotomía que rápidamente fue solucionada, puesto que la concepción del material, cambió radicalmente cuando se comprobó que el aluminio puede garantizar la misma solidez que otros metales con facilidad y siendo mucho más liviano [5] [7]

En la actualidad, la tendencia nos indica que las aleaciones

a base de aluminio seguirán por el camino de la innovación tecnológica e investigación científica. En el campo de la Ciencia, Tecnología e Innovación se prevé un amplio uso, dadas las nuevas aleaciones y materiales compuestos que se encuentran en desarrollo y que representan un alcance sin límites para futuros materiales con mejores propiedades [6]

B. Ventanería en aluminio

Con el fin de realizar un abordaje idóneo del concepto en cuestión, se debe acudir a una breve reseña histórica que establezca la cosmovisión del elemento en la sociedad y su uso mismo. En tal sentido, es menester establecer que los registros de ventanas, ventanería o estructuras similares se remontan al IV milenio a.C en la Persépolis, donde las casas tenían unas aberturas parecidas a las ventanas y además se conocían los marcos y hojas en los palacios de Mínos en Creta; entre sus múltiples usos se identifican la ventilación, iluminación y comunicación.

En base a lo anterior, es posible inferir que las ventanas se constituyeron históricamente como un elemento de uso cotidiano en la sociedad, que además da una respuesta a la necesidad del ser humano en términos de luz, aire, ventilación y protección en el interior del hogar [8]

Por otra parte, la discusión mediática en términos de ventanería, gira en torno al material del que están hechas; y es que, en la actualidad, los arquitectos generan ambiciosos proyectos de construcción en los que se sobreentiende una clara preferencia por un diseño moderno con mucho vidrio, destacando así el aluminio como material ideal para los perfiles de las ventanas, por resultar ligero y a la vez que muy firme. Lo anterior, hizo posible trabajar con ventanas elegantes y de aspecto moderno. [7]

En este sentido, el más famoso y uno de los primeros rascacielos con ventanas de aluminio fue el Empire State Building de Nueva York. La construcción de esta torre de oficinas de 381 metros de altura inició el 17 de marzo de 1930 y las 102 plantas se completaron aproximadamente 410 días después, este icónico edificio cuenta con 6.514 ventanas de aluminio y desde entonces, los fabricantes de ventanas de aluminio han dedicado una gran cantidad de tiempo a las formas en que se pueden mejorar las roturas térmicas para proporcionar un rendimiento cada vez mayor. [7]

C. Troquel

El Troquel es una herramienta que se monta en una prensa (neumática, mecánica) y que ejerce una fuerza sobre los elementos del troquel provocando que la pieza superior encaje sobre la inferior o matriz, lo que produce a su vez, la estampación del material que sea interpuesto entre ambas piezas. [10] El troquel puede ser:

- Simple: requiere de un solo golpe para realizar la operación correspondiente
- Progresivo: cuando se alimenta de forma

continua y realiza diversas operaciones en cada golpe.

Acerca de los elementos del troquel es menester enunciar que estas varían según la necesidad y consideración del diseño. Sin embargo, el troquel siempre tiene tres (3) placas que complementan el diseño. A continuación, se abordan:

