

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

PROYECTO DE TITULACIÓN:

**“Diseño y construcción de una mesa de control numérico
computarizado (CNC) para el corte por arco de plasma de planchas de
acero al carbono para la empresa Metal Imperial”**

Autores: Mediavilla Guerra Edwin Paúl
Pinos Guartamber Jorge Adrián

Director del Proyecto: Ing. Lenin Abatta Msc.



AGENDA

1.- INTRODUCCIÓN

2.- OBJETIVOS

3.- FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

4.- DISEÑO

5.- CONSTRUCCIÓN, IMPLEMENTACIÓN, PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.- CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS



Metal Imperial es una empresa dedicada al armado y montaje de estructuras metálicas, satisfaciendo las necesidades de la construcción en acero de sus clientes, con calidad y garantía. Ubicada en la ciudad de Azogues, provincia del Cañar.



METAL IMPERIAL

La empresa ofrece servicios de armado y montaje de estructuras metálicas tales como:

- Estructura metálica para casas
- Cubiertas metálicas
- Galpones
- Naves industriales

Metalmecánica en general

- Portones
- Cerramientos
- Puertas
- Mesas
- Protecciones para puertas y ventanas, etc.

Para los cortes largos del metal se emplean amoladoras con disco de metal; sin embargo, una solución más rápida y económica es el corte con arco de plasma.

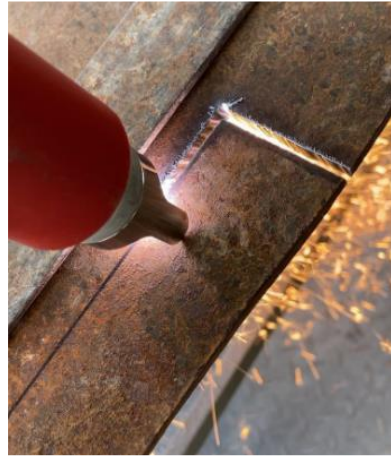


La empresa realizó la adquisición de una cortadora de plasma de la marca EVERLAST modelo POWERPLASMA 82i.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Con dicha máquina se ejecutan los cortes de planchas de acero al carbono requeridos en la ejecución de proyectos de construcciones, sin embargo, los cortes se realizan manualmente, empleando reglas o moldes, de tal forma que las únicas geometrías que se pueden realizar actualmente son líneas rectas para la formación de cuadrados, rectángulos, triángulos y círculos de un diámetro mínimo de 100 milímetros, además que el tiempo empleado para la realización de dichos cortes simples es bastante considerable, convirtiéndose en un cuello de botella en el proceso constructivo de la empresa.



La principal actividad económica de la empresa Metal Imperial es la construcción en acero, lo cual requiere realizar cortes de planchas de acero de espesores que varían entre 1 a 25 milímetros, por lo que resulta mucho más sencillo el uso o empleo de una máquina CNC ya que permitiría una mayor velocidad de trabajo e incluso una mejor precisión en los acabados de los cortes para aumentar la calidad de los productos finales.



La competencia en la localidad es mínima, haciendo que dos empresas, al ser las únicas del sector que ofertan el servicio de corte CNC por plasma, cobren un costo muy elevado por el servicio.



Con la implementación del servicio de corte CNC por plasma, la empresa Metal Imperial busca ampliar sus servicios para dar soluciones tecnológicas, inteligentes y económicas a sus clientes.



Objetivo General

Diseñar y construir una mesa de control numérico computarizado (CNC) para el corte por arco de plasma de planchas de acero al carbono para la empresa Metal Imperial.

Objetivos Específicos

- Investigar acerca de distintos controladores y softwares que permitan un mejor control del sistema, así como una interfaz de usuario amigable para simplificar el uso de la máquina por parte de cualquier operador.
- Realizar el diseño mecánico de la estructura de la mesa con un área de trabajo de 3000 x 1500 milímetros para el soporte de planchas de acero al carbono con un espesor máximo de 25 milímetros.
- Realizar el diseño del sistema de transmisión del sistema CNC para una adecuada interacción de los tres grados de libertad de la mesa.
- Implementar la tecnología IOT para visualizar de forma remota el consumo energético y la estimación de costos.
- Realizar pruebas de funcionamiento y dimensionales del sistema CNC para el corte por arco de plasma de planchas de acero al carbono.

el corte por arco de plasma es una técnica de corte que consiste en la fundición de un área localizada de una pieza de trabajo.

Ventajas



- Baja afectación por calor que sufre la pieza de trabajo.
- No necesita de precalentar la pieza de trabajo.
- Cortes a altas velocidades de avance
- Cortes de alta calidad

- El costo del equipo o fuente de plasma suele ser mucho más elevado.
- La limitación de espesor de corte.
- El lugar de trabajo donde se requiera realizar cortes debe disponer de tomas de electricidad.

Desventajas



Sistema de inhibición mediante aspiración:

- Este método consiste en un sistema de extracción de gases mediante aspiración. El sistema es colocado bajo la mesa para aspirar y desechar los gases hacia el exterior pasando por un filtro de aire.

Sistema de inhibición mediante agua:

- Este sistema emplea agua para reducir los gases. El agua es contenida en un recipiente a lo largo y ancho de la mesa, bajo las rejillas del área de trabajo, lo que facilita que los gases, polvos y sólidos que son expulsados durante el corte sean dirigidos hacia el agua.





Es una tarjeta electrónica que interpreta las instrucciones de un programa en forma secuencial y activa las funciones de la máquina para que realice determinada acción como el movimiento de los motores de cada uno de los ejes, lectura de variables a través de los sensores, accionamiento del actuador del mecanizado.



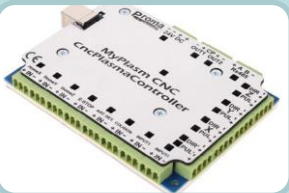
CNC NVEM Ethernet de Novusun

- Es un controlador que cuenta con 10 canales programables de salida y 12 canales programables de entrada. Permite una velocidad alta en la transmisión de datos,
- Puede ser aplicable a varias operaciones de mecanizado como router, fresadora, torno, corte por plasma.



MACH3 5 Axis CNC

- Es una tarjeta de control CNC para la conexión de 5 ejes y compatible con el software Mach3. Puede ser empleado para operaciones como el fresado, taladrado, corte por plasma.



MyPlasmCNC de Proma Interface

- Es una tarjeta controladora exclusiva para sistemas de corte por arco de plasma. Es así que puede controlar un máximo de 4 motores correspondientes a los ejes Z, X, Y e Y auxiliar.

