

# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **TÍTULO DEL PROYECTO**

**“MEJORAMIENTO DE PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD  
DEL PROCESO DE CORTE EN LOS FRENTES DE  
TRANSFORMADORES PADMOUNTED”**

**PROYECTO PREVIO A LA APROBACIÓN DEL DIPLOMADO EN  
DISEÑO Y MANUFACTURA ASISTIDO POR COMPUTADOR (CAD-  
CAM-CAE)**

**REALIZADO POR:**

**ORTEGA ESPÍN ANDRÉS ROBERTO  
VELASCO ULLOA LUIS FERNANDO**

**DIRECTOR: ING. FERNANDO OLMEDO**

**Sangolquí, Septiembre 2012**

# CONTENIDO

<b>CAPITULO 1</b> .....	<b>4</b>
<b>1. GENERALIDADES</b> .....	<b>4</b>
1.1 ANTECEDENTES .....	4
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	4
1.3 OBJETIVOS .....	2
1.4 ALCANCE DEL PROYECTO .....	3
1.5 JUSTIFICACIÓN Y/O IMPORTANCIA .....	3
<b>CAPITULO 2</b> .....	<b>4</b>
<b>2. MARCO TEORICO</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1 TRANSFORMADORES</b> .....	<b>4</b>
2.1.1 TIPO DE TRANSFORMADORES .....	4
2.1.2 TRANSFORMADORES PADMOUNTED .....	4
2.1.3 COMPONENTES DEL TRANSFORMADOR PADMOUNTED .....	5
2.1.4 PROCESO DE FABRICACIÓN DEL TRANSFORMADOR PADMOUNTED. ....	6
<b>2.2 CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA (CNC)</b> .....	<b>9</b>
2.2.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO .....	10
2.2.2 SISTEMA DE COORDENADAS RECTANGULARES .....	10
2.2.3 EJES Y PLANOS. ....	10
2.2.4 PUNTO DE ORIGEN. ....	11
2.2.5 APLICACIONES.....	12
2.2.6 FRESADORAS Y CENTROS DE MECANIZADOS CNC.....	12
2.2.7 PROGRAMACIÓN .....	14
2.2.8 CÓDIGOS DE PROGRAMACIÓN.....	15
<b>2.3 PROCESOS DE CORTE</b> .....	<b>20</b>
2.3.1 PROCESO DE CORTE POR ARRANQUE DE VIRUTA .....	20
2.3.2 PROCESO DE CORTE POR OXICORTE. ....	21
2.3.3 PROCESO DE CORTE POR FLUJO DE AGUA.....	22
2.3.4 PROCESO DE CORTE POR LÁSER .....	22
2.3.5 CORTE POR PLASMA .....	22
<b>2.4 HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS</b> .....	<b>23</b>
<b>2.5 HERRAMIENTAS CAD</b> .....	<b>23</b>
2.5.1 HERRAMIENTAS CAM .....	25
<b>2.6 CALIDAD</b> .....	<b>26</b>
<b>2.7 PRODUCTIVIDAD</b> .....	<b>29</b>
<b>CAPITULO 3</b> .....	<b>31</b>
<b>DESARROLLO DE LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE CORTE</b> .....	<b>31</b>
<b>3.1 PROCESO DE CORTE ACTUAL.</b> ....	<b>31</b>
<b>3.2 PROCESO DE CORTE PROPUESTO.</b> .....	<b>35</b>

<b><i>CAPITULO 4</i></b> .....	<b>41</b>
<b><i>SIMULACIÓN DEL PROCESO DE CORTE PROPUESTO</i></b> .....	<b>41</b>
<b>4.1 MODELADO PARA EL PROCESO DE CORTE</b> .....	<b>41</b>
<b>4.2 SIMULACIÓN DEL PROCESO DE CORTE CON SOFTWARE CAM</b> .....	<b>43</b>
<b><i>CAPITULO 5</i></b> .....	<b>49</b>
<b><i>ANÁLISIS DE RESULTADOS</i></b> .....	<b>49</b>
<b><i>CAPITULO 6</i></b> .....	<b>50</b>
<b><i>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i></b> .....	<b>50</b>
<b><i>BIBLIOGRAFÍA</i></b> .....	<b>51</b>
<b><i>ANEXOS</i></b> .....	<b>52</b>

# **CAPITULO 1**

## **1. GENERALIDADES**

### **1.1 ANTECEDENTES**

ECUATRAN S.A. fue constituida en el Ecuador en 1979, es una empresa líder en la fabricación de transformadores de energía eléctrica, servicios integrados de reparación y mantenimiento de transformadores. Su misión es facilitar el uso de la energía, con productos, soluciones y servicios de calidad, trabajando conjuntamente con sus clientes, mediante un alto compromiso y profesionalismo de su personal, para apoyar al desarrollo de la comunidad.

Con el transcurso de los años, la empresa ha incorporando maquinaria de alta tecnología, colaborando con ello a mejorar los procesos productivos de la planta industrial. El incremento de la demanda del mercado de transformadores tipo padmounted, hace cada vez más exigente que todos los procesos sean más rápidos y efectivos; la sección de metalmecánica y en especial el proceso de corte de planchas para los frentes de los transformadores en mención, es fundamental si se desea alcanzar una mejora global.

### **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Los transformadores tipo padmounted son diseñados y construidos para operación en sistemas de distribución subterráneos. Son fabricadas en potencias desde 45 kVA hasta 2000 KVA en tensiones hasta de 35 kv, para los trifásicos, bajo las especificaciones de la norma ANSI C-57-12-26; y desde 10 kVA hasta 167.5 kVA para los monofásicos y tensiones hasta 35 kv, bajo las especificaciones de la norma ANSI C57-12-25.

Los frentes de los transformadores tipo padmounted poseen un número determinado de perforaciones donde se colocarán los distintos accesorios del transformador. En la actualidad el proceso se lo realiza utilizando herramientas de corte ordinarias. La herramienta está sujeta por su vástago y acoplada a un taladro radial. La remoción de material se consigue por desprendimiento de viruta hasta obtener la cavidad o agujero. Los accesorios montados en las perforaciones del frente de los transformadores tipo padmounted, llevan empaques circulares de caucho nitrilo, que se deben asentar completamente sobre la superficie del frente, para evitar fugas de aceite dieléctrico contenido dentro del transformador.

El problema de calidad superficial consiste en las irregularidades (filos cortantes) en el perímetro de los agujeros, después del proceso por desprendimiento de viruta actual. El tiempo empleado para perforar una plancha tipo de un transformador padmounted, es de 54 minutos, aproximadamente 3 minutos por agujero. Adicionalmente se requiere 30 minutos para remover los filos cortantes dejados por el proceso anterior, antes de entregar el frente al siguiente proceso (soldadura)

El taladrado y su reproceso constituyen el 34% del tiempo total en la fabricación de un tanque padmounted en la sección Metalmecánica.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

- Mejorar la productividad y calidad del proceso de corte utilizado para la construcción de los frentes de transformadores padmounted.

#### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Implementar un proceso CNC para el corte de los frentes de transformadores padmounted

- Modelar el frente del transformador padmounted usando una herramienta CAD.
- Utilizar un software CAM para generar la programación de corte.

#### **1.4 ALCANCE DEL PROYECTO**

El alcance del proyecto es proponer una alternativa de corte con control numérico computarizado de los frentes de los transformadores padmounted. La secuencia de corte se simulará en el software FastCam y se efectuará una prueba física en la máquina de corte por plasma de la empresa Metalmecánica Gómez, para finalmente, cuantificar el mejoramiento de la productividad y calidad.

#### **1.5 JUSTIFICACIÓN Y/O IMPORTANCIA**

El presente proyecto busca mejorar la actividad de corte de los frentes del transformador tipo padmounted. Para aquello, se analiza la conveniencia de adquirir nueva maquinaria y profundizar en los conocimientos necesarios para optimizar el proceso de corte. La implementación de la nueva tecnología le significaría a la empresa tener una ventaja competitiva frente a otros proveedores como consecuencia del ahorro de tiempo y recursos valiosos.