- Placa inferior: se fija mediante pernos que se introducen por las guías de la mesa de la prensa y por los agujeros realizados al efecto de la placa. En ella se fija en la matriz y las colinas.
- La placa superior: Ha de anclarse en la parte superior de la prensa o carro mediante pernos que se introducen por las guías de la prensa y las diseñadas al efecto en la placa. Sobre ella se sitúan las herramientas que actuarán sobre la pieza y los pistones. Se debe tener en cuenta que las coronas ya han de pasar a través de la placa y deben librar la prensa en su posición más desfavorable.
- La placa Pisadora: va entre las anteriores y su función es fijar la pieza a la matriz antes de que baje totalmente la prensa y actúen las herramientas de corte doblado u otras que pasan a través de ella y la haga de forma precisa.
- Columnas guía: El guiado de las placas ya que para que realicen las placas superiores su desplazamiento con precisión se dispone de columnas o placas de guiado que se fijan en la placa inferior.
- Casquillos: Son piezas de forma cilíndrica que se fijan a la placa con un ajuste de apriete suave y con unas bridas que no se salgan con el uso.
- Punzón: Es un elemento de gran dureza que realiza un agujero en la pieza que tienen la forma del orificio que se pretende usualmente circular. Son elementos normalizados si bien hay medidas que es preciso analizar específicamente. En este caso son cilindros en la parte superior tienen la cabeza de mayor diámetro.
- Portapunzones: Es la pieza en la que se ubica el buzón determinado su correcta posición y aportando rígidas de modo que no sufre ya que al ser relativamente largos y las dos fuerzas tan grandes podrían verse afectados.
- Sufridera: entre los entre la porta punzones y la placa se coloca una placa más fina y gran dureza que es la que transmite el esfuerzo de la cabeza del punzón y evitar deterioro en la placa.

- **Matriz:** Es un elemento básico del troquel en la que se coloca la pieza para el pensionado. Tiene la forma negativa de la pieza y se apoya sobre la placa inferior intercalándose una sufridera.
- **Pistones:** son resortes neumáticos consistentes en un vástago telescópico que se mueve por el cilindro que contiene nitrógeno a presión. El resorte neumático es un muelle bajo coeficiente que ofrece la autonomía funcionamiento una instalación neumática, ni canalizaciones con fluidos a presión.

Por otra parte, el proceso de corte y separación de la lámina se realiza por varios métodos (Fig. 1), que dan nombre específico al proceso, como lo son: el cizallado, el punzonado y recortado.

- El cizallado es un proceso similar a la operación de cortar papel con tijeras; hay dos formas muy usuales de cizallado en guillotina y en cuchillas circulares.
- El punzonado y recortado consiste en recortar un agujero en forma cualquiera en una lámina o en una pieza de lámina previamente formada es una operación similar a la que realiza una perforadora de papel en la oficina. El agujero es lo que se utiliza.
- El recortado es una operación similar a la anterior, pero en este caso no es la perforación Lo que importa, sino la pieza resultante de la forma del punzón



Fig. 1. Algunas operaciones que se realizan con un troquel. Fuente: Wikipedia enciclopedia libre.

D. Sistema electroneumático

En primer lugar, la palabra electro neumática se deriva del termino electro que significa eléctrico, y de neumático que significa presión del aire. En tal sentido, la electroneumática se entiende como un sistema que integra la electricidad y el aire comprimido. Además, este sistema ejerce el control sobre los componentes neumáticos por medio de impulsos eléctricos. [9]

Específicamente, la neumática básica o pura, produce fuerza mediante los actuadores o motores neumáticos, lineales o rotativos, pero además el gobierno de éstos y la introducción de señales, fines de carrera, sensores y captadores, se efectúa mediante válvulas exclusivamente neumáticas, es decir el

mando, la regulación y la automatización se realiza de manera totalmente neumática. [11] [12]

Por consiguiente, cabe considerar algunas de las ventajas de la electroneumática sobre la neumática pura que se concretan en la capacidad que tienen la electricidad y la electrónica para emitir, combinar, transportar y secuenciar señales, que las hacen idóneas para cumplir sus objetivos. A grosso modo, se suele decir que la neumática es la fuerza y la electricidad los nervios del sistema, por lo que, se puede definir la electroneumática como la tecnología que trata sobre la producción y transmisión de movimientos y esfuerzos mediante el aire comprimido y su control por medios eléctricos y electrónicos. [12]