Actuadores

Dentro de los componentes de una máquina CNC, uno de los fundamentales es el elemento que proporciona el movimiento de los ejes para el funcionamiento de la máquina.



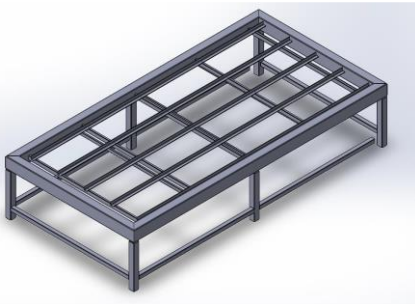
Sensores

- Inductivos
- Capacitivos
- Mecánicos

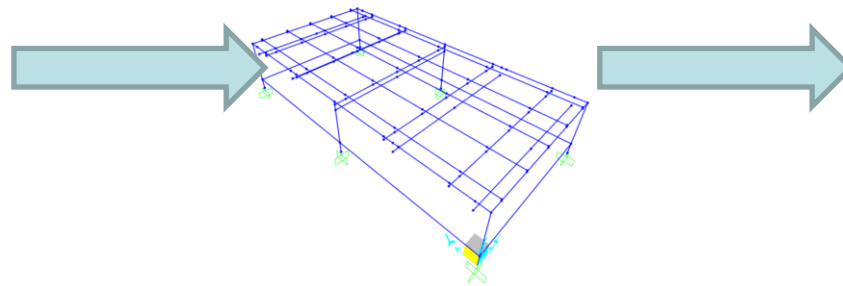


Diseño del bastidor

Alternativa de solución del bastidor de la mesa CNC elaborada en software CAD



Bastidor dibujado en software de análisis estructural



Calculo cargas

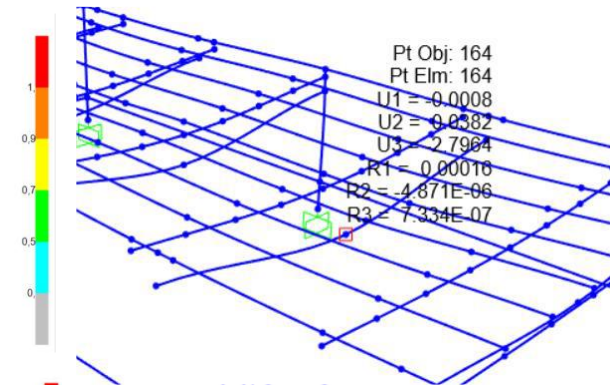
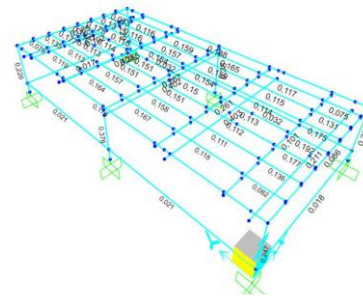
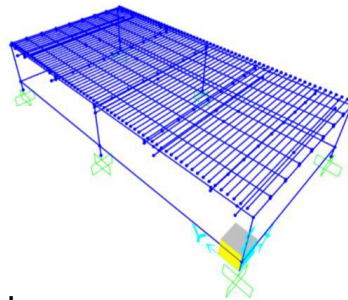
- Carga de la plancha de acero
- Carga de las platinas sobre los ángulos
- Carga de la cama de agua
- Carga del puente sobre el bastidor
- Cargas distribuidas y puntuales
- Cargas vivas o muertas



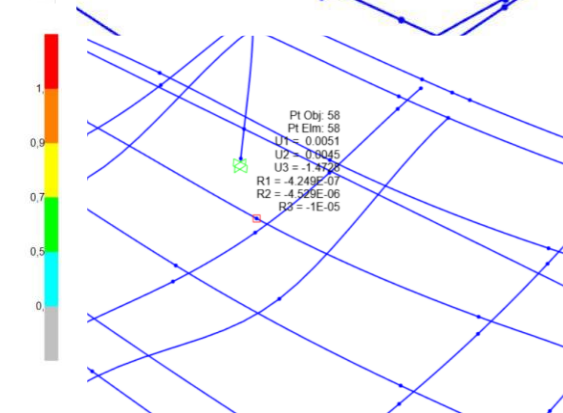
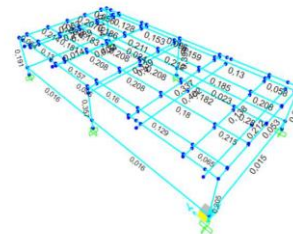
Diseño del bastidor

2 modelos donde varia el número de ángulos de soporte

Modelo 1 con 7 ángulos

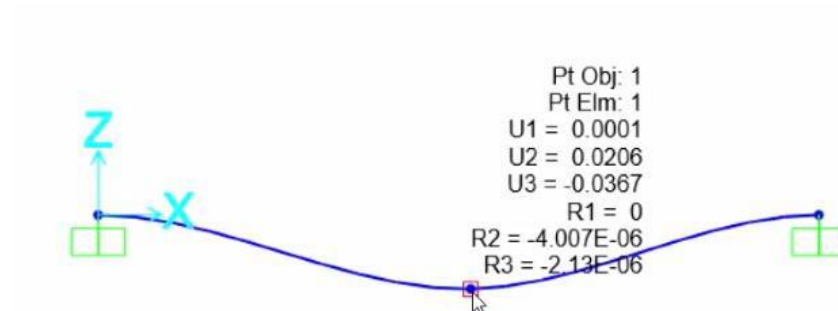
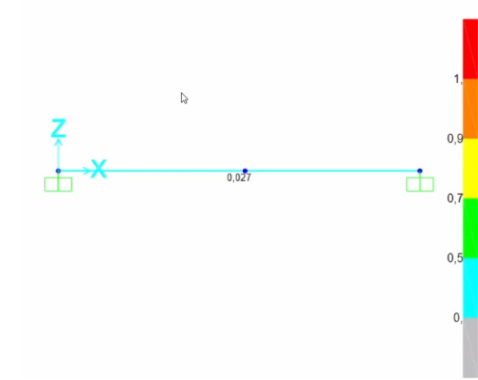
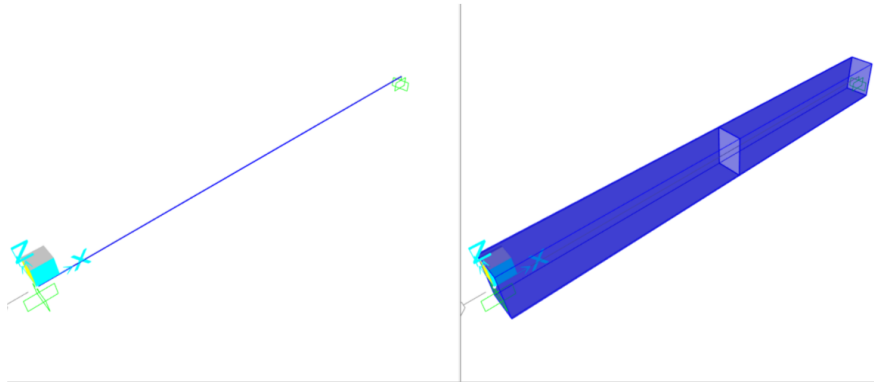


