


INVESTIGACIÓN

TECNOLÓGICA IST CENTRAL TÉCNICO

Volumen 8 · Número 1 · Junio 2026 · Publicación semestral



Diseño y construcción de una máquina cortadora por plasma con sistema automático para destajes “boca de pez” en tubos redondos.

Design and construction of a plasma cutting machine with an automatic system for "fish mouth" cuts in round tubes

Diseño y construcción de una máquina cortadora por plasma con sistema automático para destajes "boca de pez" en tubos redondos

Willian Feo Guachalá¹, Sandino Torres Gallegos²[0000-0002-9687-3564], Abrahan Jorjue Rea³[0000-0003-4235-9604], Daniel Jorjue Rea⁴

¹ Investigador independiente, Quito, Ecuador
E-mail: willian.feo@gmail.com

² Investigador independiente, Quito, Ecuador
E-mail: ssandinotorresq@gmail.com

³ Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: ajorque@istct.edu.ec

⁴ Investigador independiente, Quito, Ecuador
E-mail: danieljorjue@gmail.com

Recibido: 05/05/2026

Aceptado: 15/06/2026

Publicado: 30/06/2026

RESUMEN

En el sector metalmecánico, el proceso de destaje denominado boca de pez en tubos redondos representa una operación de alta demanda en la fabricación de estructuras metálicas. Sin embargo, su ejecución manual mediante arranque de viruta con sacabocado y taladro genera pérdidas de material, imprecisión dimensional y riesgos para el operario. El presente trabajo describe el diseño, construcción y validación de una máquina cortadora por plasma con sistema automático de giro, orientada a ejecutar destajes tipo "boca de pez" en tubos redondos de acero con espesores de 2 mm a 6 mm y diámetros de 2" a 5". El sistema integra un motorreductor de 1/8 hp operando a 10 RPM, un mecanismo de transmisión por poleas de aluminio con relación de transmisión 2:1, rodamientos SKF de doble hilera, y una cortadora de plasma marca Porten PS-EC40. El control eléctrico se implementó mediante un contactor electromagnético con enclavamiento, pulsadores de marcha y paro, y señalización por luces piloto. Los cálculos estructurales confirmaron que el tubo cuadrado ASTM A-36 de 30×30×3 mm resiste las cargas aplicadas, con un esfuerzo calculado de 16 165,80 Pa frente a un esfuerzo permisible de 165,47 MPa. La validación experimental demostró que el sistema ejecuta cortes a 360° de manera continua, uniforme y reproducible, reduciendo el tiempo de operación y las pérdidas de material respecto al método manual. El prototipo fue implementado en el taller de soldadura del Instituto

Tecnológico Superior "Central Técnico" de Quito, Ecuador, como plataforma de aprendizaje práctico en procesos automatizados de corte.

Palabras clave: Corte por plasma; destaje boca de pez; automatización industrial; transmisión por poleas; mecánica industrial; tubos redondos de acero.

ABSTRACT

In the metalworking sector, the fishmouth cutting process for round tubes is a high-demand operation in the fabrication of metal structures. However, its manual execution using chip removal with punches and drills results in material loss, dimensional inaccuracies, and risks for the operator. This paper describes the design, construction, and validation of a plasma cutting machine with an automatic rotation system, designed to perform fishmouth cutting on round steel tubes with thicknesses from 2 mm to 6 mm and diameters from 2" to 5". The system integrates a 1/8 hp geared motor operating at 10 RPM, an aluminum pulley transmission mechanism with a 2:1 gear ratio, SKF double-row bearings, and a Porten PS-EC40 plasma cutter. Electrical control is implemented using an electromagnetic contactor with latching, start and stop pushbuttons, and pilot lights. Structural calculations confirmed that the 30×30×3 mm ASTM A-36 square tube withstands the applied loads, with a calculated stress of 16,165.80 Pa compared to an allowable stress of 165.47 MPa. Experimental validation demonstrated that the system performs continuous, uniform, and reproducible 360° cuts, reducing operating time and material losses compared to the manual method. The prototype was implemented in the welding workshop of the "Central Técnico" Higher Technological Institute in Quito, Ecuador, as a platform for practical learning in automated cutting processes.