## **CAPITULO 2**

### **2. MARCO TEORICO**

#### **2.1 TRANSFORMADORES**

Un Transformador es una máquina eléctrica estática que transfiere energía eléctrica de un circuito a otro. Básicamente un transformador son dos o más circuitos eléctricos acoplados magnéticamente mediante un flujo común, es decir dos o más bobinas acopladas.

##### **2.1.1 TIPO DE TRANSFORMADORES**

Una posible clasificación de los transformadores es por su diseño mecánico, así:

- Transformadores Monofásicos Tipo Subestación
- Transformadores Monofásicos Tipo Padmounted
- Transformadores Trifásicos Tipo Subestación Sin Compensador de aceite
- Transformadores Trifásicos Tipo Subestación Con Compensador de aceite
- Transformadores Trifásicos Tipo Padmounted
- Transformadores Monofásicos Secos
- Transformadores Trifásicos Secos

##### **2.1.2 TRANSFORMADORES PADMOUNTED**

Son transformadores que pueden ser instalados exteriormente, ya sea en parques, jardines o cualquier espacio al aire apto para su montaje, esto debido a que son de frente muerto, poseen elementos de conexión, protección y maniobra incorporados. Su sistema de alimentación es a través de redes de media tensión subterráneas con cable seco. En la parte

civil, estos transformadores no requieren más que una base o loza de hormigón de dimensiones similares al perímetro del transformador.

Los transformadores Padmounted fabricados por ECUATRAN S.A., son equipos fabricados bajo normas internacionales ANSI C57.12, y pueden ser monofásicos o trifásicos. Ecuatran S.A., fabrica transformadores padmounted monofásicos en

potencias desde los 15KVA hasta los 167KVA y voltajes primarios de 4.16kV hasta 34.5kV, sus niveles de pérdidas cumplen con la norma nacional NTE INEN 2114/04.

Los transformadores padmounted trifásicos varían en potencias desde los 10KVA hasta los 5MVA y voltajes primarios de 4.16kV hasta 34.5kV, sus niveles de pérdidas cumplen con la norma nacional NTE INEN 2115/04. Los transformadores Padmounted que Ecuatran S.A. fabrica, tanto monofásicos como trifásicos, pueden ser de configuración RADIAL o MALLA. La configuración radial se caracterizan por ser fin de circuito, es decir, no permiten realizar derivaciones en MT.

La configuración malla (Radial Modificado), son aquellos que permiten realizar derivaciones en MT hacia transformadores vecinos. El transformador MALLA propiamente dicho, es aquel que posee un seccionador de 4 posiciones, en tanto que el transformador RADIAL MODIFICADO es aquel que en la derivación lleva un seccionador ON/OFF o de dos posiciones

### **2.1.3 COMPONENTES DEL TRANSFORMADOR PADMOUNTED**

Principalmente se puede identificar accesorios estándar y adicionales en un transformador tipo Padmounted. La tabla 2.1 muestra los accesorios en un transformador padmounted en media tensión.



Accesorios Estándar Considerados por Ecuatran		Accesorios especiales adicionales A solicitud del cliente	
Nombre	Especificaciones	Nombre	Especificaciones
Bushing tipo Pozo	15, 25, 35 kV, 200A, BIL 125 Y 150kV	Feed Thru	15, 25, 35 kV, 200A, BIL 95 Y 150kV
Bushing Insert o Inserto	15, 25, 35 kV, 200A, BIL 95, 125 Y 150kV	Elbow Arrester ( Pararrayos )	7, 10 y 18kV
Elbow Connector (Codo de desconexión o Botas)	15, 25, 35 kV, 200A, 600V, BIL 95, 125 Y 150kV	Bushing Integral	15, 25, 35 kV, 200A, 600V, BIL 95, 125 Y 150kV
Conjunto Soporte y Fusible Bay-Onet	8.3, 15.5 y 23 kV	Bushing de Parqueo	BIL 95 y 125kV
Seccionador On/Off o de apertura-cierre. ( Load Breaker )	300A, 600A, ( 15, 23 y 35kV )	Seccionador Secuencial de 4 Posiciones	200A, 35kV, BIL 150kV
Dispositivos de Parqueo		Fusible de Respaldo o Limitadores de Corriente	8.4, 15 y 23kV
Visor de nivel de Aceite		Fusible Insolation Link o Elemeto de Enlace de Aislamiento	
Dispositivos de PaT del neutro o del Tanque			
Soportes de izado			

**Tabla 2.1 Accesorios de Transformadores Padmounted en Media Tensión**

En un transformador tipo padmounted en baja tensión los accesorios considerados se lista en la Tabla 2.2

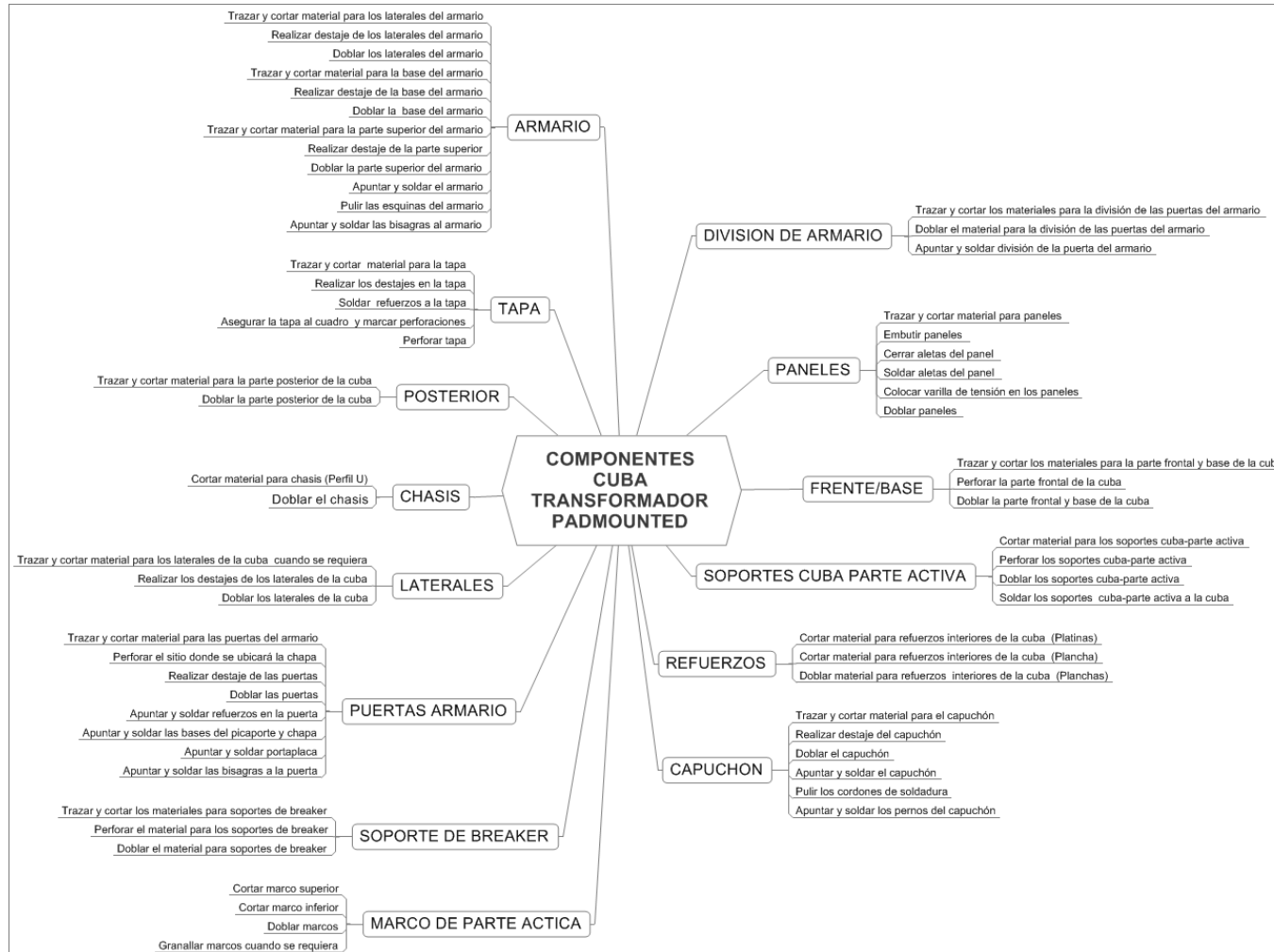
Accesorios Estándar Considerados por Ecuatran	Accesorios especiales adicionales A solicitud del cliente
Nombre	Nombre
Bushing de Baja Tensión	Breaker tripolar térmico de caja moldeada
soportes para breaker o bases fusibles	Bases NH y cartuchos fusible

**Tabla 2.2 Accesorios de Transformadores Padmounted en Baja Tensión.**

#### **2.1.4 PROCESO DE FABRICACIÓN DEL TRANSFORMADOR PADMOUNTED.**

La fabricación del transformador Padmounted consiste de procesos metalmecánicos de trazado, doblado, corte y soldadura. La Figura 2.1

indica los distintos procesos inmersos en la fabricación del transformador padmounted.