Modelo 2 con 5 ángulos



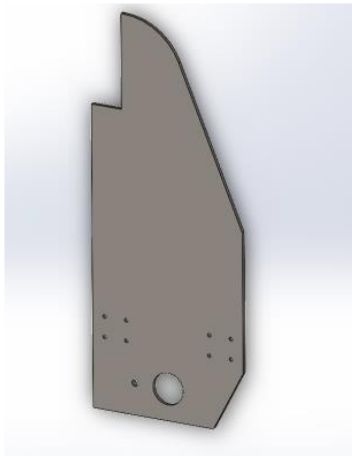
Diseño del puente

Determinación de cargas vivas o muertas, a su vez puntuales o distribuidas.

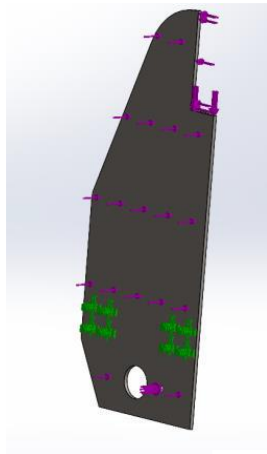


Diseño CAD y CAE de elementos para el sistema CNC

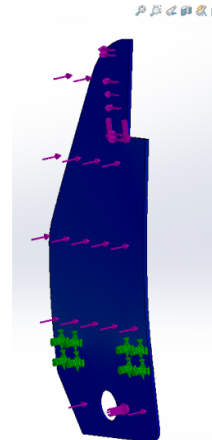
Placa de soporte del puente



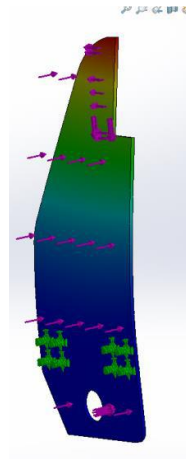
Condiciones de simulación



Tensión de von Mises



Desplazamientos



Factor de seguridad

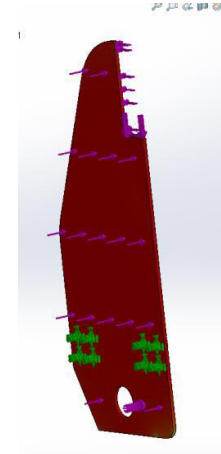
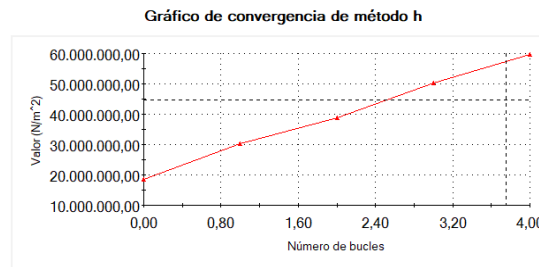


Gráfico de convergencia del método h



Criterio global: Error total de norma de energía de deformaciones unitarias relativa < 2.208%
 — Máxima tensión de von Mises

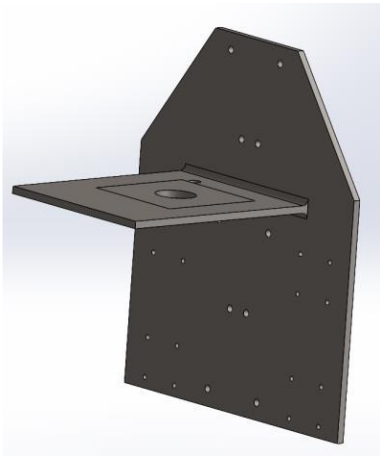
3,75286; 4,47059e+07



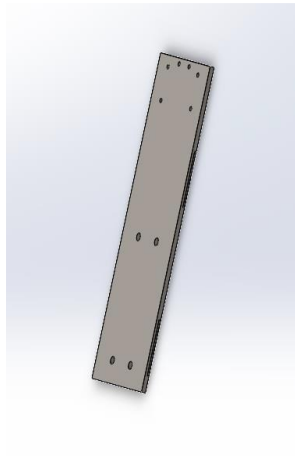
ESPE
 UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
 INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Diseño CAD y CAE de elementos para el sistema CNC