Index terms: Plasma cutting; fishmouth cutting; industrial automation; pulley transmission; industrial mechanics; round steel tubes.

1. INTRODUCCIÓN.

El corte por plasma constituye una de las tecnologías de mayor adopción en la industria metalmeccánica contemporánea, en virtud de su capacidad para seccionar materiales metálicos conductores con alta velocidad, precisión dimensional y mínima zona afectada térmicamente (ZAT). El proceso se fundamenta en la ionización de un gas comúnmente aire comprimido, nitrógeno u oxígeno a temperaturas que superan los 30 000 °C, generando un arco eléctrico de alta densidad energética que funde y expulsa el material en la trayectoria de corte.

En el ámbito de la fabricación de estructuras metálicas tubulares, el proceso de destaje denominado "boca de pez" también conocido como cope o saddle cut en la literatura anglosajona consiste en la remoción de material en el extremo de un tubo redondo para permitir su ensamble ortogonal con otro tubo de igual o diferente diámetro, optimizando la calidad del cordón de soldadura y la resistencia de la unión. Tradicionalmente, este proceso se ejecuta mediante arranque de viruta con sacabocado y taladro de columna, lo que implica herramientas de corte de alto costo, tiempos de ciclo elevados, generación de viruta metálica y riesgos ergonómicos para el operario.

La automatización del proceso de corte por plasma ha experimentado un avance significativo

desde la incorporación de sistemas de control numérico computarizado (CNC) en máquinas de corte plano y tridimensional. No obstante, las soluciones comerciales disponibles para el corte automatizado de tubería, como la máquina CNC ProCutter 600 de HGG Group presentan costos de adquisición elevados que limitan su accesibilidad en instituciones de educación técnica y pequeñas empresas metalmeccánicas de economías en desarrollo.

En el contexto ecuatoriano, los talleres de mecánica industrial de institutos tecnológicos superiores carecen, en su mayoría, de equipamiento automatizado para procesos de corte de tubería, lo que restringe las oportunidades de formación práctica de los estudiantes en tecnologías de manufactura avanzada. Esta brecha formativa se traduce en egresados con limitada experiencia en la operación, mantenimiento y programación de sistemas automatizados de corte, competencias cada vez más demandadas por el sector productivo nacional.

Frente a esta problemática, el presente trabajo plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Es técnicamente viable diseñar y construir un prototipo de máquina cortadora por plasma con sistema automático de giro, de bajo costo y operación accesible, que ejecute destajes tipo "boca de pez" en tubos redondos de acero con espesores de 2 mm a 6 mm y diámetros de 2" a 5", en el contexto de un taller de formación técnica?

El objetivo principal del trabajo es el diseño, construcción y validación funcional de dicho prototipo, con énfasis en la selección de materiales estructurales normalizados (ASTM A-36), el dimensionamiento del sistema de transmisión por poleas, el cálculo de esfuerzos en elementos críticos y la implementación del sistema de control eléctrico automatizado.

El artículo se organiza de la siguiente manera: la sección de Metodología describe el proceso de diseño, los cálculos de ingeniería y el procedimiento de construcción; la sección de Resultados presenta los datos cuantitativos obtenidos en los cálculos estructurales, la selección de componentes y la validación experimental; la sección de Discusión interpreta los hallazgos en relación con el estado del arte; y las Conclusiones sintetizan los aportes del trabajo y proponen líneas de investigación futura.

2. MATERIALES Y MÉTODOS / DESARROLLO

2.1. Tipo y Alcance de la investigación. La investigación se enmarca en un enfoque cuantitativo con alcance descriptivo-experimental. La fase descriptiva comprende el diagnóstico de necesidades mediante encuestas estructuradas aplicadas a estudiantes y empresas del sector metalmeccánico; la fase experimental abarca el diseño, construcción y validación funcional del prototipo.

