


UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS" - FACULTAD TECNOLÓGICA		
PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA		
FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO		
Nº DE RADICACIÓN: _____		
INFORMACIÓN EJECUTORES		
<b>Ejecutor 1</b>		
Nombre (s):	Sergio Alejandro	
Apellido (s):	Rodriguez Bonilla	
Código:	20112375037	
E-mail:	alejandro_6419@hotmail.com	
Teléfono fijo:	2389067	
Celular:	3134760162	
<b>Ejecutor 2</b>		
Nombre (s):		
Apellido (s):		
Código:		
E-mail:		
Teléfono fijo:		
Celular:		
INFORMACIÓN DEL PROYECTO		
Título del Proyecto:	Automatización de un equipo portátil de corte por arco de plasma.	
Duración (estimada):	8 meses	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")	Innovación y Desarrollo Tecnológico	<input checked="" type="checkbox"/>
	Prestación y Servicios Tecnológicos	<input type="checkbox"/>
	Otro	<input type="checkbox"/>
Modalidad del Trabajo de Grado:	Proyecto de grado	
Línea de Investigación de la Facultad*:	Optimización de procesos industriales	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:	Diseño en ingeniería mecánica	
Grupo de Investigación:	Grupo DISING	
Proyecto de Investigación:		
Áreas del conocimiento que involucra:	Diseño, Automatización industrial	
INFORMACIÓN PASANTÍA		
Nombre de la empresa:		
Dirección:		
Teléfonos:		
Correo electrónico:		
Página Web:		
INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA		
Director: (Vo. Bo.)	Ing. John Alejandro Forero Casallas M.Sc.	
Proyecto de Pasantía: (Tutor): (Vo. Bo.)		
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.)	Ing. John Alejandro Forero Casallas M.Sc.	

## Tabla De Contenido

Resumen .....	4
Introducción .....	5
1. Planteamiento del problema .....	6
1.1. Estado del Arte.....	6
1.2. Justificación .....	13
2. Objetivos.....	14
2.1. Objetivo general.....	14
2.2. Objetivos específicos .....	14
3. Marco Teórico.....	15
3.1. Características del equipo portátil de corte por arco de plasma .....	15
3.2. Otros procesos de corte de metales.....	15
3.2.1. Corte por Cizalla.....	15
3.2.2. Proceso de Oxiacetileno .....	16
3.2.3. Corte por rayo Láser .....	17
3.3. Máquinas automatizadas.....	18
4. Metodología.....	21
4.1. Diseño conceptual.....	21
4.2. Diseño mecánico.....	21
4.3. Diseño eléctrico y electrónico.....	21
4.4. Diseño de software.....	21
4.5. Fabricación e integración de cada uno de los subsistemas diseñados.....	21
4.6. Estudio de capacidad del proceso del sistema.....	21
4.7. Documentación .....	21
5. Cronograma.....	22
6. Presupuesto y fuentes de financiación.....	23
6.1. Costo estimado .....	23
6.1.1. Recursos humanos.....	23
6.1.2. Materiales y suministros .....	24
6.1.3. Recursos de hardware.....	24
6.1.4. Recursos de software .....	24
6.1.5. Insumos, fungibles y gastos.....	25
6.1.6. Resumen de costos .....	25
7. Bibliografía.....	26

## Índice de Figuras

<i>Fig. 1 Hitos en la historia del corte por arco de plasma.....</i>	<i>7</i>
<i>Fig. 2 Distribución del voltaje en diferentes zonas del arco. ....</i>	<i>7</i>
<i>Fig. 3 Variación de la altura de la antorcha. ....</i>	<i>8</i>
<i>Fig. 4 Posición entre el sensor y la antorcha. ....</i>	<i>8</i>
<i>Fig. 5 Diagrama de bloques para el control de seguimiento de la altura de la antorcha de corte.....</i>	<i>9</i>
<i>Fig. 6 Conexiones del control de movimiento. ....</i>	<i>10</i>
<i>Fig. 7 Estructura del sistema de software SmartPC. ....</i>	<i>11</i>
<i>Fig. 8 Mesa de plotter para la creación de placas de circuito impreso.....</i>	<i>11</i>
<i>Fig. 9 Circuito de potencia del plotter ....</i>	<i>12</i>
<i>Fig. 10 Pantalla principal del programa de control de CNC Mach3.....</i>	<i>13</i>
<i>Fig. 11 Corte por cizalla. ....</i>	<i>16</i>
<i>Fig. 12 Temperaturas alcanzadas en la flama neutral de un soplete de oxiacetileno. ..</i>	<i>17</i>
<i>Fig. 13 Maquinado por haz láser (LBM) .....</i>	<i>18</i>
<i>Fig. 14 Flujo de corriente de la información en la cadena de mecanizado CNC.....</i>	<i>20</i>

## Índice de Tablas

<i>Tabla 1 Cronograma de actividades del proyecto .....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 2 Costo recursos humanos .....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 3 Costo materiales y suministros .....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 4 Costo hardware .....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 5 Costo software.....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 6 Insumos, fungibles y gastos .....</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 7 Resumen de costos proyecto .....</i>	<i>25</i>

## **Resumen**

Los desarrollos tecnológicos que permiten optimizar los procesos de manufactura, están constantemente aportando resultados a la industria; eliminar las causas que promueven las fallas y accidentes en los procesos es una de los principales objetivos. Con este proyecto se pretende hacer uso de los medios con los que puede disponer una empresa del sector metalmecánico, para lograr adecuar un sistema automatizado de corte por arco de plasma, a partir de un kit CNC y el equipo portátil de corte por arco de plasma.

Con esto se pretende contribuir en el sector industrial, a una empresa que tiene la disposición de mejorar uno de sus procesos en el que ha detectado problemas y también una gran oportunidad de obtener beneficios adicionales; además de tener la oportunidad de poner en práctica conocimientos en áreas específicas, vistos en el tiempo de formación para obtener el título profesional de ingeniero mecánico.

## Introducción

El interés por optimizar los procesos industriales para obtener beneficios que se ven reflejados en rendimiento, calidad y costos, es algo que actualmente se da en Colombia, así como en otros países de Latinoamérica; se evidencia una transición por la que pasa la industria de la manufactura, con el fin de lograr la implementación de tecnología de punta en sus procesos; la automatización de máquinas es uno de los medios a los que recurren las empresas para mejorar el funcionamiento de sus etapas de fabricación y sin tener que reemplazar por completo los equipos con que cuentan, como maquinaria industrial de alto rendimiento y herramientas para trabajos exigentes. Para el procesamiento de las diferentes materias primas, se invierte una gran cantidad de energía, y cuando los equipos utilizados no son los adecuados o la persona que los opera no tiene la capacitación necesaria o en su defecto la experiencia, pueden ocurrir problemas que pueden llegar a costar la vida de un ser humano.

En la revolución industrial a mediados del siglo XVIII, el concepto de producción adquiere fuerza a nivel mundial y con este se derivan otros como los son: calidad, cantidad, competencia, tiempos y más adelante seguridad y salud del trabajador, todo esto relacionado con las actividades económicas de cada una de las fábricas que esperaban alcanzar el liderazgo con sus productos. Gracias a esto se impulsó la investigación, y el desarrollo de nuevas tecnologías, en la actualidad podemos contar con un amplio número de dispositivos diseñados para dar soluciones a las necesidades de los diferentes tipos de clientes y empresarios; que podrán acceder al producto que más se ajuste de acuerdo a su capacidad económica.