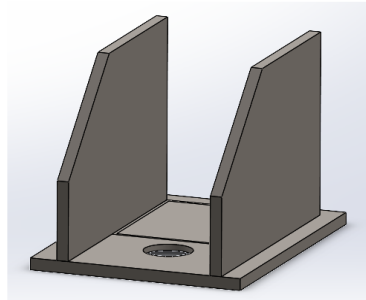
Placa del soporte principal del eje Z



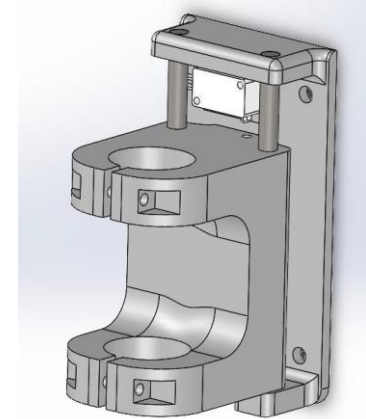
Placa del soporte secundario del eje Z



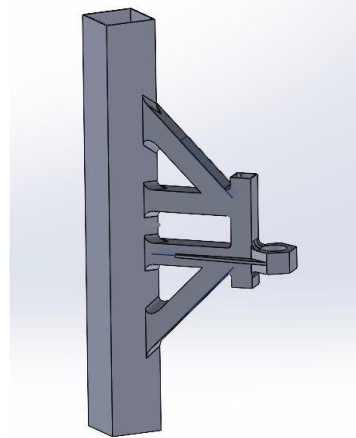
Zapatas para el bastidor



Cabezal deslizante



Mecanismo para movilizar la mesa CNC



Diseño del sistema de transmisión piñón-cremallera para el eje Y, X

Cargas a soportar

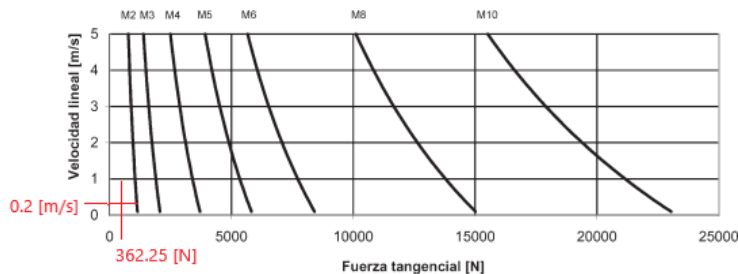
Determinación de velocidad y aceleración de trabajo de mesa CNC

Calculo de fuerza tangencial horizontal

$$F_{ht} = m * (9.81 * \mu + a)$$

$$F_{hc} = F_{ht} * K$$

Determinación de modulo necesario
m=1,5



El diámetro exterior está restringido por un espacio máximo de 35 mm.

Determinación de datos de piñón donde z=20

Se verificará la resistencia del piñón a la flexión AGMA

Factor de seguridad resultante FS=1,5

Búsqueda en catálogos y proveedores locales de piñones y cremalleras



Diseño y selección del tornillo sin fin para el eje Z

Cargas a soportar

La selección se considera el torque necesario para elevar y bajar la carga cuando es un tornillo de potencia

$$T_R = \frac{F * dm}{2} * \left(\frac{l + \pi * f * dm * \sec(\alpha)}{\pi * dm - f * l * \sec(\alpha)} \right)$$

$$T_L = \frac{F * dm}{2} * \left(\frac{-l + \pi * f * dm * \sec(\alpha)}{\pi * dm + f * l * \sec(\alpha)} \right)$$

Determinación del tipo de rosca



Adquisición de datos del mecanismo de tornillo sin fin que se pueden adquirir en el mercado

$$T_c = \frac{F * fc * dc}{2}$$

Resultados

$$T_R = 0.197 [N - m]$$

$$T_L = 0.089 [N - m]$$

Selección del motor para el eje Z

Torque máximo que se necesita para elevar o bajar la carga es de aproximadamente de 0.2 [N-m]. Se seleccionará el motor nema 23 Bipolar el cual tiene un torque de 1.26 [N-m].

Selección de guías y rodamientos lineales

Comparación HGR (guía perfilada) vs SBR (guía redonda)

Características	Guías HGR	Guías SBR
Capacidad de carga	x	
Rigidez	x	
Precisión	x	
Velocidad	x	
Montaje		x
Entornos Hostiles		x
Mantenimiento		x

Cargas que deben soportar los rodamientos

Análisis de carga estática

$$a_s = f_c * \frac{C_0}{P}$$

Factor de contacto

Número de patines por cada guía	f_c
1	1.0
2	0.81
3	0.72
4	0.66
5	0.61

Selección de un rodamiento y calculo del coeficiente de seguridad

Análisis de carga dinámica

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^3 * 50$$

$$L_h = \frac{L * 10^3}{v * 60 * 60}$$



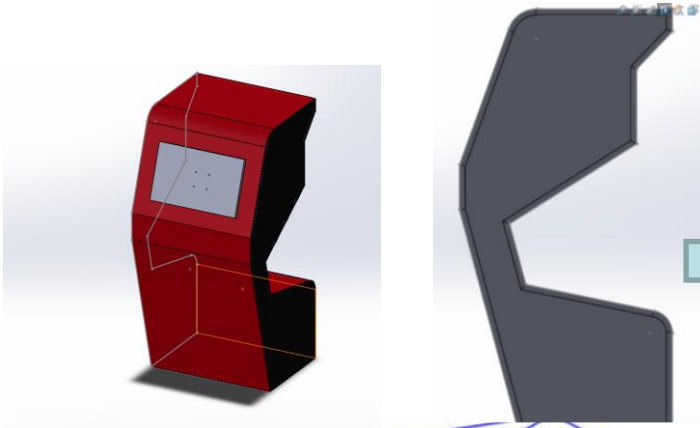
Selección del riel

Rodamiento EGH15 SA
Guía EGR15U

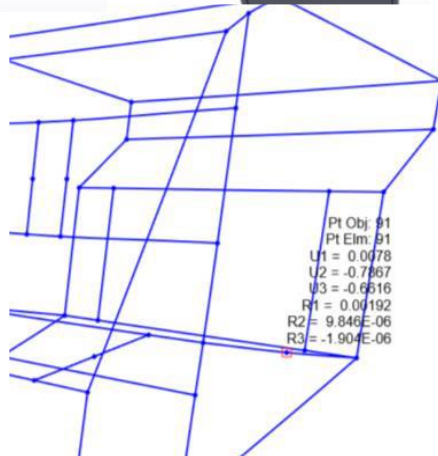
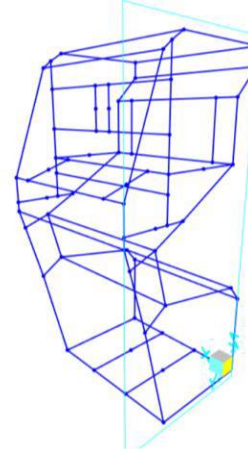


Diseño de la estructura del gabinete

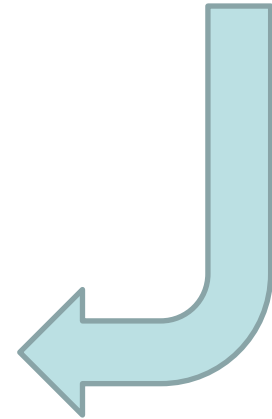
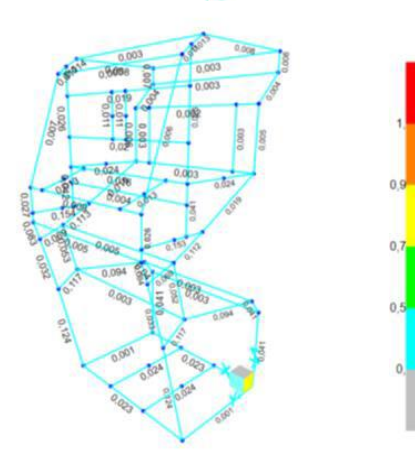
Modelo CAD del gabinete