2.2. Diagnóstico de necesidades. Se aplicaron dos instrumentos de recolección de datos:

- Una encuesta de diez ítems dicotómicos (SI/NO) dirigida a 22 estudiantes del sexto semestre de la carrera de Tecnología en Mecánica Industrial del Instituto Tecnológico Superior "Central Técnico" (ITSCT);

- Una encuesta equivalente aplicada a representantes técnicos de cuatro organizaciones del sector metalmeccánico: Zeusplastic Cía. Ltda., Registrec, Mecaniza Maquinado de Calidad y el propio ITSCT.

Los datos fueron tabulados y representados mediante gráficos de distribución porcentual.

2.3. Diseño del Sistema mecánico. El diseño del prototipo se desarrolló en el software Autodesk Inventor Professional 2017, generando planos de conjunto y despiece en formato A4. El sistema mecánico se compone de los siguientes subsistemas:

- Estructura base: fabricada con tubo cuadrado de acero estructural ASTM A-36 de 30×30×3 mm, soldada con proceso SMAW mediante electrodo E-6011. La selección del perfil se validó mediante el cálculo del esfuerzo permisible a flexión.
- Mecanismo de giro: constituido por un tubo redondo de 3" de diámetro y 5 mm de espesor, con dos rodamientos SKF de doble hilera (diámetro exterior: 72 mm; diámetro interior: 50 mm) en cada extremo, que permiten la rotación del conjunto porta-antorcha alrededor del eje longitudinal del tubo a cortar.
- Sistema de transmisión: compuesto por un motorreductor eléctrico de 1/8 hp a 10 RPM, dos poleas de aluminio (polea motriz: 89 mm, 3½"; polea conducida: 178 mm, 7") y una correa de transmisión. La relación de transmisión se calculó mediante la expresión:

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{D_1}{D_2}$$

Donde $n_1 = 10 \text{ rpm}$, $D_1 = 89 \text{ mm}$ y $D_2 = 178 \text{ mm}$, obteniéndose, $n_2 = 5 \text{ rpm}$ e $i = 2$

- Mecanismo de sujeción del tubo: sistema de placas móvil y fija con ejes guía mecanizados y prensa trasera, que permite fijar tubos redondos de 2" a 5" de diámetro en posición coaxial con el eje de giro.
- Placa pista y placa guía: la placa pista, de perfil "boca de pez", actúa como leva estática; la placa guía, acoplada mediante rodamiento seguidor de perfil y resorte de compresión, transmite el movimiento de copiado a la antorcha de plasma, garantizando la trayectoria de corte en 360°.

2.4. Cálculos de ingeniería

2.4.1. Cálculo de Masas y Cargas

Las masas de cada componente se determinaron a partir del volumen calculado geoméricamente y la densidad del acero ASTM A-36 $\rho = 7.85 \text{ kg/dm}^3$, mediante:

$$M = V_t \times \rho$$

La masa total sobre la mesa resultó:

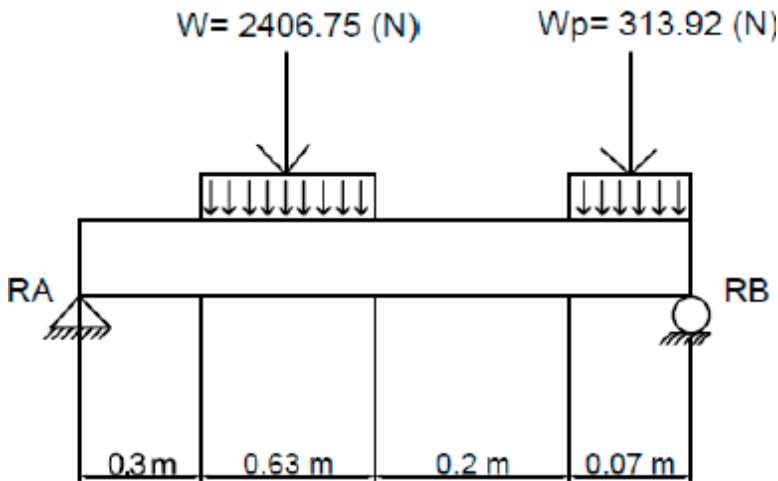
$$M_T = 8,55 + 46,55 + 110,04 + 2(15,4) + 8,63 = 245,34 \text{ kg}$$

El peso total aplicado sobre la estructura:

$$W = M_T \times g = 245,34 \times 9,81 = 2\,406,78 \text{ N}$$

Figura 1.