En el caso que se está planteando se espera automatizar el proceso de corte por arco de plasma, aprovechando los medios que estén disponibles en el ámbito nacional, ya sean físicos o recursos humanos, para alcanzar el objetivo propuesto en los tiempos estimados.

## **1. Planteamiento del problema**

El proceso de corte por arco de plasma tiene diferentes aplicaciones, una de las más comunes es cuando se emplea sobre superficies planas, más específicamente en láminas metálicas con espesores que pueden llegar hasta los 150 mm. Su ventaja frente a otros procesos de corte se puede apreciar con facilidad en aspectos como la calidad de corte, la velocidad de avance, los espesores de lámina entre otros.

Cuando se usa un equipo portátil de corte por arco de plasma los factores que pueden afectar el proceso se multiplican, a comparación de un proceso automatizado o semiautomático, esto repercute en deficiencia de calidad y posibles problemas en la salud del operario, que está expuesto directamente a la radiación, al ruido, a los rayos del arco, a vapores tóxicos y al riesgo de descargas eléctricas. Además el operario debe ser una persona con habilidad y experiencia para garantizar un producto terminado de calidad aceptable.

Entre las funciones que debe realizar se destacan las siguientes:

- Se encarga de definir una geometría sobre la pieza de trabajo.
- Programar y ajustar el equipo de corte de acuerdo a las condiciones de la pieza.
- Cortar, para esto debe guiar y accionar la antorcha sobre el trazo apoyándose en elementos guía como reglas y compases.

Es evidente que este proceso llevado a cabo de esta forma no es el ideal y que si existe la posibilidad de resolver estos inconvenientes, por medio de un control automatizado, se debería proceder.

En este caso se plantea adaptar un equipo convencional de corte por arco de plasma, a un sistema de control CNC, que permitirá desarrollar operaciones de corte en láminas de acero a partir de archivos en formatos CAD. Con esto se mejorarán aspectos como el bienestar del operario, calidad de las piezas y tiempos de operación.

### **1.1. Estado del Arte**

El corte por arco de plasma (PAC) es una tecnología que se ha desarrollado desde la década de 1950 (ver Fig.1), simultáneamente con los procesos de soldadura. El proceso de corte se da a partir del arco que se genera entre dos electrodos por la influencia de una diferencia de potencial entre ellos, se usa una atmósfera de argón, nitrógeno o aire comprimido para guiar un chorro de plasma que actúa sobre materiales conductores de la electricidad. Acero inoxidable, acero al manganeso, aleaciones de titanio, cobre, magnesio, hierro fundido y aluminio con sus aleaciones [1], en general metales no ferrosos, acero inoxidable y acero al carbón, que son cortados por la alta temperatura del arco de plasma altamente comprimido y la erosión mecánica generada por la alta velocidad del chorro de plasma. Esta tecnología es ampliamente utilizada en la industria de construcción naval y la fabricación de maquinaria [2].

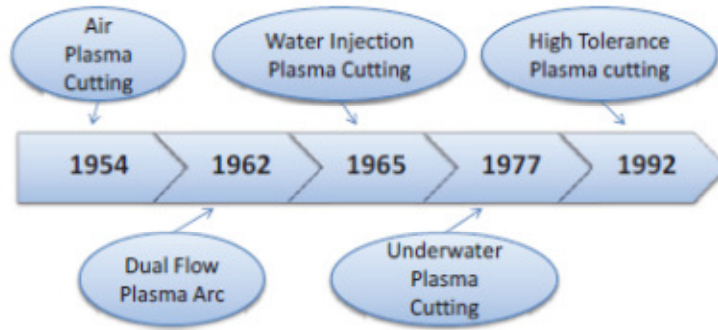


Fig. 1 Hitos en la historia del corte por arco de plasma.

Fuente[1].

El gas se calienta a temperaturas cercanas a los  $50000^{\circ}\text{C}$  y la temperatura que se alcanza en la pieza de trabajo puede variar entre los  $10000^{\circ}\text{C}$  y  $30000^{\circ}\text{C}$ , suficiente para fundir el metal que puede tener espesores hasta de 150mm con unidades de plasma hasta de 1000 Amperios.

El proceso de corte con arco de plasma se puede definir como un proceso no lineal, ya que tiene propiedades que cambian con el tiempo; entre la lista de las principales variables que afectan el proceso tenemos el tipo de gas, el flujo de gas, el material de corte, la velocidad de avance de la boquilla, la separación entre la boquilla y la pieza de trabajo y el suministro de energía; es difícil plantear un modelo matemático que describa las características de corte, pero gracias a los avances en electrónica, informática e inteligencia artificial se han podido plantear una serie de soluciones por medio de sistemas de control, que se basan en algoritmos de cuantificación difusa, acoplamiento multipárametros y redes neuronales PID.

Cuando se espera tener un mejor acabado (ondulación) se debe controlar la precisión en estado estacionario y el desempeño dinámico del sistema simultáneamente. La calidad de corte es determinada por el voltaje de corte cuando se descarga el arco entre los dos electrodos (ver Fig.2), la intensidad del campo eléctrico es desigual a lo largo de la dirección de la longitud de arco [2].

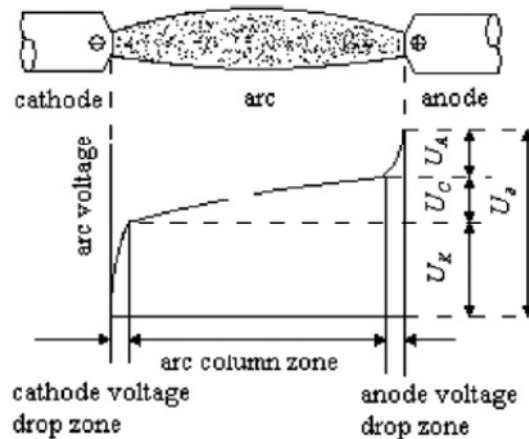


Fig. 2 Distribución del voltaje en diferentes zonas del arco.

Fuente[2].

La altura de la boquilla se ajusta de acuerdo al espesor de la pieza de trabajo, este es uno de los aspectos que requieren especial atención, ya que alguna irregularidad en la superficie de la pieza de trabajo puede afectar la calidad del corte (ver Fig.3).

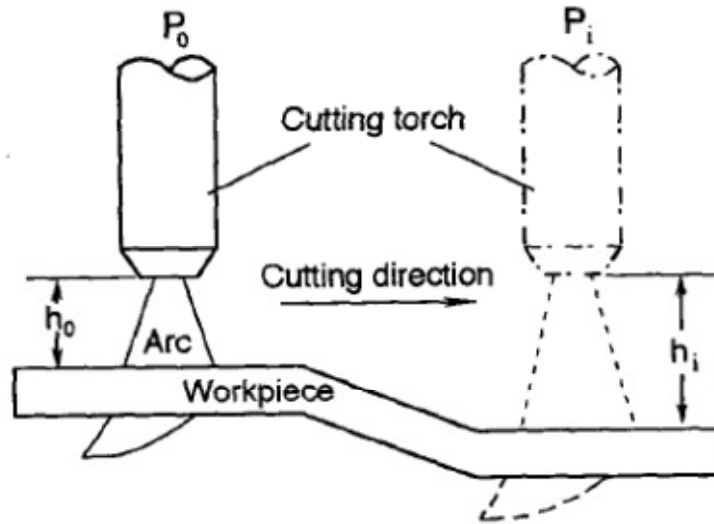


Fig. 3 Variación de la altura de la antorcha.