Estructura del gabinete en el software de análisis estructural



Aplicación de cargas y simulación



Sistema de control

MyPlasmCNC



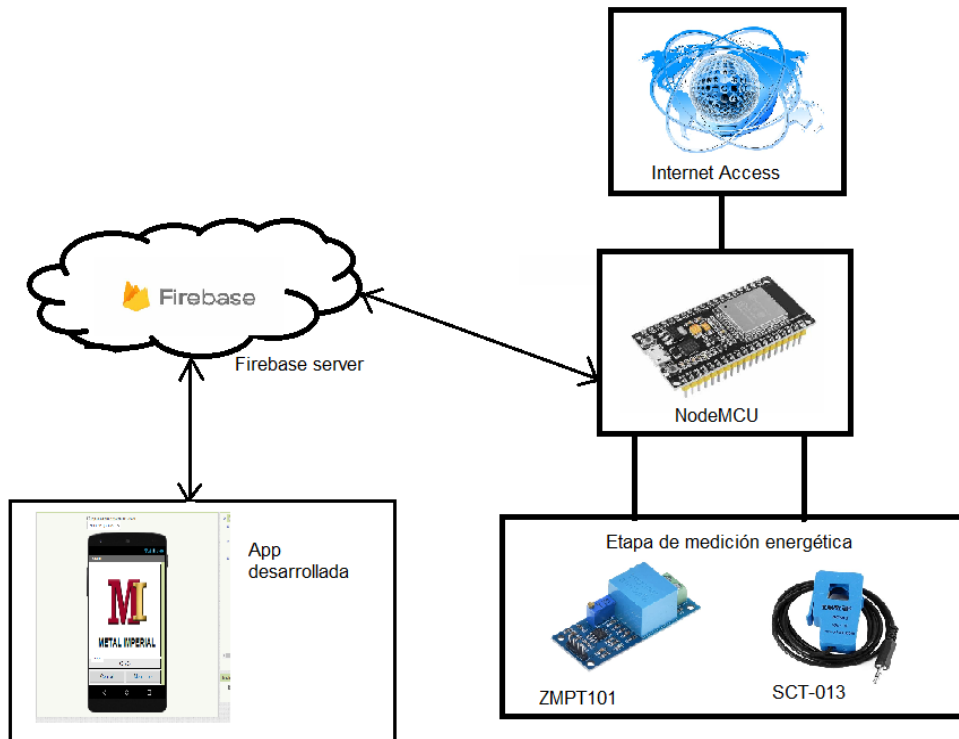
Este sistema es que específico para el control de máquinas de corte por plasma, además que permite una fácil manipulación e interacción del usuario porque no se necesita de conocimientos avanzados en programación, y en el kit incluye el controlador de movimiento, el controlador THC o de altura, contiene un módulo de MyMiniCad para la creación de dibujos sencillos para evitar la compra e instalación de softwares externos cuando se trata de figuras sencillas, pero en el caso de geometrías más complejas se puede emplear una herramienta CAD/CAM e importar la trayectoria deseada.

Drivers para los motores



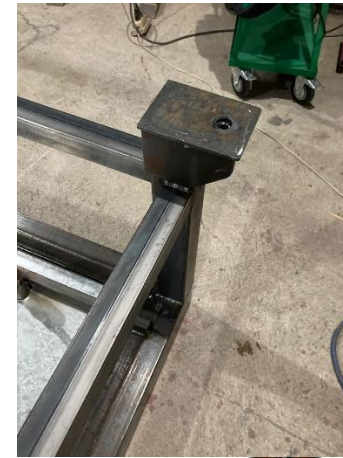
Este driver es un controlador de motor paso a paso, el cual permite que el motor funcione suavemente y casi sin ruido y ni vibración, tiene un alta precisión de posicionamiento y se lo emplea en su gran mayoría en equipos o dispositivos de control numérico de dimensiones medianas o grandes.

Sistema IoT

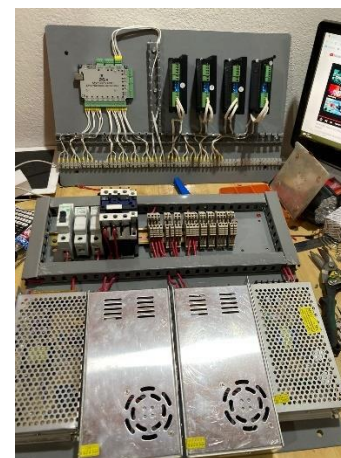


Componentes	Cantidad
Placa ESP32	1
Sensor de voltaje AC ZMPT101B	1
Sensor de corriente SCT-013	2
Resistencias 10K	4
Resistencias 100 ohm	2
Capacitor 10 uF	2