Diagrama de cuerpo libre de la máquina



2.4.2. Análisis Estático de la Estructura

Se elaboró el diagrama de cuerpo libre de la viga principal, determinando las reacciones en los apoyos A y B mediante equilibrio estático:

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow R_B = \frac{2\,406,78(0,615) + 313,92(1,16)}{1,2} = 1\,537,02 \text{ N}$$

$$R_A = 2\,720,7 - 1\,537,02 = 1\,183,68 \text{ N}$$

El momento flector máximo resultó $M_{m\acute{a}x} = 355,1 \text{ Nm}$ y el esfuerzo calculado a flexión:

$$\sigma = \frac{M \cdot c}{I} = \frac{1\,183,68 \times 77,3 \times 10^{-3}}{5,66 \times 10^{-3}} = 16\,165,80 \text{ Pa}$$

2.4.3. Cálculo del esfuerzo permisible del acero de construcción

σ_{acero} = Esfuerzo del acero 36 ksi o Kpsi

$|\sigma| = 36 \text{ KSI} = 36\,000 \text{ PSI} = 248,21 \text{ MPa}$

El esfuerzo permisible del acero ASTM A-36 con factor de seguridad $\delta = 1,5$:

$$|\sigma_{adm}| = \frac{\sigma_{acero}}{\delta}$$

$$|\sigma_{adm}| = \frac{248,21}{1,5} = 165,47 MPa$$

Conclusión: el tubo cuadrado de 30x30x3 mm de acero ASTM A-36 resiste la carga aplicada y el montaje de las partes de la máquina que se va a realizar.

2.4.4. Cálculo de Torsión en el Tubo Guía

Para el tubo guía del mecanismo de giro ($D_e = 50 \text{ mm}$; $D_i = 48 \text{ mm}$), el momento de inercia polar se calculó como:

$$I_p = \frac{\pi}{2}(r_e^4 - r_i^4) = \frac{\pi}{2}((0,025)^4 - (0,024)^4) = 2,81 \times 10^{-7} m^4$$

El torque transmitido por el motorreductor:

$$T = \frac{HP \times 716}{RPM} = \frac{\frac{1}{8} \times 716}{5} = 17,9 \text{ kg.m} = 175,6 \text{ N.m}$$

El esfuerzo cortante máximo por torsión:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{T \times D_e}{I_p} = \frac{175,6 \times 0,05}{2,81 \times 10^{-7}} = 31,24 \text{ MPa}$$

2.4.5. Selección de Rodamientos

Los rodamientos SKF fueron seleccionados conforme a la norma ISO 281, calculando la vida nominal básica:

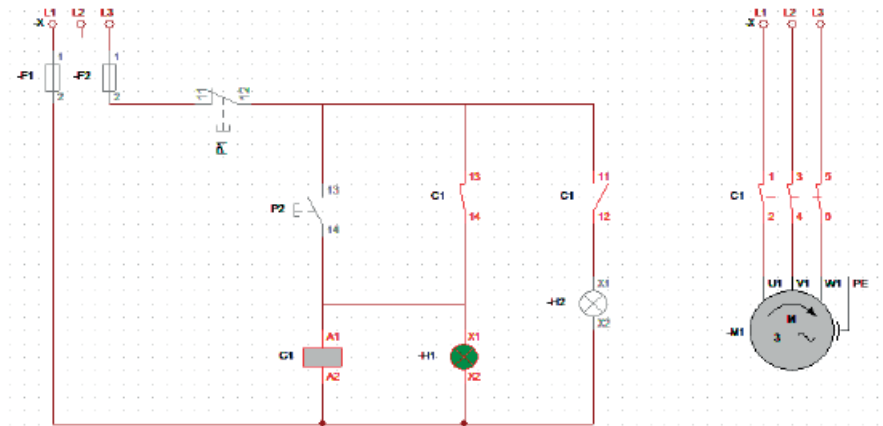
$$L_{10} = \frac{C}{P} = \frac{2,40^6 \text{ kN}}{3 \text{ kN} \cdot 10 \text{ rpm}} = 6,37 \text{ millones de rev}$$

donde $p = 3$ para rodamientos de bolas, C es la capacidad de carga dinámica básica y P la carga dinámica equivalente.