**Figura 2.1 Fabricación del Transformador Padmounted.**

## **2.2 CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA (CNC)**

El Control Numérico por Computador, también llamado CNC (Computer Numerical Control), es todo dispositivo capaz de dirigir el posicionamiento de un órgano mecánico móvil mediante órdenes elaboradas de forma totalmente automática a partir de informaciones numéricas en tiempo real. Para mecanizar una pieza se usa un sistema de coordenadas que especificarán el movimiento de la herramienta de corte. El sistema se basa en el control de los movimientos de la herramienta de trabajo con relación a los ejes de coordenadas de la máquina.

### **2.1.2 MÁQUINAS CNC**

La tecnología del control numérico apareció a mediados del siglo 20. Esta fue desarrollada por el Instituto Tecnológico de Massachusetts y la Fuerza Aérea Americana. En el campo de la manufactura, el año de 1972 marcó el inicio de su utilización en aplicaciones industriales, principalmente en la metalmecánica. Un sinnúmero de artículos y publicaciones han definido el significado de control numérico. Muchas de estas definiciones comparten el concepto básico que describe apropiadamente el control numérico.

El Control Numérico puede ser definido como la operación de cualquier dispositivo o máquina herramienta mediante instrucciones codificadas en un orden lógico y en una forma predeterminada. En estricto apego a la terminología, es necesario exponer la diferencia entre NC y CNC. El Control Numérico Computarizado (CNC) al igual que el sistema NC contienen instrucciones lógicas que especifican el movimiento de la herramienta de corte. En los sistemas NC las instrucciones se ejecutan por medio de una unidad de control. Los programas en ella no pueden ser modificados por el programador u operador. En cambio, los sistemas CNC utilizan un microprocesador interno que contiene una variedad de rutinas que pueden ser manipuladas por el programador.

### 2.2.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El principio de funcionamiento de una máquina CNC se basa en conceptos geométricos. El Sistema de Coordenadas hace posible el movimiento de corte de la máquina herramienta utilizando puntos o coordenadas específicas.

### 2.2.2 SISTEMA DE COORDENADAS RECTANGULARES

El Sistema de Coordenadas Rectangulares define puntos utilizando coordenadas en XY con un espacio de trabajo en 2 dimensiones. Para puntos en 3 dimensiones las coordenadas corresponden a XYZ. La figura 2.2 muestra el sistema de coordenadas rectangulares.

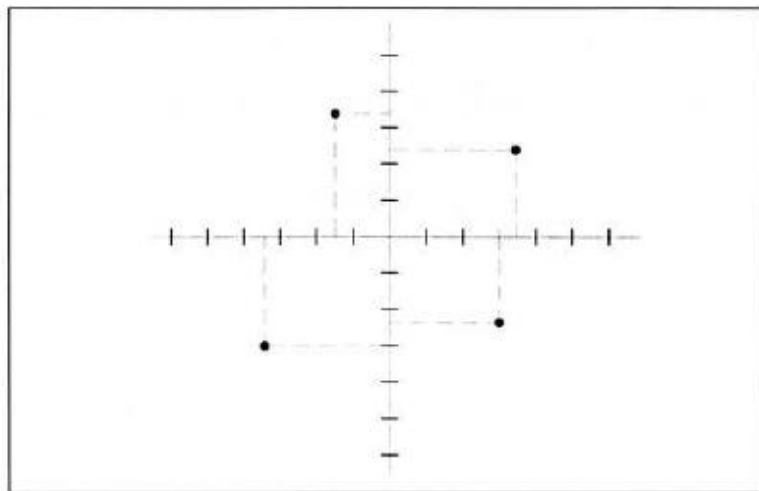


Figura 2.2 Sistema de Coordenadas Rectangulares

### 2.2.3 EJES Y PLANOS.

Un eje es una referencia geométrica que pasa a través del centro de un plano o una figura sólida. En la programación CNC es muy importante el concepto de plano como elemento de referencia para el posicionamiento. Un plano es una superficie que posee 2 dimensiones en el cual una línea recta que une dos de sus puntos se encuentra por completo en la superficie. La Figura 2.3 muestra el plano XY. En la programación CNC es conocido también como vista superior.

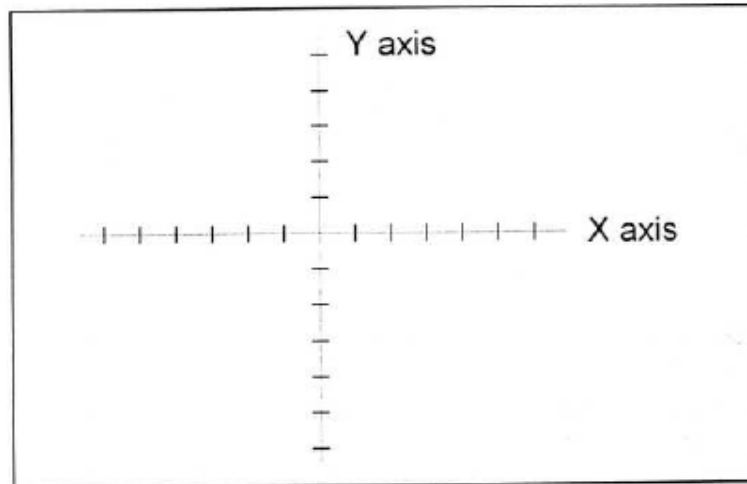


Figura 2.3 Plano XY

#### 2.2.4 PUNTO DE ORIGEN.

El punto de origen es el punto donde dos ejes perpendiculares se intersecan. El valor en cada eje es de 0. Es decir, para el plano XY el punto origen corresponde a las coordenadas planares  $X_0Y_0$  como se indica en la Figura 2.4

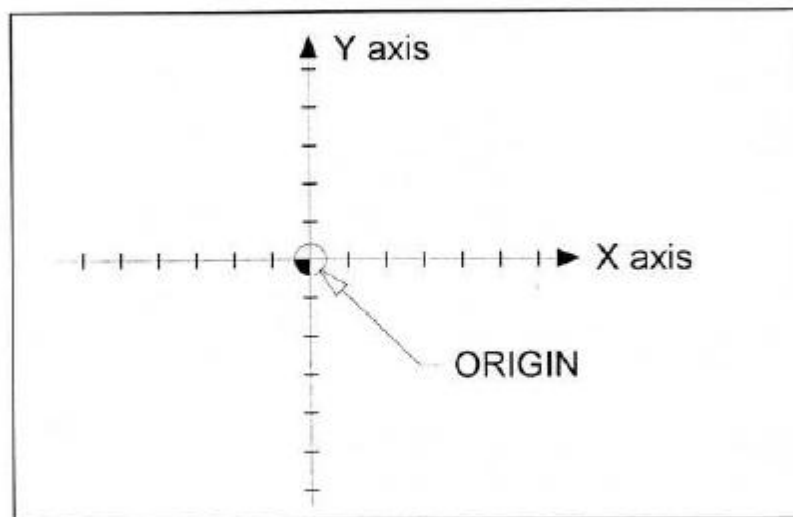


Figura 2.4 Punto de Origen en el Plano XY

En el campo de la programación CNC, tiene particular importancia como punto de referencia. Es conocido como cero pieza, cero parte o punto de referencia cero.