Fuente[3].

En el corte automático de arco de plasma, se desvía la antorcha de una altura deseada por lo general debido a la reducción de la deformación térmica, error de sujeción y la curvatura de la pieza de trabajo.

Se ha planteado un sistema de control por ordenador que consta de los sensores y la unidad de detección, controlador y servo actuadores.

Un sensor de láser, actúa como un sensor óptico, este puede detectar variaciones de altura en el recorrido que hace la antorcha (ver Fig.4), de la misma forma que puede verse afectado por la alta temperatura y la luz intensa del arco que acompaña al proceso de corte por arco de plasma.

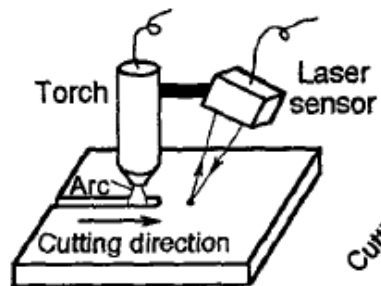


Fig. 4 Posición entre el sensor y la antorcha.

Fuente[3].

El sistema de control de altura de la antorcha incluye los sensores y la unidad de detección, controlador y servo actuador. Como se muestra en el diagrama de bloques para el control de seguimiento de la altura de la antorcha de corte (ver Fig.5). Se trata



de un sistema de control de lazo cerrado usando altura de la antorcha como variable controlada. El sensor detecta la altura de la antorcha en tiempo real. Después la pre-procesa por filtrado y amplificación, genera una salida detectada que refleja una altura de la antorcha presentada a una alta velocidad de foto-aislado convertidor A / D (12 bits). El error encontrado se combina con otros datos en una pre-alimentación directa para producir un error equivalente. El controlador digital recibe las entradas del error equivalente y toma una decisión de control a partir de una determinada estrategia. Por último, la señal de control de ajuste de desviación impulsa un brazo de manipulación para corregir la altura de la antorcha [3].

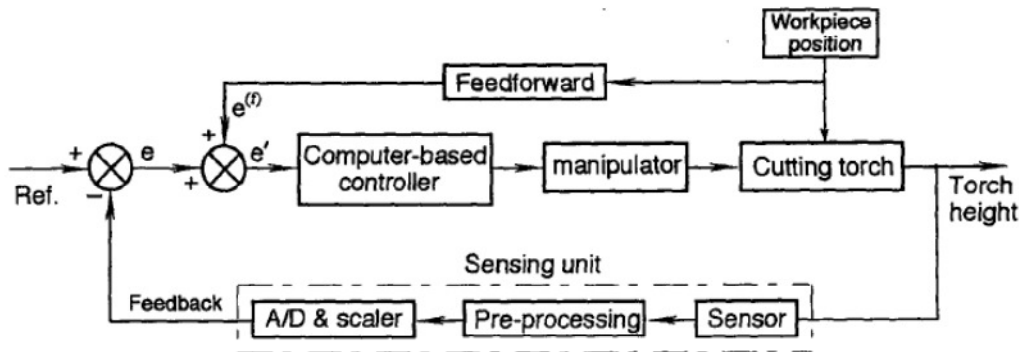


Fig. 5 Diagrama de bloques para el control de seguimiento de la altura de la antorcha de corte.

Fuente[3].

La evolución de los centros de mecanizado está ligada a los desarrollos en las tecnologías informáticas, en el casi medio siglo de vida que tienen los computadores, los avances en su arquitectura y en la tecnología usada para implementarlos han permitido conseguir una evolución en su rendimiento sin precedentes en ningún otro campo de la ingeniería.

Desde la década de 1970, el desarrollo de las máquinas CNC ha alcanzado los niveles más altos, con la introducción de minicomputadoras y software de dibujo CAD para apoyar la generación de los programas de la máquina y permitir el mecanizado de diferentes partes.

Los usuarios de equipos convencionales para el mecanizado, conformado u corte de piezas, encuentran soluciones a sus necesidades de mejorar la calidad y los niveles de producción por medio de un sistema de control numérico. Este tipo de modernización tecnológica es posible gracias a la integración de los conocimientos en tres áreas distintas: la mecánica, electro-electrónica y desarrollo de software.

Empresas dedicadas a desarrollar software, han diseñado métodos de control para sistemas CNC, con estos se implementa la capacidad de control numérico con ordenadores de propósito general a máquinas convencionales, proporcionando la facilidad acoplamiento, ya que manejan conceptos que permiten altos grados de compatibilidad.

Las máquinas se pueden clasificar por el número de ejes que tienen, esto representa directamente la complejidad de las operaciones que se pueden realizar. En el proceso de automatización se pueden utilizar servomotores trifásicos y la transmisión de movimiento es basada en tornillos de bolas recirculantes.

Se utiliza un ordenador personal convencional para controlar todo el sistema. El programa para esta aplicación cuenta con distintas herramientas disponibles para

comandar la máquina CNC, un compilador de código G, gráfica de simulación y monitorización en tiempo real de los parámetros de movimiento.

Se utilizan servomotores y sus controladores, cada servomotor puede tener resistencia regenerativa para protegerlo en caso de una parada de emergencia o un accidente. El cableado y demás elementos de protección se aplican sobre la base de cálculos de potencia y corriente de los motores de mayor capacidad. Se puede tener una protección adicional para disminuir los efectos del ruido en el control y elementos de señal.

National Instruments ofrece productos para el control de este tipo de máquinas, la tarjeta de control de movimiento PCI-7344, permite que el usuario accione los ejes de la máquina y el movimiento del husillo (ver Fig.6).

La PCI-7344 puede controlar hasta 4 ejes independientes, realizar interpolación lineal y circular en 2D y 3D, S-curve configurable para aceleración y desaceleración, incluye procesadores duales y un sistema operativo interno en tiempo real [4].

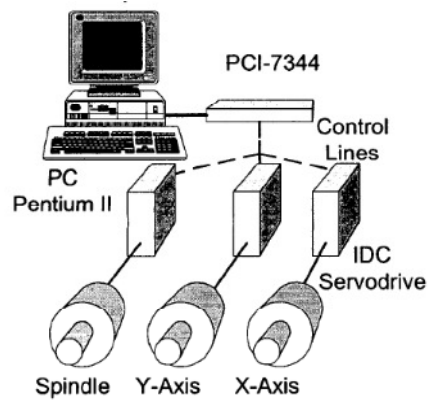


Fig. 6 Conexiones del control de movimiento.

Fuente [4].

Estos servomotores tienen muchas ventajas en precio y bajo consumo de energía, el método de control puede estar en un circuito abierto o un circuito cerrado en función de la estrategia de control requerida.