2.4.6. Sistema de control eléctrico. El circuito de control se diseñó en el software CAdE_SIMU e implementó con los siguientes componentes: un contactor electromagnético de 220 V / 32-50 A con enclavamiento (autoretenición), un breaker bifásico de 50 A, pulsadores de marcha (P2, verde, 22 mm) y paro de emergencia (P1, rojo, 22 mm), luces piloto de señalización (verde: marcha; roja: paro) y cableado flexible calibre AWG #14. La lógica de control opera de la siguiente manera: al energizar el tablero mediante el breaker, se activa la luz piloto roja (estado de reposo); al presionar P2, el contactor se enclava, activa el motorreductor y la cortadora de plasma, y conmuta la señalización a luz verde; al presionar P1, el sistema retorna al estado inicial.

Figura 2.

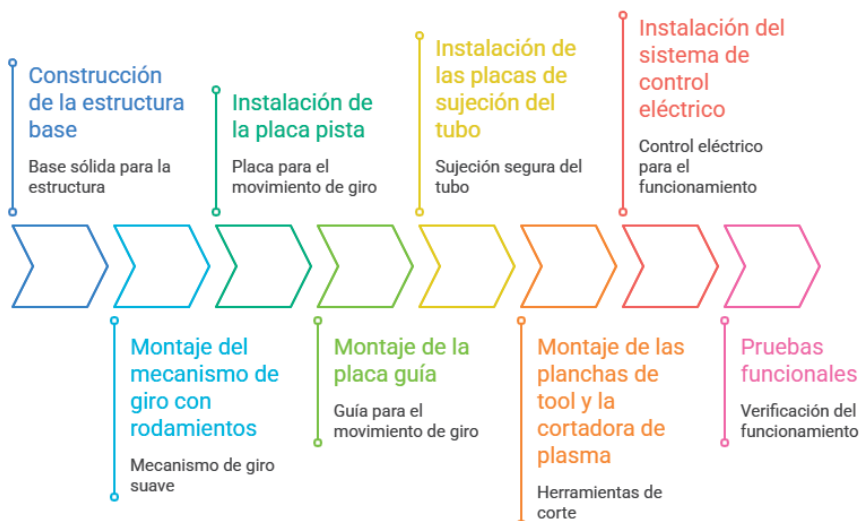
Funcionamiento del diagrama de control encendido



2.4.7. Construcción y Montaje. La fabricación siguió una secuencia de ocho pasos: (1) construcción de la estructura base; (2) montaje del mecanismo de giro con rodamientos; (3) instalación de la placa pista; (4) montaje de la placa guía; (5) instalación de las placas de sujeción del tubo; (6) montaje de las planchas de tool y la cortadora de plasma; (7) instalación del sistema de control eléctrico; y (8) pruebas funcionales. Los procesos de mecanizado de precisión (torneado y fresado) se realizaron en torno y fresadora convencionales.

Figura 3.

Proceso de construcción y montaje de la estructura y componentes.