E. Cilindro neumático doble efecto

La construcción de un cilindro de doble efecto (Fig. 2) es similar a la de un cilindro de simple efecto. No obstante, el cilindro de doble efecto no tiene un muelle de reposición, ya que ambas conexiones se utilizan para la alimentación y el escape de aire. Asimismo, el cilindro de doble efecto tiene la ventaja de poder ejecutar el trabajo en ambos sentidos, lo que lo posiciona como un cilindro apropiado para numerosas aplicaciones; siendo menester resaltar a este punto que, la fuerza que se aplica en el vástago es algo superior en el avance y retroceso, ya que la superficie es mayor en el lado del émbolo que en el lado del vástago. [12]

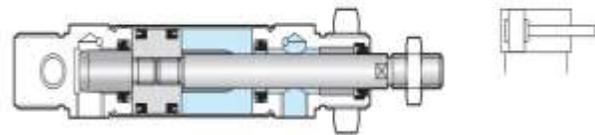


Fig. 2. Cilindro de doble efecto. Fuente: https://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/573031_lb_pep_ext acto_es.pdf

F. Compresor

Desde una perspectiva orgánica, el primer compresor de aire utilizado por el ser humano, fueron sus propios pulmones. Concretamente los pulmones son capaces de tratar $100LPM=6m^3/h$ y ejercen una presión entre 0.02 bar y 0.08 bar . Aunque, ha de saberse que el interés por comprimir aire humanamente, perdió fuerza 3000 A.C, cuando la metalurgia tomó su lugar con temperaturas superiores a los 1000°C .

A partir del hito anteriormente mencionado, surge el segundo compresor de aire, o el primero mecánicamente, que se diseñó 1500 D.C, y que consistía en una bolsa flexible que al ser aplastada liberaba aire comprimido. Dentro de este marco, los compresores son máquinas que tienen por finalidad aportar una energía a los fluidos compresibles sobre los que operan, para hacerlos fluir aumentando al mismo tiempo su presión [13]

De acuerdo con lo anterior, los compresores pueden ser usados para aumentar la presión o flujo de un gas, a veces esto es intermitente o continuo y su uso se da para aumentar la presión o para accionar algún equipo como sistema de

lubricación neumática, equipos de perforación, válvulas de control, etc. Cada tipo de compresor tiene ventajas para aplicaciones específicas, y los materiales utilizados en su construcción son compatibles con ciertos gases y/o aceites, limitando su intercambiabilidad.

En síntesis, los compresores en general son similares a las bombas que utilizamos para bombear líquidos. Por lo que, en general los líquidos no pueden ser comprimidos utilizando un equipo similar al compresor puesto que la bomba aumenta presión o flujo en una relación directa [14]

VII. ANALISIS DEL PROBLEMA

En la industria de producción de piezas y/o transformación del aluminio, el Troquel (Fig. 3) representó un hito de calidad y productividad, dos conceptos que se reflejan en el alza de los índices de competitividad en cualquier dimensión de la esfera industrial. De manera general, la herramienta se posicionó como elemental para la actividad de corte e indispensable para la totalidad del proceso productivo ya que dota al sistema de mayor velocidad, energía de trabajo, mejor control y alta precisión.



Fig. 3. Troquel. Fuente: Propia.

En otras palabras, el Troquel en la industria es una herramienta esencial, razón por la que su uso es constante. No obstante, cabe considerar por otra parte, que el alto índice de accidentalidad y los riesgos que representa tanto a largo plazo como corto plazo, son inherentes a la actividad constante. En este sentido, el Troquel como herramienta se encuentra entre una bilateralidad puesto que beneficia al sistema productivo, pero amenaza continuamente la integridad física del operario de la herramienta.

En esta perspectiva y teniendo en cuenta los parámetros técnicos del funcionamiento del troquel con la geometría del perfil de aluminio, es correcto afirmar que el funcionamiento de la herramienta es su totalidad es generado por la fuerza que debe ejercer manualmente el operario; es por ello que se proyecta modificar el mecanismo a través de un cilindro neumático (Fig. 4) con pulsador de accionamiento por pedal (Fig. 5) que suspenda el mecanismo manual (palanca) y potencie mejoras para la salud y seguridad en el trabajo (SST) además de la optimización del tiempo.