En la fabricación de Jacket plataformas se utiliza un software para corte de tubería en 6 ejes. El SmartPC desarrollado basándose en el concepto modular, comprende el módulo de parámetros de entrada, módulo de cálculo de ruta de movimiento, módulo de generación de códigos, módulo de cálculo de peso, los materiales de soldadura, módulo de estadísticas, módulo de resumen estadístico, módulo de diagrama de la formación y módulo de simulación de movimiento de mecanizado (ver Fig.7).

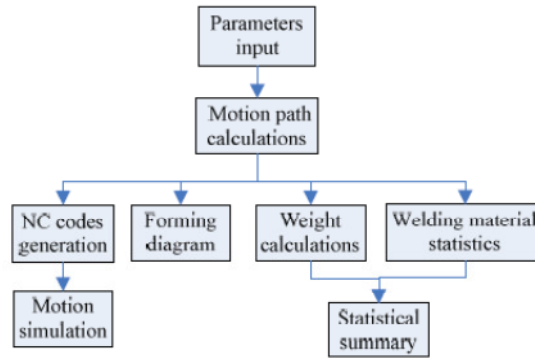


Fig. 7 Estructura del sistema de software SmartPC.

Fuente [5].

Este software funciona tomando el corte de la curva de intersección con ranuras de soldadura, por ejemplo, un extremo del tubo se cruza con un tubo principal, y el otro se cruza con una placa recta.

De acuerdo con los tipos de intersección, el software inicia el cálculo de rutas de movimiento y genera códigos NC para el mecanizado de ranuras de soldadura. La longitud de corte y la zona de mecanizado también se muestran en diagrama de simulación de conformación 3D. De acuerdo a los códigos NC que se han generado, la ruta de movimiento dinámico puede ser simulada por animación para verificar la corrección de los códigos NC. Además, el centro de gravedad, el peso y la dosificación de materiales de soldadura se puede calcular y guardar como se requiere [5].

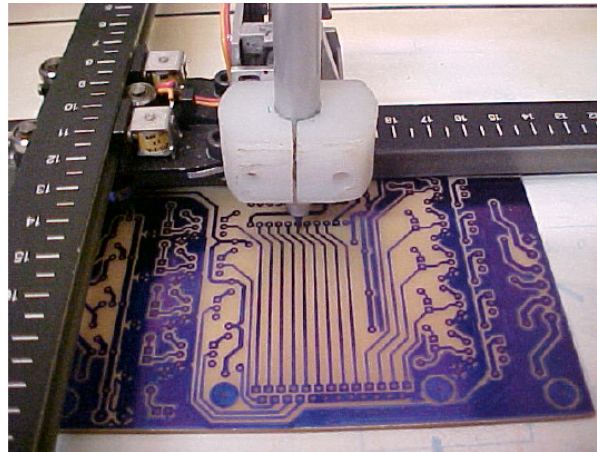


Fig. 8 Mesa de plotter para la creación de placas de circuito impreso.

Fuente [6].

La adaptación de una mesa de plotter sencilla NE-245, fabricada por EMG (Hungría), fue necesaria ya que tecnológicamente era obsoleta y estaba fuera de servicio. Con este reequipamiento se tenía el objetivo de volverlo un sistema CNC robusto y fiable para ser adecuado en la creación de prototipos de placas de circuito impreso (PCB). La adaptación se basó en la actualización tecnológica de las partes mecánicas y dispositivos electro-electrónicos y también un desarrollo de software usando el controlador de CNC Mach3.

Todas las partes electro-electrónicas del trazador fueron sustituidas, se diseñó un nuevo circuito de potencia (ver Fig.9), para alimentar los controladores de los motores

de paso en las direcciones X y Y, también el circuito electrónico del controlador Z que mueve la pluma [6].

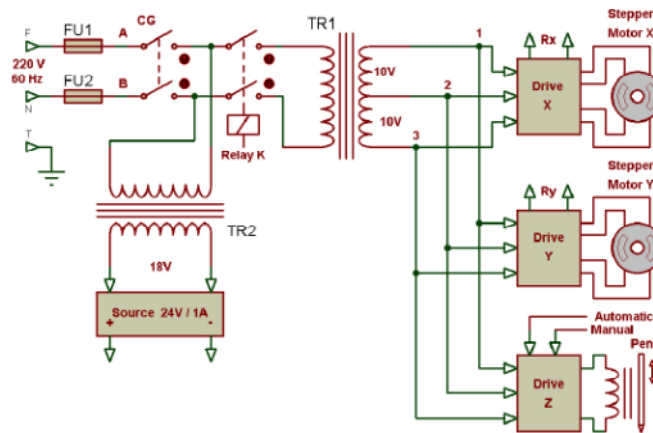


Fig. 9 Circuito de potencia del plotter

Fuente [6].

Fue utilizado el controlador CNC Mach3, que es una buena opción debido a su flexibilidad y su bajo costo en aplicaciones tales: plotters, tablas XY para cortar, robots manipuladores, fábricas y centros de mecanizado. Según el fabricante, el ArtSoft, el Mach3 es un controlador CNC basado en PC que hace posible el dominio de las máquinas de 6 ejes. La interfaz con los controladores y sensores externos se puede realizar a través de uno o dos puertos paralelos del PC. Es posible ampliar el número de entradas y salidas con interfaz Modbus RS232/Ethernet. Todavía se puede utilizar controladores específicos de movimiento en lugar del puerto paralelo. La Mach3 puede controlar motores paso y DC / AC servomotores utilizando el comando estándar paso / dirección. Una característica Mach3 atractiva es su flexibilidad. Como un CNC abierto, el diseñador de la máquina tiene una amplia gama de configuraciones de hardware y posibilidades. La interfaz hombre-máquina, las pantallas, los botones y los cuadros de diálogo se puede personalizar para cada aplicación.

La pantalla principal del programa de control Mach3 tiene varios campos de comandos de configuración y las funciones (ver Fig.10). En la parte superior izquierda, el programa de código G con respecto a las trayectorias de movimiento de trazado PCB. Estas trayectorias de movimiento se presentan en la parte superior derecha de esta pantalla principal. En la zona central superior, se puede comprobar la posición actual de los ejes. Las opciones para la lectura, edición, ejecución y detención del programa de código G, entre otros, se puede acceder en la parte inferior izquierda de la pantalla principal. La velocidad de la pluma puede ser modificada durante la ejecución de un trazado, en un campo llamado Velocidad de alimentación de la pantalla principal [6].