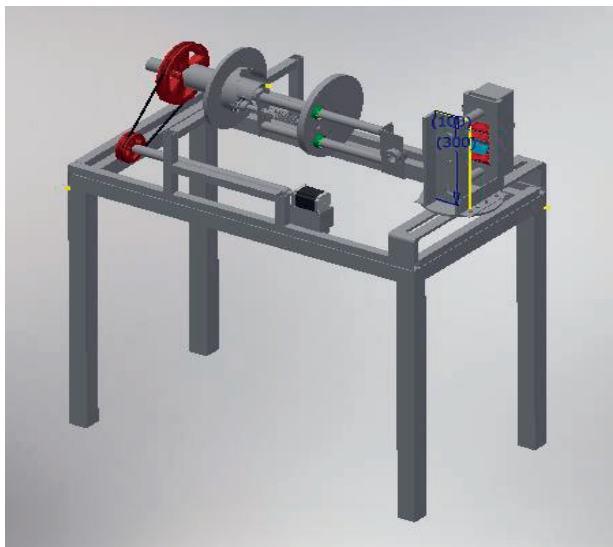
Para el proceso de ensamblaje de la estructura se empleó un tubo cuadrado de acero estructural de 30x30x3 mm, fabricado en acero ASTM A-36, mediante soldadura SMAW utilizando un

electrodo de penetración E-6011, adecuado para este tipo de estructuras. Este procedimiento garantizará una mayor resistencia en el ensamblaje de la estructura.

En la parte superior de la estructura de la mesa se soldó un tubo cuadrado que servirá como soporte para el mecanismo de giro. Sobre este soporte se fijó un tubo redondo galvanizado de 3". En el lado lateral izquierdo de la estructura se ha incorporado un tubo cuadrado como soporte para el motoreductor de ¼ de hp, el cual permitirá girar la polea. En la parte inferior se soldó una placa de 3 mm que funcionará como base para alojar la máquina de plasma, la cual estará ubicada en la parte inferior de la mesa y unida mediante soldadura, tal como se muestra en la figura 4.

Figura 4.

Montaje de los componentes en la máquina



3. RESULTADOS

Tabla 1.

Resultados de los cálculos estructurales

Parámetro calculado	Valor obtenido	Valor admisible / referencia	Verificación
Masa total sobre la mesa	245,34 kg	—	—
Peso total aplicado (W)	2 406,78 N	—	—
Reacción en apoyo A (R_A)	1 183,68 N	—	—
Reacción en apoyo B (R_B)	1 537,02 N	—	—
Momento flector máximo	355,1 N·m	—	—

Esfuerzo calculado a flexión (σ)	16 165,80 Pa	165,47 MPa	Cumple
Esfuerzo cortante por torsión ($\tau_{\text{máx}}$)	31,24 MPa	165,47 MPa	Cumple
Velocidad de salida polea conducida (n_2)	5 RPM	5 RPM (diseño)	Cumple
Relación de transmisión (i)	2	2 (diseño)	Cumple
Vida nominal rodamiento (L_{10})	6,37 kN	ISO 281	Seleccionado

3.2. Parámetros Operativos del Sistema de Corte por Plasma

Los parámetros de corte validados para la cortadora Porten PS-EC40, conforme a las especificaciones técnicas del equipo y los rangos de operación establecidos, se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 2.

Parámetros de velocidad de corte por plasma para los espesores de trabajo del prototipo.

Espesor (mm)	Distancia antorcha (mm)	Altura perforación (mm)	Velocidad corte — mejor calidad (mm/min)	Voltaje (V)	Velocidad corte — producción (mm/min)	Voltaje (V)
3	1,5	3,8	5 200	125	6 100	123
4	1,5	3,8	4 250	125	5 100	124
6	1,5	3,8	2 550	127	3 240	127
8	1,5	3,8	1 700	129	2 230	128

Las pruebas de funcionamiento confirmaron que el mecanismo de giro, accionado por el motorreductor a través del sistema de transmisión por poleas, ejecuta la rotación completa de 360° de la placa guía de manera continua y uniforme a 5 RPM. La placa guía, al seguir el perfil de la placa pista mediante el rodamiento seguidor y el resorte de compresión, transmite el movimiento de copiado a la antorcha de plasma, produciendo el corte en forma de "boca de pez" en tubos redondos de hasta 5" de diámetro. El sistema de control eléctrico operó correctamente en todas las pruebas, con enclavamiento del contactor confirmado y señalización funcional.