#### **2.2.5 APLICACIONES.**

Existe una gran variedad de aplicaciones de las máquinas CNC. A continuación se lista algunas de ellas:

- Fresadores y Centros de Mecanizado.
- Tornos
- Talaros
- Punzonadoras
- Mandrinadoras
- Electroerosionadoras
- Cizallas
- Máquinas de oxicorte
- Máquinas de soldadura
- Corte por chorro de agua
- Corte por plasma
- Corte por láser

Los centros de mecanizado y tornos son las máquinas CNC más utilizadas en la industria. A pesar que el mercado ofrece muchas alternativas de centros de mecanizado y tornos, el proceso de programación comparte algunas similitudes que simplifican el proceso.

#### **2.2.6 FRESADORAS Y CENTROS DE MECANIZADOS CNC.**

Las fresadoras y centros de mecanizado se pueden designar de acuerdo a los siguientes criterios:

- Numero de ejes. Dos, tres o más ejes.

- Orientación de los ejes. Vertical y horizontal.

Los centros de mecanizado provistos de 3 ejes abarcan la mayor parte de mercado de máquinas herramientas de este tipo. Los Figura 2.5 indica los ejes disponibles en este tipo de máquinas.

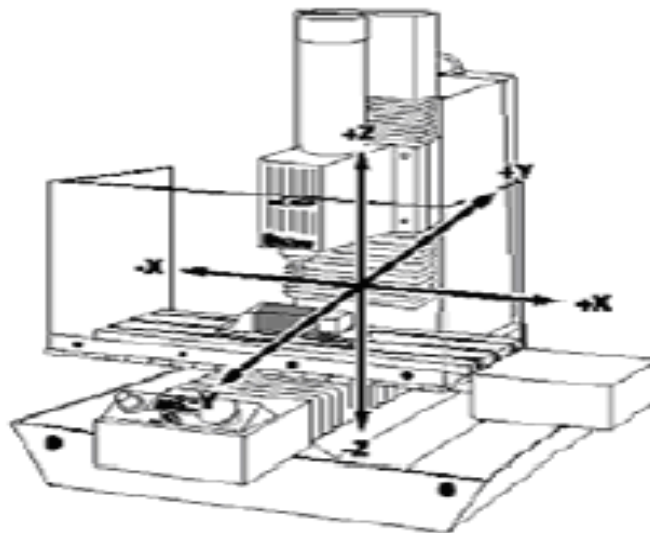


Figura 2.5 Ejes X,Y,Z en una fresadora.

La pieza de trabajo se encuentra sujeta o estacionaria a una mesa móvil. El corte lo realiza la herramienta de corte con un movimiento rotatorio y desplazamiento en el eje Z, de arriba hacia abajo. La popularidad de los centros de mecanizado es gracias a su multifuncionalidad. Por ejemplo pueden ser incorporados procesos de taladrado, mandrinado, fresado de contorno y refrentado superficial en un solo programa CNC. Además, el cambio automático de herramientas minimiza los tiempos de inactividad de la máquina.

Los centros de mecanizado verticales son principalmente utilizados para trabajos donde el maquinado es realizado en una cara a la vez. Se puede utilizar el cuarto eje opcional que usualmente montado en la mesa principal. Los centros de mecanizados horizontales son utilizados para el maquinado de más de una cara en una misma configuración o rutina de maquinado. Debido a su flexibilidad y los centros de mecanizado



horizontales son significativamente más costosos que los centros de mecanizado vertical.

### **2.2.7 PROGRAMACIÓN**

La programación CNC tiene su propia terminología. Los códigos transmitidos se traducen en movimientos de corte basados en las dimensiones y coordenadas contenidos en líneas de comando.

Existen cuatro términos básicos utilizados en la programación CNC:

- Carácter
  - Palabra
  - Bloque
  - Programa
- 
- Carácter. El carácter es la unidad más pequeña en un programa CNC. Este puede ser un dígito, letra o símbolo.
  - Palabra. El término palabra en la programación CNC significa una combinación de caracteres alfanuméricos que identifican una instrucción determinada. Normalmente cada palabra comienza con una letra mayúscula seguida por un número que representa un código en el programa. Palabras típicas indican los ejes de referencia, velocidad de avance, velocidad de rotación, comandos preparatorios, etc.
  - Bloque. El bloque es una línea de instrucciones formada por múltiples comandos. Tiene un orden lógico y secuencial, y está compuesta de varias palabras que a su vez contienen dos o más caracteres.
  - Programa. Consiste en bloques múltiples de instrucciones que finalmente llevan a cabo operaciones completas de desplazamiento y corte.

### 2.2.8 CÓDIGOS DE PROGRAMACIÓN

La terminología utilizada en la programación CNC tiene el siguiente significado:

N	Número de Bloque.
G	Función preparatoria.
X	Coordenada X.
Y	Coordenada Y.
Z	Coordenada Z.
I	Localización en X del centro de un arco.
J	Localización en Y del centro de un arco.
K	Localización en Z del centro de un arco.
S	Velocidad de rotación del cabezal.
F	Asigna Velocidad de avance.
M	Función Auxiliar.
D	Excentricidad diametral de la herramienta.
H	Compensación de la longitud de la herramienta.
P	Llamada de subrutina.
T	Número de la herramienta.

- Función N.

Es utilizado para numerar y localizar los bloques de comando. Se numeran en general de 10 en 10 para permitir adicionar nuevos bloques sin tener que enumerar nuevamente el programa

- Función G.

La función G es un comando preparatorio que sitúa al sistema de control en una condición o modo de operación específica. A continuación se listan los códigos G más utilizados.

Grupo	Código G	Función
(modal)	G00*	Posicionamiento rápido
(modal)	G01	Interpolación lineal
(modal)	G02	Interpolación circular a derechas
(modal)	G03	Interpolación circular a izquierdas
	G04	Temporización
(modal)	G05	Trabajo en arista matada
	G06	Interpolación circular con programación del centro del arco en coordenadas absolutas
(modal)	G07*	Trabajo en arista viva
	G08	Trayectoria circular tangente a la trayectoria anterior
	G09	Trayectoria circular definida mediante tres puntos
(modal)	G10*	Anulación imagen espejo
(modal)	G11	Imagen espejo en el eje X
(modal)	G12	Imagen espejo en el eje Y
(modal)	G13	Imagen espejo en el eje Z
(modal)	G17*	Selección del plano XY
(modal)	G18	Selección del plano XZ
(modal)	G19	Selección del plano YZ
	G20	Programación en pulgadas
	G21	Programación en milímetros
	G22	Definición de subrutina estándar
	G23	Definición subrutina paramétrica
	G24	Final de subrutina
	G25	Salto o llamada incondicional
	G26	Salto o llamada condicional si es igual a 0
	G27	Salto o llamada condicional si no es igual a 0

	G28	Salto o llamada condicional si es menor
	G29	Salto o llamada condicional si es igual o mayor
	G30	Visualizar código de error definido
	G31	Guardar origen de coordenadas actual
	G32	Recuperar origen de coordenadas guardado mediante
	G31	Guardar origen de coordenadas actual
	G32	Recuperar origen de coordenadas guardado mediante
(modal)	G33	Roscado electrónico
	G36	Redondeo controlado de aristas
	G37	Entrada tangencial
	G38	Salida tangencial
	G39	Achaflanado
(modal)	G40*	Anulación compensación de radio
(modal)	G41	Compensación radio izquierdas
(modal)	G42	Compensación radio a derechas
(modal)	G43	Compensación de longitud
(modal)	G44*	Anulación de compensación
(modal)	G49	FEED-RATE programable
	G50	Carga de dimensiones de herramienta en la tabla
(modal)	G53-59	Traslados de origen
(modal)	G70	Inicio Subrutina
(modal)	G71*	Llamada subrutina
(modal)	G72	Factor de escala
(modal)	G73	Giro sistema de coordenadas