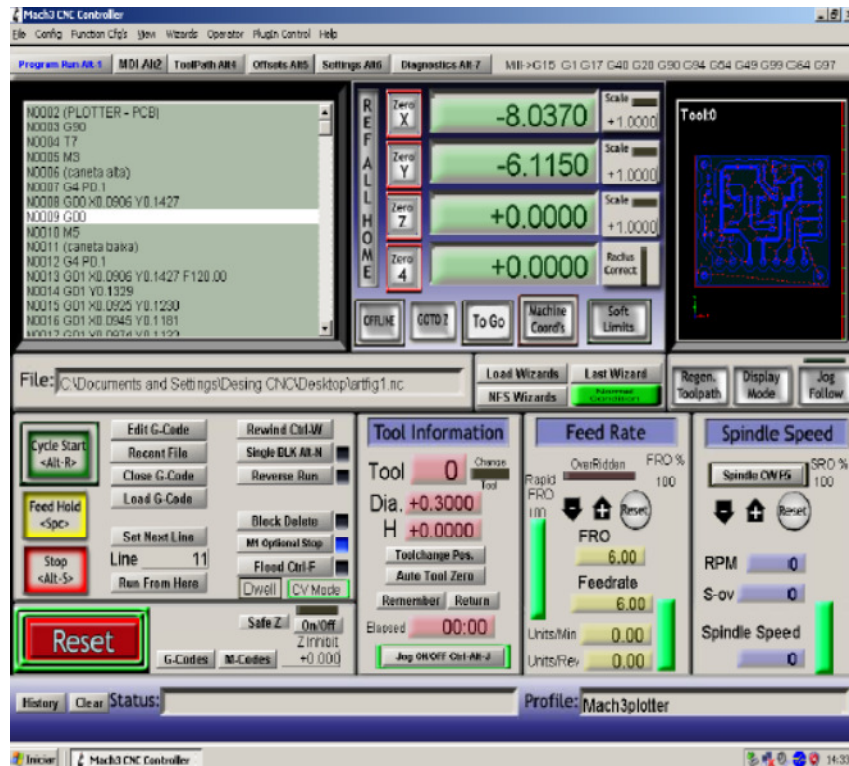


Fig. 10 Pantalla principal del programa de control de CNC Mach3.

Fuente [6].

## 1.2. Justificación

En general los procesos de fabricación en la industria colombiana se ven obsoletos cuando se comparan con los niveles alcanzados en los países desarrollados. Es muy común encontrar máquinas con más de medio siglo de vida en las empresas del país, estas máquinas pueden tener un funcionamiento aceptable, pero definitivamente no llegan a tener un rendimiento óptimo acorde a las necesidades del mundo actual.

Con este proyecto se quiere aportar al desarrollo de la industria colombiana; la empresa Provetecnica Ltda, tiene entre sus procesos el corte con arco de plasma para láminas de acero, un operario realiza esta tarea, y se han identificado diferentes problemas relacionados con calidad, seguridad y rendimiento.

El propósito es mejorar la calidad de las piezas cortadas, esto representado en un buen aspecto y un buen funcionamiento en su respectiva aplicación, además de reducir en un alto porcentaje los riesgos a los que se expone el operario como la alta temperatura, gases, alta radiación de luz y contacto directo con piezas metálicas que pueden lesionarlo.

Como parte del desarrollo del proyecto se tiene pensado adquirir diferentes elementos y sistemas disponibles en el mercado nacional, que sirvan como medios para la integración con el equipo existente en el sistema automatizado. Todo esto con el fin de aplicar los conocimientos de áreas específicas vistos en el contenido del programa de ingeniería mecánica de la Universidad Distrital.

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo general**

Automatización de un equipo portátil de corte por arco de plasma.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Diseño mecánico de la estructura y actuadores.
- Diseño de la parte eléctrica y electrónica, selección de dispositivos y su disposición en la máquina.
- Diseño del software para el procesamiento del código numérico y control en operación del equipo de corte por arco de plasma.
- Fabricación e integración de cada uno de los elementos diseñados.
- Desarrollo del estudio de capacidad de proceso del sistema.
- Generar la documentación para la máquina automatizada: normas, ficha técnica y puesta en marcha.

### **3. Marco Teórico**

#### **3.1. Características del equipo portátil de corte por arco de plasma**

Marca: Hypertherm Powermax 85

Modelo: P/N 087104

Dimensiones (largo, ancho, alto) 483mm x 234mm x 432mm

Antorcha manual de 75°

Cable de masa de 7.6m

Corriente de salida nominal 25 – 85 A

Tipo de gas: aire y nitrógeno

Alimentación de aire limpio, seco y sin aceite

Capacidad de corte manual ¼" (6.35mm) hasta 1- ¼" (31.75mm)

Panel de control simplificado con pantalla de cristal líquido LCD

Presión de corte 5.6 Bar

Consumibles: escudo frontal, capuchón de retención, boquilla, electrodo y anillo distribuidor [7].

#### **3.2. Otros procesos de corte de metales**

Existen varios procesos de manufactura relacionados con el corte de metales, cada uno de ellos representa ventajas y desventajas frente a los demás, la selección del proceso adecuado es exclusiva del trabajo que se quiera realizar, a continuación se presentan algunos de ellos.

##### **3.2.1. Corte por Cizalla**

Es un proceso de corte sin arranque de viruta de láminas y perfiles. Produce cortes limpios, es decir, sin virutas, calor o reacciones químicas del metal.

Dos cuchillas que penetran al mismo tiempo en forma de cuña resbalando una sobre otra. Al principio los filos de la cizalla comprimen al material en el punto de corte. Al seguir penetrando es cuando empieza el verdadero cizallamiento, es decir el desplazamiento y separación de partículas mediante el esfuerzo cortante de los filos. Inmediatamente se desgarran el material formándose una rebaba y doblándose las dos partes de la pieza, a consecuencia de que la cuchilla sigue penetrando.

El cizallado suele ser en frío y se puede aplicar a la mayoría de los metales. En general es para cortes rectos a lo ancho o a lo largo del material, perpendicular o en ángulo. La acción básica del corte incluye bajar la cuchilla hasta la mesa de la máquina, para producir la fractura o rotura controladas durante el corte. La mayoría de las cuchillas tienen un pequeño ángulo de salida. Para ciertas operaciones específicas como punzonado o perforado, no hay esos ángulos de alivio.

Las máquinas que realizan este tipo de operaciones para aplicaciones industriales, generalmente tienen un sistema de accionamiento hidráulico que permite aplicar grandes fuerzas, con una buena precisión [8].

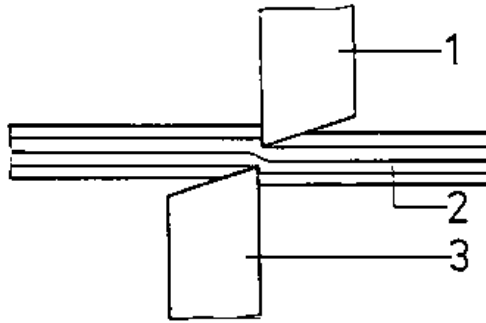


Fig. 11 Corte por cizalla.

(1) Cuchilla superior, (2) Chapa cortada y (3) Cuchilla inferior.

Fuente [8].

### 3.2.2. Proceso de Oxiacetileno

Este no es un proceso de corte por fusión sino por combustión, es un proceso de tipo químico y no de tipo térmico. Usa el calor de combustión de ciertos gases combinado con la reacción exotérmica del metal con el oxígeno. El soplete de corte que se usa en estos procesos está diseñado para proporcionar una mezcla de gas combustible y oxígeno en las cantidades correctas y dirigir una corriente de oxígeno a la región de corte. Para que un material pueda ser tratado con oxicorte la temperatura de fusión del óxido debe ser menor a la temperatura de fusión del metal [9].