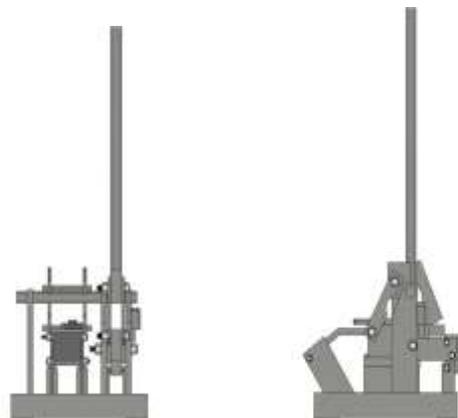
Fig. 4. Cilindro neumático. Fuente: Propia.



Fig. 5. Accionador por pedal. Fuente: Propia.

VIII. DISEÑO

Consecuente a lo expresado en líneas anteriores, se da inicio a la fase de diseño. Esta etapa se encuentra atravesada por el análisis y la producción de planos. En primer lugar, se identifica la geometría y cinemática del Troquel haciendo énfasis en el engranaje de sus partes, funcionamiento y relación fuerza-presión. Simultáneamente, se adelanta el diseño de un plano (Fig. 6) que contempla las dimensiones exactas de las piezas de la herramienta con el propósito de realizar cálculos y hallar la capacidad requerida del cilindro neumático con el cual se estima reemplazar el mecanismo manual.



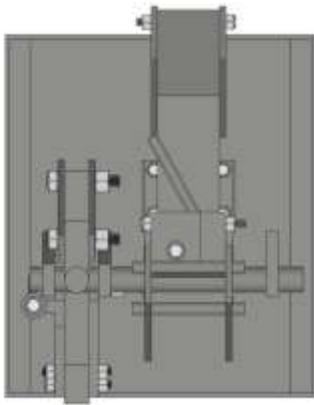


Fig. 6. Plano del Troquel. Fuente: Elaboración propia.

Área del perfil: 20 mm

Espesor = 1.1 mm
Longitud = 2

$l = 50$

ancho 20

$t = 1,1 \text{ mm}$

$(2l + A) \cdot 1,1 =$

$(0,12\text{mm}) \cdot (0,0011) = 1,32 \times 10^{-6} - m^2$

Esfuerzo cortante = F / A

Esfuerzo = esfuerzo cortante x área

$$t = \frac{f}{A} \rightarrow f = t \cdot A$$

$$= 22.000 \frac{lb}{in^2} \cdot 0,21 \text{ in}^2$$

$$= 4620 \text{ lb}$$

Hallado el cálculo anterior, se ilustra en el plano el cilindro requerido (Fig. 7) y como producto se obtiene el diseño de la modificación al accionamiento manual del Troquel modelo 744 genérico.



Fig. 7. Plano del Troquel con cilindro requerido. Fuente: Elaboración propia.

IX. CONSTRUCCIÓN

En última instancia, como resultado de las fases anteriormente abordadas se dispone de los cálculos y planos para realizar las modificaciones a la herramienta. A continuación, se presentan las etapas del proceso:

- Etapas 1: Corte de la base del Troquel
- Etapas 2: Soldadura para la base del cilindro
- Etapas 3: Asegurar el cilindro
- Etapas 4: Instalar el acople por pedal
- Etapas 5: Establecer las conexiones del compresor al pedal y de este último al cilindro
- Etapas 6: Realizar prueba de funcionamiento
- Etapas 7: Modificación finalizada

X. RESULTADOS

En función de lo expresado e ilustrado anteriormente, es posible afirmar que las pruebas de funcionamiento arrojaron los resultados esperados. La herramienta funciona óptimamente y genera un impacto positivo en el sistema productivo de piezas y/o transformación del aluminio. Asimismo, representa un amplio medio de seguridad y garantía a la integridad del operario.