	G74	Búsqueda automática de referencia-máquina
	G75	Trabajos con palpador
	G76	Creación automática de bloques
(modal)	G79	Ciclo fijo definido por el usuario
(modal)	G80*	Anulación de ciclos fijos
(modal)	G81	Ciclo fijo de taladro
(modal)	G82	Ciclo fijo de taladro temporizado
(modal)	G83	Ciclo fijo de taladro profundo
(modal)	G84	Ciclo fijo de roscado con macho
(modal)	G85	Ciclo fijo de escariado
	G86	Ciclo fijo de mandrilado con retroceso en G00
(modal)	G87	Ciclo de cajera rectangular
(modal)	G88	Ciclo de cajera circular
(modal)	G89	Ciclo fijo de mandrilado con retroceso
(modal)	G90*	Programación en cotas absolutas
(modal)	G91	Programación en cotas incrementales
	G92	Preselección de cotas
	G93	Preselección de origen de coordenadas polares
(modal)	G94*	Velocidad de avance F en mm/minuto
(modal)	G95	Velocidad F en mm/revolución
(modal)	G96	Velocidad de avance constante
(modal)	G97*	Velocidad avance de la herramienta
(modal)	G98*	Herramienta al plano de partida
(modal)	G99	Herramienta al plano de referencia

- Velocidad de Avance F

La dirección F sirve para comunicar el valor de la velocidad de avance. Su formato es F04, es decir, que puede programarse avances desde 1 a 999 milímetros por minuto. La F0 se utiliza en general para programar la velocidad máxima de avance de la máquina.

- Velocidad de Rotación S.

Es utilizada para fijar la velocidad de rotación del husillo.

- Función de Herramienta T

Se utiliza para designar el número de herramienta. Si se trata de una máquina CNC con un cambiador múltiple de herramientas, corresponde a la posición de la herramienta en la máquina.

- Función Auxiliar M.

También llamada función miscelánea identifica las condiciones de funcionamiento de la máquina como: refrigeración, cambio de herramienta, movimiento del husillo en marcha, sentido de giro del husillo. Las funciones M más comunes son:

CODIGO	FUNCION
M00	Parada de programa
M01	Parada opcional
M02	Fin de programa
M03	Arranque husillo (sentido de las manecillas del reloj)
M04	Arranque husillo (contra el sentido de las manecillas del reloj)
M05	Parada del husillo
M06	Cambio de herramienta
M07	Conexión de refrigerante 1
M08	Chorro de refrigerante activado
M09	Refrigerante desactivado

M10	Sujetar
M11	Liberar
M13	Rotación del husillo en sentido de las manecillas del reloj y conexión del refrigerante
M14	Rotación del husillo en sentido contrario a las manecillas del reloj y conexión del refrigerante
M15	Movimiento en dirección positiva
M16	Movimiento en dirección negativa
M19	Parada del husillo en posición Terminal definida
M30	Fin de la cinta perforada
M31	Anulación de un bloque
M36	Gama de avances 1
M37	Gama de avances 2
M38	Gama de revoluciones del husillo 1
M39	Gama de revoluciones del husillo 2
M48	Liberación de cancelación
M49	Cancelación
M55	Desplazamiento de la herramienta a la posición 1
M56	Desplazamiento de la herramienta a la posición 2
M60	Cambio de pieza
M61	Desplazamiento de pieza a la posición 1
M62	Desplazamiento de pieza a la posición 2
M71	Desplazamiento giratorio de pieza a la posición 1
M72	Desplazamiento giratorio de pieza a la posición 2
M98	Transferencia a subprograma
M99	Transferencia a programa principal (Fin de subprograma)

## **2.3 PROCESOS DE CORTE**

### **2.3.1 PROCESO DE CORTE POR ARRANQUE DE VIRUTA**

La remoción del material se produce mediante diferentes movimientos de la pieza a mecanizar y de la herramienta. Los procesos usuales de

mecanización son cepillado, torneado, fresado, taladrado, rectificado. En el caso específico de la elaboración de agujeros y perforaciones circulares la máquina herramienta utilizada es el taladro. Los movimientos que caracterizan al proceso de perforado son:

- Movimiento de corte. El arranque de la viruta se consigue por el giro de la herramienta de corte
- Movimiento de avance. Se arranca la viruta por medio de un movimiento circular y continuo de la herramienta.
- Movimiento de posicionamiento. La herramienta y la pieza a mecanizar se aproximan en una posición adecuada antes del proceso de mecanización
- Movimiento de aproximación. Determina la profundidad de corte de la herramienta con movimiento rectilíneo entre la herramienta y la pieza de trabajo
- Movimiento efectivo. Para el proceso de taladrado el movimiento efectivo se compone del movimiento de corte y avance que actúan simultáneamente.

### **2.3.2 PROCESO DE CORTE POR OXICORTE.**

El proceso de oxicorte utiliza una mezcla de gases para producir el calentamiento de la chapa que se desea cortar. El combustible (comúnmente acetileno) combinado con el oxígeno como comburente calienta al material ferroso a una temperatura aproximada de 1000°C. El flujo de oxígeno completa el procedimiento de corte produciendo una reacción con el hierro que permite la fusión y corte del acero. La principal desventaja frente a otros procesos de corte son las operaciones secundarias y reprocesos para mejorar la calidad superficial de los elementos. Además, la afectación térmica en las chapas es una limitante si se requiere cortes con tolerancias dimensionales mínimas.



### **2.3.3 PROCESO DE CORTE POR FLUJO DE AGUA**

El proceso de corte por flujo de agua o también denominado corte por chorro se basa en un flujo de agua altamente presurizado. Las presiones promedio en este tipo de proceso fluctúan entre 60000 psi y 90000 psi. Se distinguen 2 tipos de procesos:

- Chorro de agua sin abrasivo. Se utiliza solamente agua siendo este el método original inicialmente desarrollado en los años 70. Sus principales aplicaciones son el corte de papel y materiales blandos. Llega a cortar hasta 24 pulgadas de fibra de vidrio.
- Chorro de agua con abrasivo. El chorro de agua contiene partículas abrasivas que impactan al material cortándolo. Puede cortar materiales con una dureza elevada; así, espesores de hasta 8 pulgadas de acero inoxidable son cortados.

Es un proceso de corte extremadamente versátil, no hay afectación térmica durante el proceso. Además, prácticamente cualquier material puede ser cortado. Es importante destacar que las operaciones secundarias luego del proceso son casi nulas con la presencia de poca o ninguna rebaba.

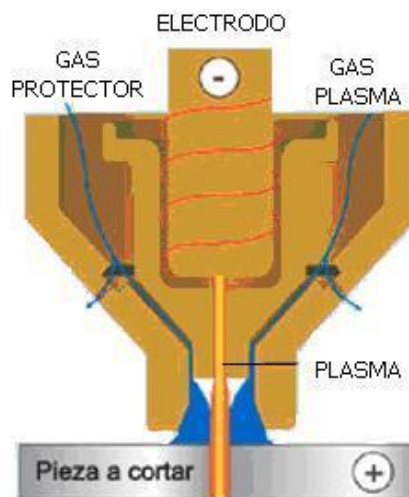
### **2.3.4 PROCESO DE CORTE POR LÁSER**

Se basa en la emisión de luz sobre la superficie de trabajo generando una alta temperatura y el posterior corte. Con un manejo adecuado de los parámetros de corte no se presentan rebabas. Es un proceso muy preciso de modo que está en capacidad de realizar cortes con geometrías complejas.

### **2.3.5 CORTE POR PLASMA**

El corte se produce por la ionización del gas (comúnmente oxígeno) debido a las elevadas temperaturas que se alcanzan en el proceso. Las temperaturas alcanzan valores de 30000 °C.