En este proceso la fuente de calor es una flama de gas combustible llamado acetileno, este gas se debe mezclar uniformemente con el oxígeno, esto se hace en una cámara mezcladora que es parte del soplete. El soporte sirve para mover, dirigir o guardar la flama. La mezcla alcanza una temperatura aproximada de 3000°C, esta temperatura alcanza a fundir aproximadamente al 98% de los materiales.

El acetileno es un hidrocarburo gaseoso, incoloro y más ligero que el aire a temperaturas mayores de 780°C y a presiones mayores de 2Kg/cm<sup>2</sup> se vuelve inestable y altamente explosivo. Por esta razón su uso es muy controlado.

Con estos sistemas se pueden cortar fácilmente materiales ferrosos de más de 200 mm (8 pulgadas) y es una de las herramientas preferidas para el corte manual de acero de gran espesor (más de 38 milímetros o 1 ½").

La flama del oxicorte puede ser de tres tipos: Oxidante, la cual posee una mayor cantidad de oxígeno y es utilizada normalmente para precalentamiento forzado, corte en chaflán y cortes a alta velocidad con baja calidad; Neutra, se caracteriza por su balanceada proporción de gas combustible y oxígeno; Carburante, posee una mayor cantidad de gas combustible, con buen acabado y es utilizada en el corte de chapas con espesores delgados.

El acetileno (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) es el combustible más popular entre el grupo de las soldaduras con oxígeno y gas combustible (OFW, por sus siglas en inglés) porque soporta temperaturas más altas que cualquiera de los otros, hasta de 3 480 °C (6 300 °F).



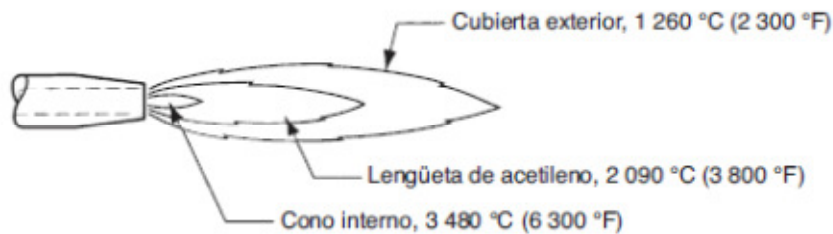


Fig. 12 Temperaturas alcanzadas en la flama neutral de un soplete de oxiacetileno.

Fuente [9].

### 3.2.3. Corte por rayo Láser

El corte por láser aplicado industrialmente a metales, comenzó a principios de los años 80 y está posicionado hoy como una de las principales alternativas para el corte de chapa.

El término láser está formado por las siglas en inglés de light amplification by stimulated emission of radiation (amplificación luminosa de emisiones de radiación estimulada). Un láser es un transductor óptico que convierte energía eléctrica en un haz luminoso altamente consistente. Un haz láser tiene varias propiedades que lo distinguen de otras formas de luz. Es monocromático (en teoría, la luz tiene una longitud de onda única) y muy alineado (los rayos de luz en el haz son casi perfectamente paralelos). Estas propiedades permiten enfocar la luz generada por un láser, mediante lentes ópticas convencionales, sobre un punto muy pequeño, produciendo densidades muy potentes [9].

El maquinado por haz láser (LBM, por sus siglas en inglés) usa la energía luminosa de un láser para remover material mediante vaporización y desgaste (ver Fig.13). Los tipos de láser usados en este proceso son de gas de dióxido de carbono y de estado sólido, existen una amplia variedad de fuentes láser, la de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) desarrollada por K. Patel en 1964, es la que más ha evolucionado hasta convertirse en la de mayor aplicación industrial. Esta fuente asistida por una corriente gaseosa constituye la tecnología Laser Beam Torch.

La asistencia gaseosa puede ser con oxígeno (O<sub>2</sub>) para provocar una reacción exotérmica que acelere el proceso o con un gas inerte como el nitrógeno (N<sub>2</sub>), que produce superficies de corte brillante sin oxidación. Estos gases ayudan a la remoción del material vaporizado y a la protección de los elementos ópticos de focalización-conducción del haz.

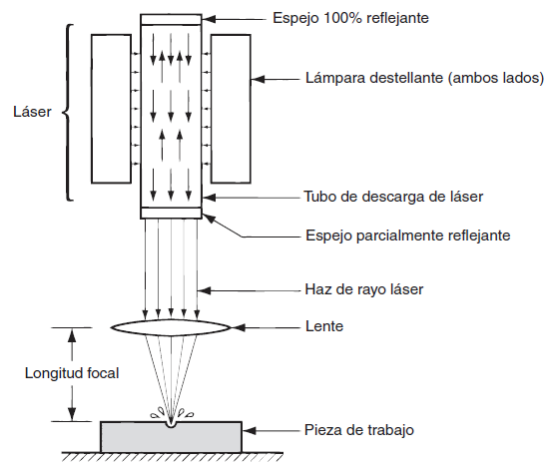


Fig. 13 Maquinado por haz láser (LBM)

Fuente [9].

El corte por láser se produce por la absorción de la energía del rayo. El comportamiento frente a la absorción es función del material y de su estado superficial, de la longitud de onda del láser y de la temperatura (La absorción aumenta drásticamente al alcanzar la temperatura de fusión del material).

La conductividad térmica y la reflectancia del material juegan un papel muy importante. Si el calor se difunde rápidamente (Oro, plata, cobre), el corte se ve dificultado. Lo mismo sucede con materiales muy reflectantes (Aluminio), que requieren el empleo de elevadas potencias.

El haz de luz utilizado para corte es invisible a la vista humana por su larga longitud de onda, localizada en el rango infrarrojo [10].

Este proceso es aplicado al corte de aceros estructurales, hasta espesores de unos 20mm, la posición del punto de corte es controlada por un sistema de movimiento, el cual es dirigido por un sistema de Control Numérico Computarizado (CNC).

### 3.3. Máquinas automatizadas

El uso de máquinas CNC (control numérico computarizado) se ha generalizado en la industria a nivel mundial, sustentado principalmente en el aumento de la productividad y mejora de la calidad. Posteriormente aparecen otros factores no menos importantes como la precisión, la rapidez y la flexibilidad.

Una máquina automatizada es capaz de realizar múltiples operaciones en una instalación controlada bajo un CNC con la mínima intervención humana.

En el Massachusetts Institute of Technology (MIT) se comenzó en 1948 a desarrollar un sistema por encargo de las Fuerzas Aéreas de EE.UU en el cual un computador asumía el control de una máquina herramienta.

Esto era necesario por las piezas integrales cada vez más complicadas para la construcción de aviones. Las piezas eran fáciles de describir matemáticamente, sin embargo, muy difíciles de fabricar con las máquinas herramientas convencionales de mando manual.

Entre las máquinas automatizadas más comunes en la actualidad, están las que realizan las siguientes operaciones.

- Fresado
- Torneado
- Taladrado
- Esmerilado
- Doblado
- Punzonado
- Electroerosión

Los dispositivos y sistemas de las MHCN (Máquina herramienta de control numérico) son:

- Ejes de movimiento.
- Sistemas de transmisión.
- Sistemas de control de posición y desplazamientos.
- Cabezal.
- Sistemas de sujeción de las diferentes piezas.
- Cambiadores automáticos de herramientas.
- Ejes complementarios.