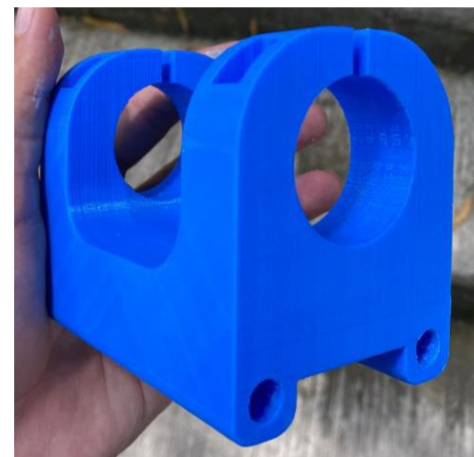
Bastidor



Gabinete



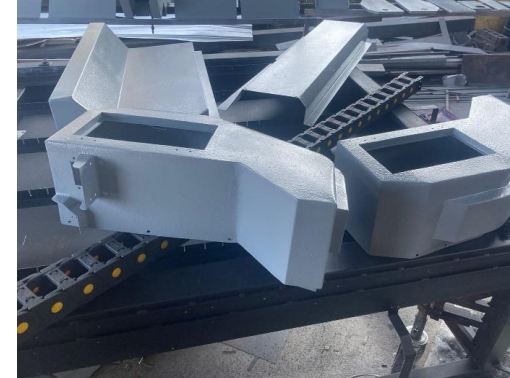
Elementos para el sistema CNC



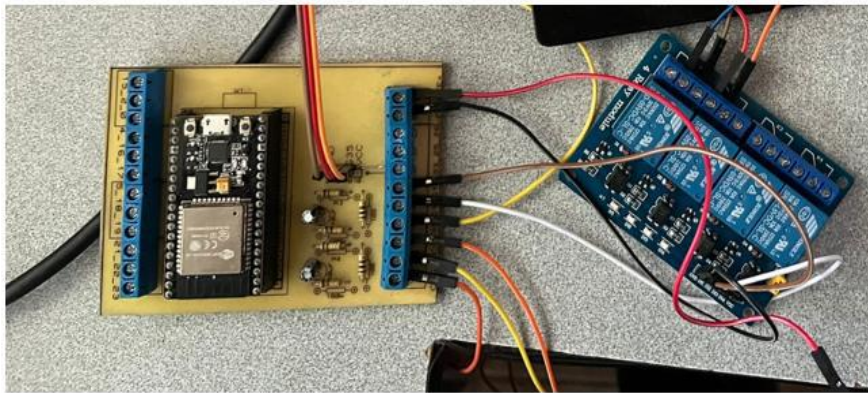
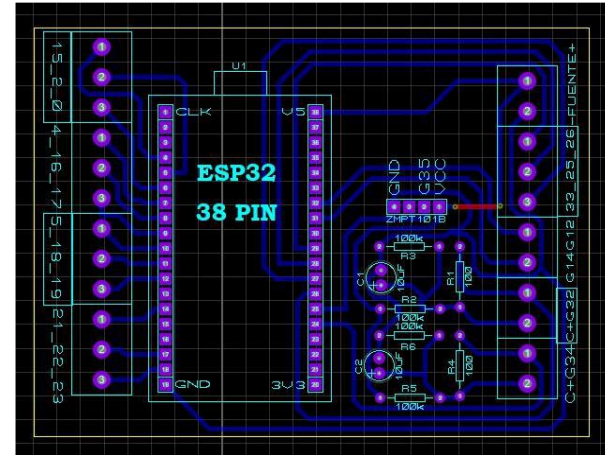
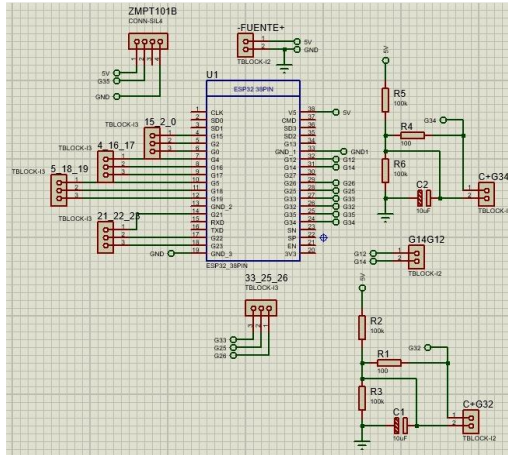
Construcción del puente y anclaje de guías lineales y cremalleras



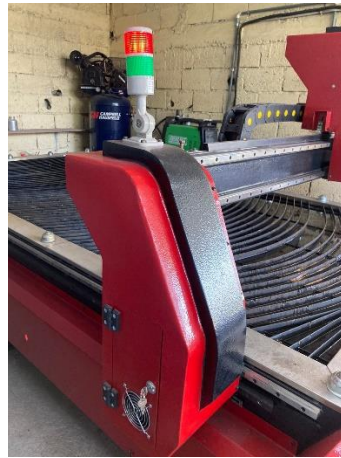
Latonería de la máquina



Sistema IoT



Montajes



Montajes



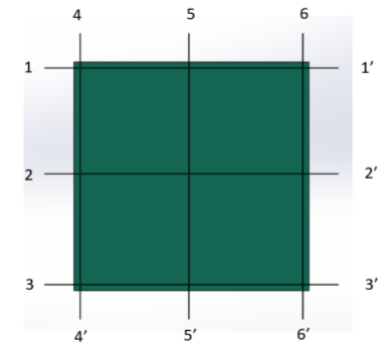
Pruebas

Recomendación de parámetros de corte dependiendo del espesor de placa

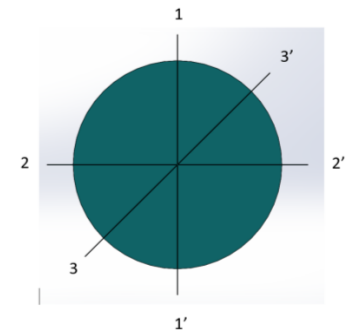
Espesor del material mm	Altura de la antorcha mm	Inicio de la pieza mm	Velocidad de corte mm/min	Voltaje V	
3	1,5	3,8	5200	125	
4			4250	125	
6			2550	127	
8			1700	129	
10		4,5	6	1100	131
12				850	134
16		Inicio de borde	Inicio de borde	560	138
20				350	142
25				210	145

Parámetros de corte dependiendo del espesor de placa

Espesor del material mm	Altura de la antorcha mm	Inicio de la pieza mm	Velocidad de corte mm/min	Voltaje V	
4	1,5	3,8	3500	110	
6			2550	107	
10		4,5	6	1000	107
12				750	107
25		Inicio de borde	Inicio de borde	108	120



Medición de cuadrados



Medición de círculos

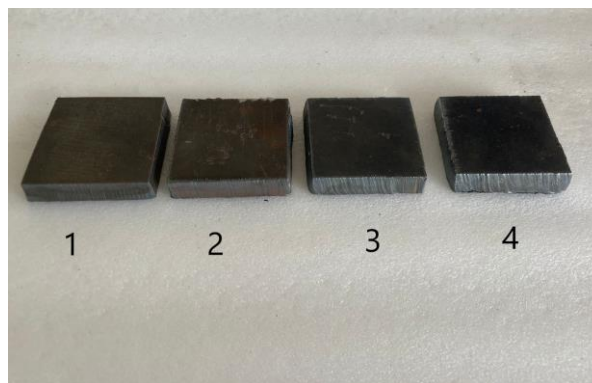
Prueba 1

Recomendación de parámetros de corte dependiendo del espesor de placa

Corte Nro.	Dimensión [mm]	Medición [mm]					
		1	2	3	4	5	6
1	50	50.2	50.2	50.3	50.25	50.2	50.2
2		49.9	50.0	50.05	50.1	49.9	49.9
3		50.1	50.2	50.2	50.1	50.1	50.15
4		50.15	50.1	50.2	50.15	50.0	49.9