Al exponer a un gas a altas temperaturas, los átomos pierden electrones formándose lo que se denomina el cuarto estado de la materia o plasma. Este proceso de disociación de electrones del átomo conjuntamente con la estrangulación del flujo de plasma, facilitan el corte de chapas metálicas. El gas, ahora convertido en plasma tiene propiedades conductoras; es decir, el arco eléctrico entre el electrodo ubicado en la antorcha y la pieza hace posible el proceso de corte. La Figura 2.5 muestra la interacción entre la pieza a cortar y los elementos que conforman el corte por plasma



**Figura 2.5 Corte por Plasma**

## **2.4 HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS**

### **2.5 HERRAMIENTAS CAD.**

El Diseño Asistido por Computadora (CAD) proporciona una interfaz de trabajo que ayuda al diseñador a determinar de manera ágil los procesos de diseño y manufactura de un producto. Las herramientas CAD acogen a una serie de software especializados enfocados a la realización de representaciones en 3D, dibujos 2D, animaciones y representaciones realistas. También, se pueden aprovechar los modelos 3D para crear

instrucciones de montaje interactivo y propuestas de proyectos para futuros productos.

La utilización de un sistema CAD flexible y fácil de usar es un factor crítico en el proceso de modelación y diseño de un elemento. La modelación paramétrica y las herramientas de manipulación de superficies y sólidos, da como resultado un manejo eficiente del proceso de diseño. Además, ofrece una solución que permite acortar el tiempo de diseño evitando repeticiones y reprocesos innecesarios.

El rigor de la producción con tiempos de producción más cortos, limitaciones sobre el precio, márgenes de rentabilidad, demandas por mayores niveles de calidad y ciclos de servicio más largos, obligan a las compañías dedicadas al área CAD a introducir al mercado las mejoras y nuevas aplicaciones de sus programas con el fin de satisfacer las necesidades de los clientes. El mercado tiene una gran oferta de soluciones tecnológicas en el campo CAD. Algunos ejemplos son: SolidWorks, Inventor, PowerShape, IronCad.

Si bien los distintos programas de modelación poseen características propias y funciones específicas, éstos comparten valores en común que justifican su amplia utilización. A continuación se detalla los más relevantes.

- Operaciones parametrizables. Cada modificación en el espacio de trabajo en 2D y 3D se listan ordenadamente permitiendo el acceso inmediato. A través del dimensionamiento dinámico y un conjunto de restricciones geométricas se logra configurar los parámetros necesarios para conseguir un diseño depurado.
- Diversificación de archivos. El software tiene la capacidad de importar, diagnosticar y reparar la geometría de la pieza insertada. La plataforma CAD brinda una ventaja real al importar el conjunto más

amplio de diversos formatos de datos directamente o a través de conversiones de archivos nativos o neutros (DXF, DWG, IGES, STEP, ACIS, Parasolid).

- Módulos específicos. Son herramientas destinadas a la industria que permiten la simulación de gran alcance y la validación de diseños. Aplicaciones de láminas de metal, soldaduras, diseño de troqueles, diseño de moldes plásticos y sistemas enrutados, son un ejemplo de algunas de las capacidades puestas al servicio de la industria.
- Manejo de bibliotecas. Se introduce una colección de componentes sofisticados y partes que permiten al diseñador contar con la más diversa biblioteca de elementos, contribuyendo así a la eficiencia del proceso de diseño.
- Modelo virtual. Se introduce la representación fotográfica de gran realismo con texturas, materiales y estilos. El diseñador dispone de un elemento estético que facilita una comunicación continua y eficiente con el cliente.

Es cada vez más común que la oferta de modelación y diseño CAD incorpore herramientas adicionales con interfaces asociadas. Se refiere principalmente al desarrollo de paquetes informáticos CAM que complementa el proceso de diseño y manufactura.

### **2.5.1 HERRAMIENTAS CAM**

La programación de mecanizado a través de herramientas CAM, permite controlar la máquina herramienta y crear el elemento previamente diseñado y verificado con un software CAD. La fabricación asistida por computador (CAM) por su naturaleza práctica permite la interacción entre la creación del patrón de herramienta y la visualización/verificación del proceso y el pos procesamiento, De modo que, la utilización de programas informáticos en la manufactura ayuda de manera significativa en el proceso de fabricación.

El modelamiento CAD es una opción incluida en algunos programas especializados CAM. Esto debido a la necesaria importación del archivo CAD al ambiente de programación para su fabricación. Es el caso de software como MasterCam o SurfCam. Delcam con su producto PowerMill es un ejemplo de la necesidad de tener un producto robusto de manufactura, asistido por una interfaz eficiente de diseño (PowerShape).

Las características principales de las herramientas informáticas CAM son:

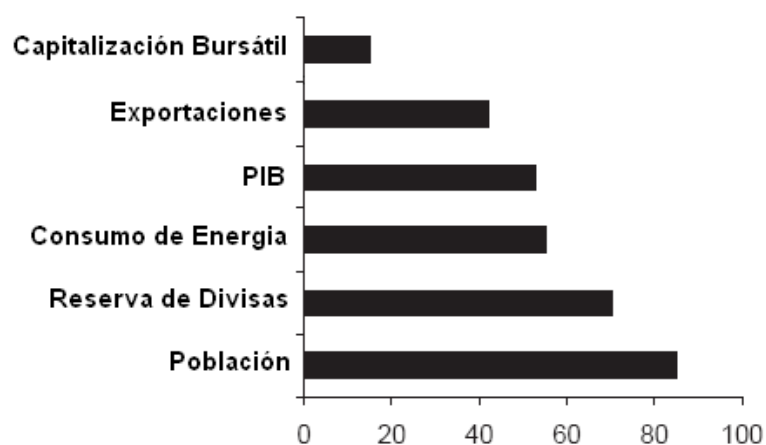
- Principalmente, permiten el control de fresadoras, tornos, máquinas multipropósito. Están en capacidad de controlar dispositivos de corte por plasma, corte por láser, corte por chorro de agua que funcionan a través de control numérico.
- Permiten la programación de mecanizado de modelos 2D y 3D. La herramienta de corte sigue la geometría en dos dimensiones o las superficies en el caso de figuras en tres dimensiones.
- Para centros de mecanizado contemplan la utilización de rutinas diferenciadas de desbaste, pre acabado y acabados.
- Incluyen también procesos predictivos para evitar colisiones. Se define un material de seguridad que acoge a la pieza principal.
- El proceso de simulación es definitivo al momento de verificar la trayectoria de la herramienta.
- El software ofrece una gama de opciones de posprocesamiento que van desde soluciones publicadas en plantillas y definidas por el usuario hasta publicaciones en bibliotecas suministradas de fábrica.

## **2.6 CALIDAD**

La calidad de un producto es un factor crucial en el proceso de producción. De esto depende la respuesta del consumidor y los niveles de rentabilidad de una compañía. La propagación de procedimientos y estándares de calidad ha permitido que compañías alrededor del mundo

consigan competir con países tradicionalmente hegemónicos en el campo de la manufactura.

El contexto económico en el que se ha desarrollado la manufactura en países emergentes ha cambiado dramáticamente en los últimos años. Alrededor de la tercera parte de la producción mundial corresponden a economías emergentes. La Figura 2.6 muestra la incidencia de las economías emergentes en la economía mundial.



**Figura 2.6 Incidencia en Porcentaje de las Economías Emergentes.**

El término calidad se lo asocia a un producto excelente que satisface o excede las expectativas del cliente. La Organización Internacional de Estándares (ISO) amplía esta definición incluyendo el servicio industrial. La ISO define calidad a “la totalidad de las especificaciones y características de un producto o servicio que le confiere la capacidad de satisfacer las necesidades expresas o implícitas”. La conversión de la materia prima en productos requiere de procesos físicos y químicos para su transformación. Históricamente la manufactura ha sido considerada simplemente como un medio para dar valor a la materia prima. Actualmente este concepto es insuficiente, la transformación deseada debe conseguirse rápidamente y sobre todo con calidad.