XI. CONCLUSIONES

- 1- Se identificó la geometría del Troquel sistema 744 modelo genérico con el fin de disminuir la existencia de interferencias en el montaje, operación y mantenimiento de la herramienta. Lo anterior, para garantizar una modificación eficiente de acuerdo a las restricciones delimitadas por el propietario.
- 2- Se levantaron los planos del Troquel sistema 744 modelo genérico para obtener los cálculos en relación a la geometría de la herramienta con el fin de seleccionar el cilindro adecuado y lograr la menor cantidad de interferencias al momento del corte. Asimismo, cabe resaltar que la correcta elaboración de planos y cálculos permite la adecuada selección del material y un mejor rendimiento de operación.
- 3- La modificación diseñada e implementada suple la necesidad emergente de disminuir riesgos y prevenir daños causados de corto, mediano y largo plazo producto del uso continuo del Troquel 744 modelo genérico garantizando un sistema productivo eficiente que da atención a todos los elementos del sistema y no solo al producto del mismo.

- 4- En última instancia, cabe considerar que la modificación realizada se ubica como una respuesta a la necesidad del campo laboral y como un modelo alternativo y replicable en la industria

XII. AGRADECIMIENTOS

En primera instancia y suscitando la reflexión entorno a los aprendizajes obtenidos durante la formación profesional, creemos menester realizar una exaltación a la planta docente de la Universidad Antonio Nariño (UAN) por el acompañamiento, disposición y apoyo como tutores, guías y fuente primordial no solo de saberes teóricos sino de lecciones que traspasan el campo laboral para formar seres humanos capacitados en el área con enfoque humanista. De igual forma, a la institución que garantiza la calidad del proceso académico y del logro de indicadores de gestión e impacto.

XIII. REFERENCIAS

- [1] M. Á. A. Mejora de la disponibilidad de un troquel de la empresa Prodivasas S.A.S., 2021 Medellín , 2021. Trabajo de grado profesional (grado de ingeniería mecánica) Universidad de Antioquia. Facultad de ingeniería.
- [2] DEDUCETU. "Conformado de productos sin arranque de viruta" [En línea] [10 marzo de 2022] disponible en: <http://de-duce-tu.blogspot.com/p/4corte-y-punzonado.html>
- [3] MERCÉ, P., *et al.* Manual de ergonomía para máquinas del sector del metal, 2010. Revista de biomecánica (54), 69-72.
- [4] CORNEJO, M. Identificación, Evaluación y Propuesta de Medidas Correctivas para los Factores de Riesgo Ergonómico por Posturas Forzadas en los Trabajadores que Operan una Máquina Troqueladora en una Empresa Metalmeccánica. Quito, 2015. Trabajo de grado profesional (grado de ingeniería en salud y seguridad ocupacional) Universidad Internacional SEK del Ecuador.
- [5] M. A. Ruiz Esparza Rodríguez., R. Martínez Sánchez, "El aluminio, material trascendente en la historia humana" 2017.
- [6] J. Muñoz y J. Rodríguez, "Síntesis de polvos cerámicos de cinc-bismuto-aluminio-antimonio-lantano, y su uso en la fabricación de varistores," *Revista Académica Colombiana Ciencias*, vol. 30, pp. 115-259, 2006.
- [7] ALUMED. 100 años con ventanas de aluminio, 2020.
- [8] Y. A. C. MELENDEZ, " Análisis Comparativo de Ventanas de PVC Versus Ventanas de Aluminio ," Análisis Comparativo De Ventanas De PVC Versus Ventanas De Aluminio, 2005.
- [9] REFRACCIONES INDUSTRIALES. Electroneumática, 2021.
- [10] Chavez, S. y Sanchez, M. Diseño y fabricación de un troquel para placas de apagador de aluminio, 2008.
- [11] J. R. Duque, "Componentes de los Sistemas Electroneumáticos y Electrohidráulicos" 2021.
- [12] Frank Ebel *et al.*, "Neumática Electroneumática," 2010.
- [13] P. F. Díez, "COMPRESORES"
- [14] F. Soto. Investigación de los compresores de aire, 2018.