Precisión = ± 0.118 [mm]

Exactitud = 0.106

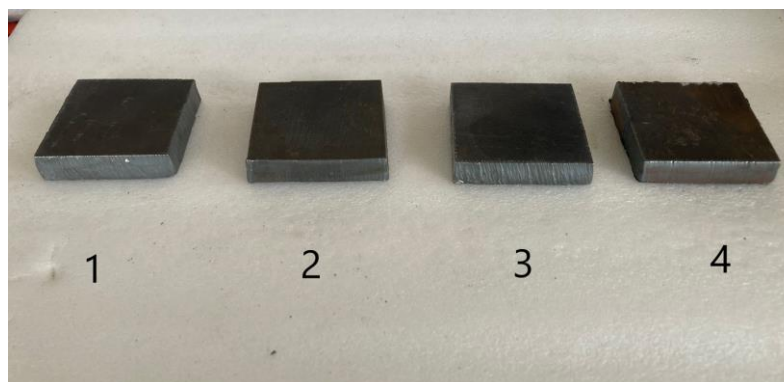


Prueba 2

Corte Nro.	Dimensión [mm]	Medición [mm]					
		1	2	3	4	5	6
1	50	50.05	50.00	50.1	50.15	50.05	49.9
2		50.1	50.1	50.15	50.05	49.95	49.0
3		50.3	50.25	50.3	50.15	50.2	50.3
4		50.05	50.15	50.10	49.9	50.3	50.2

Precisión = ± 0.25 [mm]

Exactitud = 0.075



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Prueba 3

Cuadrados

Corte Nro.	Dimensión [mm]	Medición [mm]					
		1	2	3	4	5	6
1	25	25.2	25.2	25.3	25.25	25.2	25.3
2	50	50.4	50.25	50.3	50.2	50.2	50.4
3	75	74.8	74.8	74.85	75.1	75.1	75.2
4	100	100.2	100.1	99.9	100.1	100.2	99.8

Corte Nro.	Dimensión [mm]	Precisión	Exactitud
1	25	± 0.049	0.2416
2	50	± 0.091	0.2916
3	75	± 0.1781	0.025
4	100	± 0.164	0.05



Prueba 3

Círculos

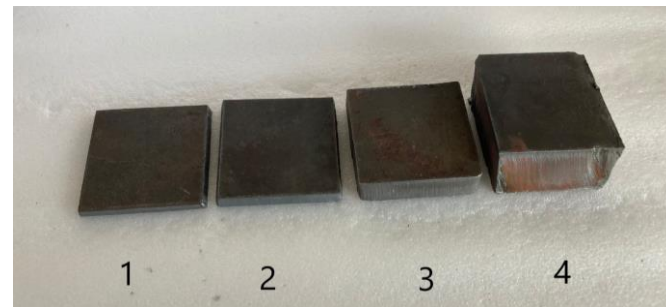
Corte Nro.	Dimensión [mm]	Medición [mm]		
	mm	1	2	3
1	25	24.8	24.7	24.9
2	50	50.1	50.1	50.3
3	75	74.6	74.7	74.7
4	100	99.7	99.8	99.75

Corte Nro.	Dimensión [mm]	Precisión	Exactitud
1	25	± 0.1	0.2
2	50	± 0.11	0.16
3	75	± 0.057	0.33
4	100	± 0.05	0.25



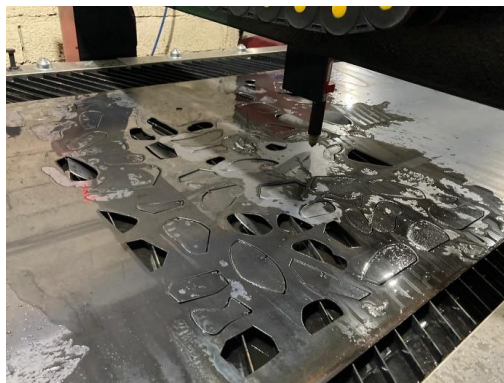
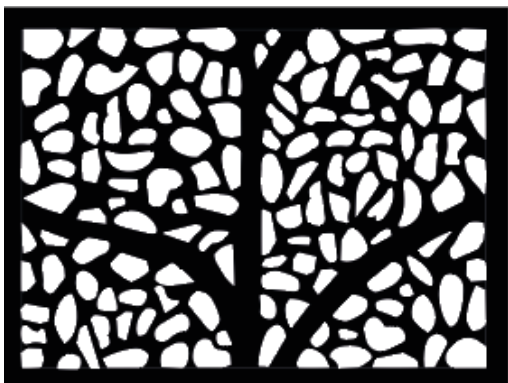
Prueba 4

Corte Nro.	Espesor [mm]	Medición [mm]					
		1	2	3	4	5	6
1	4	50.2	50.1	50.15	50.05	50.1	50.2
2	6	50.3	50.3	50.2	50.15	50.3	50.2
3	12	50.2	50.1	50.2	50.15	50.15	50.2
4	25	50.35	50.05	50.2	50.1	49.9	50.05



Corte Nro.	Espesor [mm]	Precisión	Exactitud
1	4	± 0.06	0.13
2	6	± 0.066	0.25
3	12	± 0.04	0.16
4	25	± 0.15	0.11

Ejecución de proyecto constructivo comercial



Ejecución de proyecto constructivo comercial



Pruebas del sistema IoT



Variables

Costos	
0.83	\$
Corriente L1	
43.74	mA
Corriente L2	
240.62	mA
Potencia	
9021.9	Wh

Base de datos Tesis CNC

Ir a la documentación

Realtime Database

Datos Reglas Copias de seguridad Uso

<https://base-de-datos-tesis-cnc-default-rtdb.firebaseio.com>

```
https://base-de-datos-tesis-cnc-default-rtdb.firebaseio.com/  
├── 1  
│   ├── CorrienteL1: "2835.9"  
│   ├── CorrienteL2: "1968.8"  
│   ├── Costo: "0.04"  
│   ├── Potencia: "408.7"  
│   └── Voltaje: "229.1"  
├── 2  
├── 3  
└── 4
```

Ubicación de la base de datos: Estados Unidos (us-central1)

Aplicaciones del corte plasma



Presupuesto

SUBTOTAL Nro.	Valor
S. Mecánico	2268,84
S. eléctrico	1898,35
S. informático	51
Equipos	1773
Mano de Obra	1064
Diseños	1489,6
Total	8544,79



Diseño e implementación

Dar Clic para ver el video

https://drive.google.com/file/d/1eq5okovgUHsidSjVNPpdP9VEELA6ILIG/view?usp=share_link



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

La máquina se diseñó en base a tres ejes: longitudinal (Y) con una carrera de 3050 milímetros, transversal (X) con una carrera de 1550 milímetros y vertical (Z) con una carrera de 280 milímetros, lo que permite montar sobre la mesa planchas de acero de medidas estándares de 1500x3000 milímetros y planchas comerciales de 1220x2440 milímetros de un espesor máximo de 25 milímetros. Además, la gran apertura del eje vertical permite realizar cortes sobre perfiles estructurales de hasta 250 milímetros de altura.