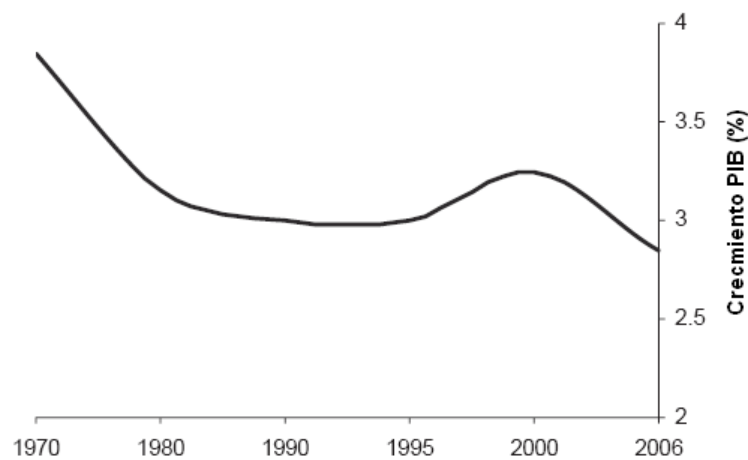
En el campo de la metalmecánica, los procesos de corte de chapa metálica tienen particular importancia. El corte por plasma se ha posicionado en los últimos años como una alternativa viable para muchas empresas metalmecánicas. La tendencia muestra también, que el operador maneja la menor cantidad de variables dentro del proceso a través de consolas automáticas que regulan el caudal de acuerdo a las condiciones de presión requeridas. En la actualidad, para procesos de corte que utilizan un gas plasma diferente al gas de protección, es necesario conseguir características específicas de corte considerando el metal a cortar y su espesor. La tabla 2.4 muestra algunas posibilidades de combinación.

Material	Gas utilizado	Características del corte
Acero al carbono	Plasma: Oxígeno Protección: Oxígeno	Sólo espesores menores a 6mm Excelente acabado Sin escoria Máxima velocidad Excelente soldabilidad
	Plasma: Oxígeno Protección: Aire	Espesores de 0.5 a 38mm Excelente acabado Sin escoria Máxima velocidad Excelente soldabilidad
	Plasma: Aire Protección: Aire	Espesores de 0.5 a 38mm Buen acabado Sin escoria
Acero Inoxidable	Plasma: H35 Protección: Nitrógeno	Sólo espesores mayores a 10mm Acabado color dorado Máxima velocidad Alta duración de consumibles Excelente soldabilidad
	Plasma: H35+Nitrógeno Protección: Nitrógeno	Sólo espesores mayores a 10mm Acabado color plateado (óptimo) Alta duración de consumibles Excelente soldabilidad
	Plasma: Nitrógeno Protección: Nitrógeno	Espesores de 0.5 a 38mm Acabado intermedio (negro) Alta duración de consumibles
	Plasma: F5 Protección: Nitrógeno	Sólo espesores menores a 10mm Acabado brillante Alta duración de consumibles Excelente soldabilidad
	Plasma: Aire Protección: Aire	Acabado pobre (negro) Menor duración de consumibles
Aluminio	Plasma: H35 Protección: Nitrógeno	Sólo espesores mayores a 12mm Superficie suave Máxima velocidad Alta duración de consumibles
	Plasma: Aire Protección: Aire	Superficie algo rugosa Menor duración de consumibles

**Tabla 2.4 Selección de Gases para el Proceso Plasma Dual Gas**

## 2.7 PRODUCTIVIDAD

El libre flujo de bienes y servicios, ha obligado a las empresas locales a mejorar su capacidad de competir. Esto a su vez, tiene un efecto multiplicador en la implementación de procedimientos que busquen el mejoramiento de la calidad y productividad. El dominio económico, exclusivo únicamente para los países desarrollados, aparentemente está cambiando. Una muestra de ello, es que en los últimos 5 años el promedio de crecimiento en países en vías de desarrollo es del 7%, mientras que, los países desarrollados registran un 4%. La Figura 2.7 muestra la tendencia del PIB de Estados Unidos, país que tradicionalmente hacía gala de una economía ejemplar. Si esta tendencia continua, la producción mundial en un futuro provendrá de los países emergentes.



**Figura 2.7 Crecimiento del PIB de Estados Unidos**

La productividad definida como la relación entre lo producido y los medios empleados, es una especial preocupación para la industria. Está ligado con los procesos de manufactura necesarios para obtener un producto, por ejemplo, procesos primarios, secundarios y terciarios de manufactura.



- Procesos Primarios. A través de los procesos primarios se consigue la forma principal del producto. Algunos procesos primarios son: fundición, forja, extrusión y laminación.
- Procesos Secundarios. la secuencia del proceso de manufactura continúa con los procesos secundarios, que perfeccionan la forma del producto con procesos de remoción como: mecanizado, pulido y brochado.
- Procesos Terciarios. Estos procesos no afectan la geometría de la pieza y son tratamientos superficiales y tratamientos térmicos.

El corte de láminas metálicas forma parte de los procesos secundarios en la manufactura metalmeccánica. Esto, de acuerdo a la clasificación antes mencionada, pero de gran importancia en la secuencia productiva. Tratándose de productividad y calidad existen algunas alternativas como el corte por chorro de agua, corte por laser y corte por plasma.

El corte por laser, requiere de una inversión muy alta y se incrementa con espesores mayores a 6 mm. Además, el costo de mantenimiento es un rubro obligatorio para ciertos elementos del equipo; por ejemplo, el resonador cuesta alrededor de un tercio del valor de la máquina.

El corte por chorro de agua tiene un costo operativo alto, producto de los costos excesivos de los abrasivos y la baja velocidad de corte en metales.

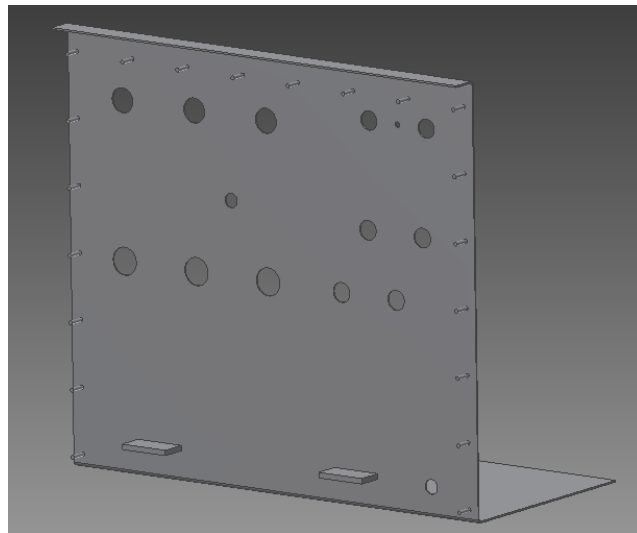
En el caso del corte por plasma, es el proceso de corte más versátil. La relación costo-beneficio es la más ventajosa en su rango. Consigue satisfacer la mayoría de necesidades de la industria si se considera velocidades de corte, calidad superficial, y costos operativos aceptables.

## CAPITULO 3

### DESARROLLO DE LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE CORTE

#### 3.1 PROCESO DE CORTE ACTUAL.

El proceso de corte de las perforaciones para el frente del transformador padmounted consiste de actividades de operación, transporte e inspección. La optimización del proceso de corte se enfoca en las actividades secuenciales y el tiempo que se requiere para llevarlas a cabo. La figura 3.1 indica el frente del transformador padmounted con las trece perforaciones circulares que se realizarán. Además, el Anexo I muestra en detalle la disposición geométrica de las perforaciones en el frente del transformador.



**Figura 3.1 Perforaciones del Frente del Transformador Padmounted.**

A continuación se describe el proceso de corte actual utilizado en la empresa Ecuatran S.A.

- Se realiza los trazos sobre la plancha cortada, luego se procede a realizar el punzonado de las perforaciones que servirán de guía de las cuchillas de corte. (Figura 3.2)



**Figura 3.2 Punzonado de Perforaciones.**

- Como muestra la Figura 3.3, una vez realizados los agujeros guías se realizan los agujeros con las diferentes cuchillas de corte dependiendo del diámetro requerido, con el uso de un taladro radial.



**Figura 3.3 Perforaciones con Cuchilla de Corte.**

- El corte realizado hasta este punto deja rebabas y filos cortantes, mismos que deben ser retirados con la ayuda de una pulidora y finalmente obtener las dimensiones requeridas.(Figura 3.4)



**Figura 3.4 Frente de Transformador Perforado**

El proceso actual de corte en sus diferentes etapas no utiliza de ningún artefacto o maquinaria con tecnología CNC. La Figura 3.5 indica detalladamente el proceso actual con las actividades que intervienen en el proceso de corte con sus respectivos tiempos.