Las funciones coordinadas por el CNC en la máquina son: el cambio automático de la herramienta, paletas transportadoras y el posicionamiento automático de las piezas de trabajo.

Los centros de maquinado más comunes son los que realizan operaciones análogas a las de un torno o una fresadora. Se han desarrollado algunas de estas máquinas con más de tres ejes. Uno de los ejes adicionales se diseña frecuentemente como una mesa rotatoria para poner la pieza en posición, formando un ángulo específico respecto al husillo. La mesa rotatoria permite a la herramienta de corte desempeñar el maquinado en cuatro lados de la pieza en una sola instalación.

Para este tipo de máquinas se define un sistema coordinado, y se utilizan los movimientos de la herramienta relativos al sistema coordinado de la pieza estacionaria.

Las tecnologías CAD/CAM, son procesos en los cuales se utilizan los ordenadores o computadoras para mejorar la fabricación, desarrollo y diseño de los productos. Éstos pueden fabricarse más rápido, con mayor precisión y a menor precio, con la aplicación adecuada de la tecnología informática.

Los sistemas CAD (Computer Aided Design) pueden utilizarse para generar modelos con muchas, si no todas, de las características de un determinado producto.

Los sistemas CAM (Computer Aided Manufacturing) método para controlar equipos de fabricación con ordenadores en lugar de hacerlo con operadores humanos. Una computadora controla la posición y velocidad de los motores que accionan los ejes de la máquina.

Los rápidos avances en hardware y software, hacen que se presenten incompatibilidades entre los diferentes sistemas basados en computadoras en las empresas de fabricación.

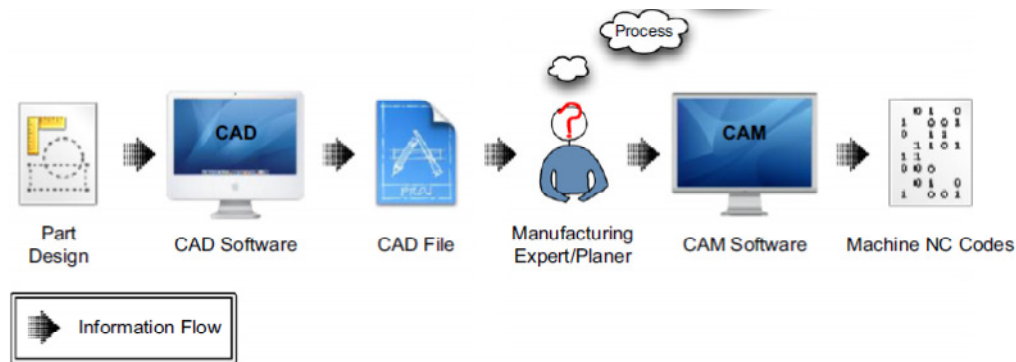


Fig. 14 Flujo de corriente de la información en la cadena de mecanizado CNC.

Fuente [11].

En todas las operaciones utilizando máquinas herramientas CNC, Se necesita un programa NC. Hay dos tipos de programas NC, un tipo puede ser codificado por un programador esto es adecuado para un sencillo proceso de corte. El otro tipo es generado por uno de los paquetes comerciales de CAD / CAM que proporcionan una programación automática NC, y este tipo es adecuado para una forma compleja que no puede ser programada fácilmente.

Los equipos CAM se basan en una serie de códigos numéricos, almacenados en archivos informáticos, para controlar las tareas de fabricación. Este CNC se obtiene describiendo las operaciones de la máquina en términos de los códigos especiales y de la geometría de formas de los componentes, creando archivos informáticos especializados o programas de piezas.

Se emplean sistemas CAD/CAM que generan el programa de maquinado de forma automática. En el sistema CAD la pieza que se desea maquinar se diseña en la computadora con herramientas de dibujo y modelado sólido. Posteriormente el sistema CAM toma la información del diseño y genera la ruta de corte que tiene que seguir la herramienta para fabricar la pieza deseada; a partir de esta ruta de corte se crea automáticamente el programa de maquinado, el cual puede ser introducido a la máquina mediante un disco o enviado electrónicamente.

Con el uso de estos sistemas informáticos, todos los archivos que introducidos y almacenados en el sistema informático, pueden ser modificados fácilmente por el diseñador para avanzar en el desarrollo del producto [11].

Con los avances que se han dado a través de los últimos años en las diferentes tecnologías involucradas, los beneficios incluyen los ciclos de diseño más rápidos, menor tiempo de inactividad mediante el diagnóstico y herramientas de simulación, el aumento de la productividad y la disminución de los costos de mantenimiento.

## **4. Metodología**

### **4.1. Diseño conceptual**

- Identificación completa de los equipos base para obtener los requerimientos y las restricciones que definirán la disposición de estos en el sistema automatizado.
- Planteamiento y selección de alternativas para los interrogantes de diseño, esto se llevará a cabo siguiendo los procedimientos estándares aplicados en el diseño (mecánico) con el método Quality Function Deployment (QFD).

### **4.2. Diseño mecánico**

- Diseño en detalle de los elementos mecánicos seleccionados para el sistema de corte planteado; en este proceso de diseño se resaltan actividades como la selección de materiales, selección de partes normalizadas y modelado 3D en el software de diseño Autodesk Inventor de las partes.

### **4.3. Diseño eléctrico y electrónico**

- Determinar la configuración eléctrica y electrónica con sus respectivos elementos, para el suministro y distribución de energía, además como medio para el acoplamiento entre la parte virtual y física de la máquina.

### **4.4. Diseño de software**

- Diseño del software de control que pueda reconocer los archivos de dibujo, genere el programa de corte y posteriormente accione los servomotores, los sensores, el equipo de corte, y demás elementos involucrados.

### **4.5. Fabricación e integración de cada uno de los subsistemas diseñados**

- Fabricación de las piezas y ensamble general de los elementos que conforman el sistema.
- Pruebas, modificaciones y ajustes necesarios para garantizar el correcto funcionamiento de las piezas y subsistemas mecánicos, así como del sistema de control.

### **4.6. Estudio de capacidad del proceso del sistema**

- Analizar y evaluar los resultados obtenidos a partir de un estudio de capacidad del proceso.

### **4.7. Documentación**

- Elaborar las normas, ficha técnica y puesta en marcha de la máquina
- Elaborar el documento de proyecto de grado con el registro de los resultados, análisis y conclusiones.

## 5. Cronograma

ACTIVIDAD	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6				Mes 7				Mes 8			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Identificación de los equipos, para definir requerimientos y restricciones.	■	■	■	■																												
Planteamiento de soluciones al problema de diseño, evaluación y selección de estas.			■	■	■	■	■	■	■	■																						
Diseño en mecánico.									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■								
Diseño eléctrico y electrónico									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■								
Diseño de software									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■								
Fabricación de las piezas y ensamble general.													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■								
Configuración del sistema. Pruebas, modificaciones y ajustes.																					■	■	■	■								
Estudio de capacidad de proceso.																									■	■	■	■				
Elaboración de manuales de procedimiento y mantenimiento de la máquina.																									■	■	■	■	■	■	■	■
Redacción de documento de trabajo de grado.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Tabla 1 Cronograma de actividades del proyecto

Fuente: Elaboración propia

## 6. Presupuesto y fuentes de financiación

### 6.1. Costo estimado

#### 6.1.1. Recursos humanos

- Tutor: profesor de planta de la Universidad Distrital encargado de seguir el desarrollo del proyecto y de guiar al desarrollador. También se encarga de corregir los documentos.
- Desarrollador: Encargado de ejecutar el proyecto, siguiendo las guías del tutor.
- Operario: Encargado de la fabricación y montaje de la máquina.
- Asesor: Profesional especializado en las áreas eléctrica y electrónica.