El diseño mecánico de todos los componentes de la máquina se realizó basado en una tecnología modular, de tal forma que todas las partes son empernadas y desmontables para ser reemplazadas fácilmente cuando se lo requiera. Aplicar este criterio en la construcción de la máquina facilitó su ensamblaje ya que la mayoría de piezas eran fácilmente manipulables, pequeñas y livianas

El programa de computador MyplasmCNC es el software, que, mediante su tarjeta electrónica, controla la máquina de corte por plasma. Es un entorno fácil de usar, lo que permite a personas sin conocimientos avanzados de programación operar el sistema con la mayor seguridad y comodidad posible. Este software, además, permite la conexión inalámbrica con un joystick o gamepad para controlar los movimientos de la máquina a distancia como si se tratara de un control remoto. Esta aplicación resulta de gran ayuda para poder ubicar la antorcha en cualquier punto deseado en la mesa de trabajo mientras el operador se desplaza alrededor de la máquina. El sistema permite la realización de cortes de forma manual en dirección longitudinal, transversal y diagonal, la implementación de gamepad facilita esta tarea.

Se diseñó el sistema de transmisión de los ejes X, Y e Y auxiliar con cremalleras y piñones helicoidales a motivo que estos brindan un menor ruido al momento de su funcionamiento y a su vez reducen la vibración que se puede generar en el sistema para así lograr una mayor precisión y exactitud en los cortes.



La cama de agua implementada en la máquina inhibe en su totalidad la presencia de humo producto del corte por arco de plasma evitando así la contaminación del ambiente y manteniendo la limpieza de la máquina. Además, el nivel de la cama de agua al estar un centímetro por debajo de la pieza de trabajo evita que la misma sufra deformaciones indeseadas por la exposición al calor como el pandeo o torcedura de la plancha; se pudo verificar que la cama de agua es un excelente refrigerante ya que las planchas cortadas en todo momento se mantuvieron a temperatura ambiente durante y después del corte.

La máquina permite el corte de figuras de geometría compleja, por lo cual, la empresa Metal Imperial, desde el primer día en que fue entregada la máquina, ha logrado ofrecer un nuevo servicio al mercado local, el servicio de corte CNC plasma. Siendo sus primeros trabajos, contratos o proyectos la realización de un cerramiento, balcón y puerta con diseño personalizado tipo celosía. Esto evidencia claramente que la máquina construida satisface, a plenitud, las necesidades y expectativas de la empresa auspiciante y desde el inicio de su entrega comienza el retorno de la inversión.

Se diseñó y construyó de una mesa de control numérico computarizado (CNC) para el corte por arco de plasma de planchas de acero al carbono donde la precisión de todo el sistema se encuentra en un valor de 0.109 mm y a su vez la exactitud del sistema tiene un valor de 0.17 mm, lo cual permite establecer que el sistema brinda una gran confiabilidad para cortes en cualquier geometría.

Se realizó distintas pruebas donde se sometió a la mesa de control numérico computarizado (CNC) para el corte por arco de plasma de planchas de acero al carbono a distintas situaciones como lo son distintas geometrías, distintos espesores, distintas dimensiones y distintas posiciones de colocación de las placas, no tuvo problemas en funcionar a toda su capacidad donde incluso se verificó que se cumpla uno de los alcances de la empresa el cual era cortes en placas de 25 mm y no presentó ningún inconveniente, a su vez en cada uno de los cortes realizados observó una calidad de acabado superficial muy alto.



Se implementó el sistema IoT para el monitoreo de variables, el cual consta de la medición de voltaje y corriente, lo cual en cualquier dispositivo móvil con sistema operativo Android que tenga instalado nuestra aplicación podrá observar en tiempo real el costo de corte, la corriente que consume la mesa CNC y el consumo eléctrico en Wh.

Se evaluó con el monitoreo de la variables en el sistema CNC que realizar este proceso de manufactura no es muy elevado en costos ya que en una hora de trabajo aproximadamente el costo eléctrico no supera un dólar, lo cual es beneficioso para la empresa y permite ser más competitivos con otras que ofrecen el mismo servicio.

Una vez concluido el proyecto de tesis se proponen algunas ideas que surgieron durante el desarrollo del proyecto

Implementar el cuarto eje o eje rotativo para realizar cortes en tuberías cuadradas, rectangulares y redondas con el fin de diversificar los servicios de Metal Imperial ya que en la localidad ninguna otra empresa dispone de dicho servicio. El software MyplasmCNC permite la implementación del eje rotativo y la máquina ya dispone de las conexiones eléctricas necesarias para dicho eje.

Implementar un sensor de anticolidión de la antorcha para evitar daños en la misma cuando ésta impacte con algún objeto durante su trayectoria a altas velocidades. La máquina dispone ya de las conexiones eléctricas para esta implementación.

Implementar motorreductores en los motores del eje Y y eje X para evitar la posible pérdida de pasos durante los cambios bruscos de dirección o sentido. Se recomienda usar motorreductores planetarios de relación 5:1.

Implementar un monitoreo de vigilancia por medio de cámaras y a su vez un modo de control de encendido y apagado de la mesa CNC por medio de la tecnología IoT.

Cambiar de base de datos a una privada que permita un mejor manejo con los datos en la plataforma ya que FireBase es una gran herramienta gratuita que permite almacenar la información y es muy adecuada, pero es muy restringida en el manejo de datos por lo cual es necesario emplear otros programas.



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

PROYECTO DE TITULACIÓN:

“Diseño y construcción de una mesa de control numérico computarizado (CNC) para el corte por arco de plasma de planchas de acero al carbono para la empresa Metal Imperial”

Autores: Mediavilla Guerra Edwin Paúl
Pinos Guartamber Jorge Adrián

Director del Proyecto: Ing. Lenin Abatta Msc.