4. DISCUSIÓN

Los resultados de los cálculos estructurales demuestran que el diseño propuesto presenta amplios márgenes de seguridad. El esfuerzo calculado a flexión en la viga principal (16165,80 Pa) representa apenas el 0,0098 % del esfuerzo permisible del acero ASTM A-36 (165,47 MPa), lo que

indica que la estructura fue diseñada con un margen de seguridad conservador, apropiado para un prototipo de uso educativo sujeto a variaciones de carga no controladas. De manera análoga, el esfuerzo cortante por torsión en el tubo guía (31,24 MPa) se mantiene dentro del rango admisible para el material seleccionado, valor de esfuerzo cortante admisible para acero ASTM A-36 en torsión.

La velocidad de giro de 5 RPM en la polea conducida, obtenida mediante la relación de transmisión 2:1, resulta coherente con los rangos de velocidad de corte especificados para la cortadora PS-EC40 en espesores de 3 mm a 8 mm (1 700 a 6 100 mm/min), considerando el perímetro de corte de un tubo de 5" de diámetro (aproximadamente 400 mm). Este ajuste cinético es fundamental para garantizar la calidad del corte y minimizar la rebaba, en concordancia con las recomendaciones de la literatura técnica sobre parámetros de proceso en corte por plasma

5. CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó un prototipo funcional de máquina cortadora por plasma con sistema automático de giro para destajes "boca de pez" en tubos redondos de acero, con un costo total de USD 2 702,00, demostrando la viabilidad técnica y económica de la solución propuesta para el contexto de instituciones de educación técnica.
- Los cálculos estructurales confirmaron que el tubo cuadrado ASTM A-36 de 30×30×3 mm seleccionado para la estructura base presenta un esfuerzo calculado de 16 165,80 Pa, significativamente inferior al esfuerzo permisible de 165,47 MPa, garantizando la integridad estructural del prototipo bajo las cargas de operación determinadas ($W = 2\ 406,78\ N$).
- El sistema de transmisión por poleas de aluminio con relación 2:1 proporciona una velocidad de giro de 5 RPM en el mecanismo porta-antorcha, compatible con los parámetros de velocidad de corte de la cortadora Porten PS-EC40 para espesores de 3 mm a 8 mm, garantizando la calidad del corte en el rango de trabajo declarado.
- El análisis de torsión en el tubo guía del mecanismo de giro ($\tau_{m\acute{a}x} = 31,24\ MPa$) confirmó la adecuación del tubo de cédula 40 seleccionado para transmitir el torque generado por el motorreductor ($T = 175,6\ N\cdot m$) sin riesgo de falla por esfuerzo cortante.
- El diagnóstico de necesidades evidenció que el 86 % de los estudiantes encuestados carecía de experiencia en operación de máquinas automáticas de corte por plasma, validando la pertinencia educativa del prototipo como herramienta de formación práctica en procesos de manufactura automatizada.
- La validación experimental confirmó que el sistema ejecuta cortes a 360° de manera continua y reproducible, con funcionamiento correcto del sistema de control eléctrico por enclavamiento de contactor, constituyendo una plataforma de aprendizaje operativa para la carrera de Tecnología en Mecánica Industrial del ITSCT.

6. REFERENCIAS

- Beer, F. P., & Johnston, E. R. (1997). Mecánica vectorial para ingenieros: Dinámica (6.ª ed.). McGraw-Hill.
- Gere, J. M. (2006). Mecánica de materiales (6.ª ed.). Thomson Learning.
- HGG Group. (s.f.). ProCutter 600: CNC pipe cutting machine. [REQUIERE URL verificable o ficha técnica oficial]
- Hypertherm. (s.f.). Sistemas de corte y ranurado por plasma Powermax. <https://www.hypertherm.com/es/our-product-lines/powermax-plasma-cutting-and-gouging-systems/>
- Indura S.A. (s.f.). Sistemas y materiales de soldadura. [REQUIERE datos completos de publicación]
- Larburu Arrizabalaga, N. (2003). Máquinas prontuario (13.ª ed.). Thomson-Paraninfo.
- SKF Group. (2015). Catálogo de rodamientos y unidades de rodamientos SKF. SKF.