Se estima un promedio de 15 horas por semana para el desarrollador, 2 horas por semana para el supervisor, 8 horas por semana para el operario y el asesor 16 horas durante todo el desarrollo del proyecto.

Recurso	Costo por hora	Horas dedicadas	Costo total	Fuente de financiación
Tutor	\$40.000	64	\$2.560.000	Universidad Distrital F.J.C.
Desarrollador	\$15.000	480	\$7.200.000	Desarrollador
Operario	\$8.000	256	\$2.048.000	Empresa
Asesor	\$40.000	16	\$640.000	Empresa
Total			\$12.448.000	

Tabla 2 Costo recursos humanos

Fuente: Elaboración propia

### 6.1.2. Materiales y suministros

Todo el proyecto será financiado por la empresa con el fin de obtener un beneficio a corto y mediano plazo.

Recurso	Costo unitario	Cantidad	Costo total	Fuente de financiación
Material estructural	-	-	\$4.000.000	Empresa
Equipo portátil de corte por arco de plasma	\$5.000.000	1	\$5.000.000	Empresa
Kit CNC	\$14.000.000	1	\$14.000.000	Empresa
Elementos normalizados para la fijación, flexibilidad y otros.	-	-	\$5.000.000	Empresa
Computador	\$1.000.000	1	\$1.000.000	Empresa
Total			\$29.000.000	

Tabla 3 Costo materiales y suministros

Fuente: Elaboración propia

### 6.1.3. Recursos de hardware

Corresponde a los ordenadores y otros elementos físicos que se usarán durante el proyecto, se estima su costo según la duración estimada del proyecto.

Recurso	Costo	Vida útil (meses)	Tiempo de uso (meses)	Costo total	Fuente de financiación
Computador portátil	\$1.500.000	60	8	\$200.000	Desarrollador
Computador de escritorio	\$1.000.000	36	8	\$222.222	Universidad Distrital F.J.C.
Computador de escritorio	\$1.000.000	36	8	\$222.222	Empresa
Total				\$644.444	

Tabla 4 Costo hardware

Fuente: Elaboración propia

### 6.1.4. Recursos de software

Corresponde a los programas que se utilizarán durante el desarrollo del proyecto, se estima su costo según la duración estimada del proyecto.

Recurso	Costo	Vida útil (meses)	Tiempo de uso (meses)	Costo total	Fuente de financiación
Windows 7	\$160.000	24	8	\$53.333	Desarrollador
Microsoft office Word	\$96.000	12	8	\$64.000	Desarrollador
Autodesk Inventor	\$2.000.000	24	8	\$666.666	Empresa
Total				\$784.000	

Tabla 5 Costo software

Fuente: Elaboración propia



### 6.1.5. Insumos, fungibles y gastos

Corresponden a gastos requeridos para la ejecución del proyecto con la duración estimada del mismo.

Recurso	Costo mes	Tiempo (meses)	Costo total	Fuente de financiación
Libros	\$10.000	8	\$80.000	Desarrollador
Trasportes	\$40.000	8	\$320.000	Desarrollador
Servicios públicos, energía e internet	\$60.000	8	\$480.000	Universidad Distrital F.J.C. y Desarrollador
Total			\$880.000	

Tabla 6 Insumos, fungibles y gastos

Fuente: Elaboración propia

### 6.1.6. Resumen de costos

Recurso	Fuente de financiación			Total
	Desarrollador	Universidad Distrital F.J.C.	Empresa	
Humanos	\$7.200.000	\$2.560.000	\$2.688.000	\$12.448.000
Materiales y suministros	-	-	\$29.000.000	\$29.000.000
Hardware	\$200.000	\$222.222	\$222.222	\$644.444
Software	\$117.333	-	\$666.666	\$784.000
Insumos fungibles y gastos	\$640.000	\$240.000	-	\$880.000
Total	\$8.157.333	\$3.022.222	\$32.576.888	\$43.756.443
%	18.6%	6.9%	74.5%	

Tabla 7 Resumen de costos proyecto

Fuente: Elaboración propia

## 7. Bibliografía

- [1] K. Salonitis and S. Vatousianos, "Experimental Investigation of the Plasma Arc Cutting Process," *Procedia CIRP*, vol. 3, pp. 287-292, // 2012.
- [2] J. Deli and H. Jinsong, "Research on intelligent control strategy of plasma cutting process," in *Control and Decision Conference (CCDC), 2010 Chinese*, 2010, pp. 3409-3413.
- [3] J. Wang, K. Kusumoto, and K. Nezu, "Plasma arc cutting torch tracking control," in *Advanced Motion Control, 2000. Proceedings. 6th International Workshop on*, 2000, pp. 345-350.
- [4] H. Dominguez, R. Alvarez, and J. C. Jauregui, "Development of a high speed machining CNC," in *Control Applications, 2001. (CCA '01). Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on*, 2001, pp. 224-229.
- [5] Y. Qin, J. Xiao, and G. Wang, "The Open Architecture CNC System Based on 6-axis Flame Pipe Cutting Machine," in *Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA), 2011 Third International Conference on*, 2011, pp. 878-881.
- [6] C. B. S. Dutra, F. K. Mendonca, G. C. Sousa, and N. G. Bonacorso, "Retrofitting of a plain table plotter for printed circuit boards prototyping," in *Power Electronics Conference, 2009. COBEP '09. Brazilian*, 2009, pp. 1027-1032.
- [7] *Hypertherm, "Powermax85," in Manual del operador -806653*, ed. Hanover, NH USA, 2010.
- [8] *Cizallado - Curso: Láminas, tubos y perfiles. Material de trabajo para los aprendices*. Available: <http://www.nzdl.org/gsd/mod?e=d-00000-00---off-0gtz--00-0----0-10-0---0---0direct-10---4-----0-0l--11-en-50---20-about---00-0-1-00-0-0-11-1-0utfZz-8-10&a=d&cl=CL1.3&d=HASH01e339ab3514bacd05f784f2.6>
- [9] M. P. Groover, *Fundamentos de manufactura moderna*, 3ª ed., 2007.
- [10] D. Martinez K., A. Paredes, and G. Maceira, "El proceso de corte laser aplicado a la manufactura de probetas planas de tracción normalizadas obtenidas a partir de chapas finas de acero galvanizado," ed. CONAMET/SAM-SIMPOSIO MATERIA 2002, 2002.
- [11] M. Safaieh, A. Nassehi, and S. T. Newman, "A novel methodology for cross-technology interoperability in CNC machining," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 29, pp. 79-87, 6// 2013.