No.	Actividad					Proceso Actual		Observaciones
	Oper.	Trans.	Ins.	Demor.	Alm.	Tiempo (min.)	Distancia (m.)	
1	○	→	□	⊔	△	10	0	Rayar y trazar las perforaciones sobre la plancha
2	○	→	□	⊔	△	0	2,5	Traslado del sitio de trazado a la máquina punzonadora
3	○	→	□	⊔	△	10	0	Calibración y ajuste de punzonadora, colocación de matricería adecuada
4	○	→	□	⊔	△	5	0	Punzonado de agujeros guías de cuchillas de corte
5	○	→	□	⊔	△	0	5	Traslado del sitio de punzonado a la máquina taladradora radial
6	○	→	□	⊔	△	8	0	Calibración y ajuste de taladro radial, colocación de 2 diferentes tamaños de cuchillas
7	○	→	□	⊔	△	35	0	Taladrado de agujeros en el frente padmounted
8	○	→	□	⊔	△	0	5	Traslado del sitio de taladrado al sitio de pulido
9	○	→	□	⊔	△	15	0	Pulido de rebabas y filos cortantes
10	○	→	□	⊔	△	0	5	Traslado hacia el área de inspección
11	○	→	□	⊔	△	2	0	El supervisor se encarga de inspeccionar el producto final del proceso
	4	4	1	3	0	85	17,5	

Figura 3.5 Diagrama de Proceso para Procedimiento Actual de Corte.

### **3.2 PROCESO DE CORTE PROPUESTO.**

El proceso propuesto es el corte CNC por plasma, debido a los siguientes aspectos:

- Calidad superficial
- Rapidez y facilidad
- Adaptabilidad a máquina de corte CNC portátil
- Eliminación de operaciones secundarias

El proceso de corte por plasma se realizó en la empresa Construcciones Metálicas Gómez ubicado en la ciudad de Ambato. El Anexo II menciona algunos detalles de la empresa. Además las características de la máquina de corte y plasma se muestran en los Anexos III y IV, respectivamente.

El procedimiento consiste en la elaboración de perforaciones en una chapa metálica; perforaciones que constituyen los alojamientos para los accesorios componentes de un transformador padmounted. A continuación se describe el proceso de corte por plasma realizado.

- Se asegura la posición de la plancha metálica y se coloca la máquina cortadora en su posición de origen (X0, Y0). (Figura 3.6)



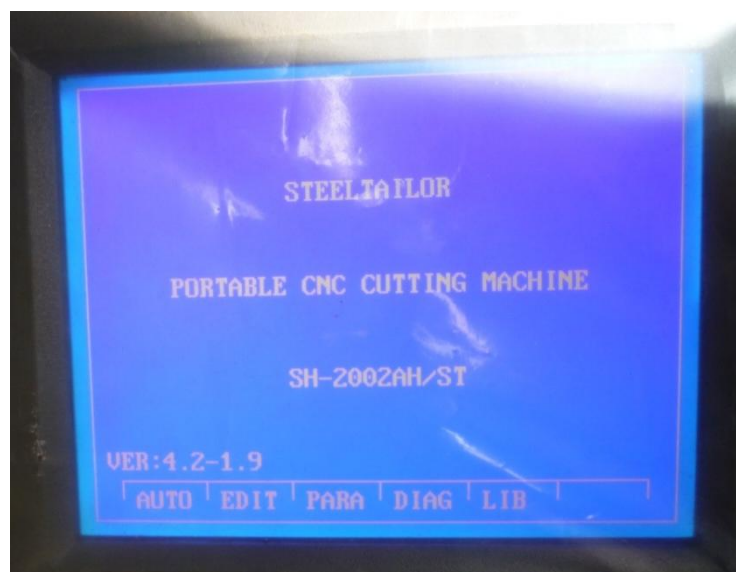
**Figura 3.6 Colocación y Fijación de Elemento de Trabajo.**

- La Figura 3.7 muestra la calibración de la máquina de corte por plasma, realizando los ajustes necesarios para comenzar el proceso de corte.

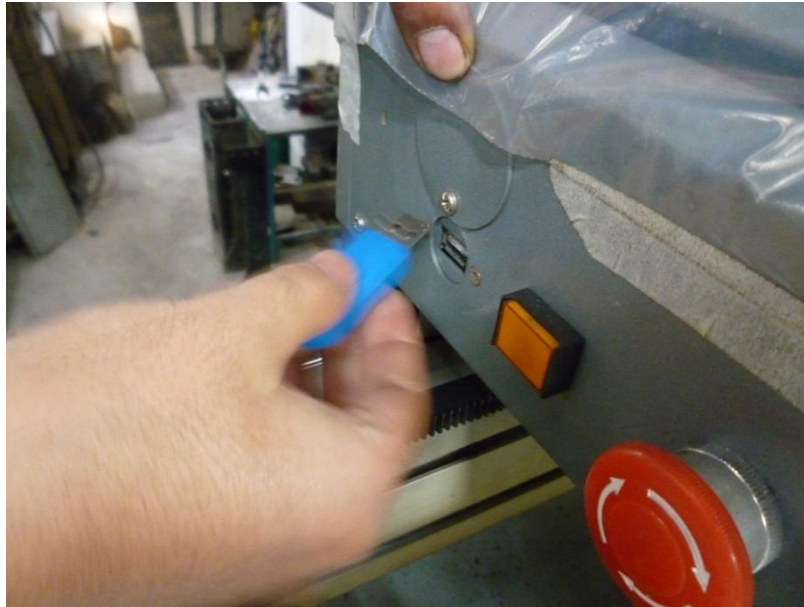


**Figura 3.7 Calibración de Cortadora por Plasma.**

- Se Inicia la máquina de corte CNC y se transfiere el programa post-procesado con anterioridad como indican las Figuras 3.8 y 3.9.

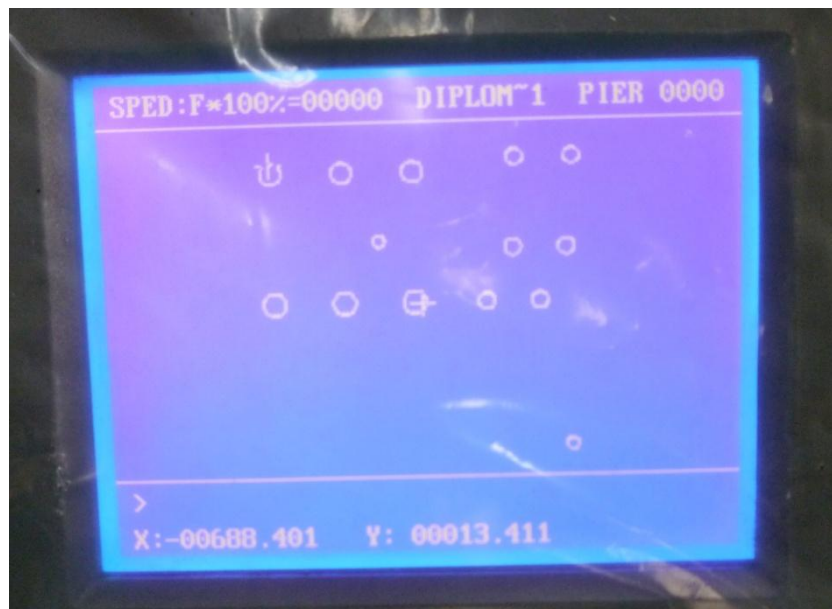


**Figura 3.8 Encendido de Máquina de Corte.**



**Figura 3.9 Transferencia de Datos.**

- La representación gráfica de las perforaciones se despliega en la pantalla de la máquina de corte CNC. (Figura 3.10)



**Figura 3.10 Interfaz Gráfica de la Máquina de Corte.**



- La Figura 3.11 y 3.12 indica la secuencia de corte desprendiendo el material en forma de anillos.



**Figura 3.11 Secuencia de Corte.**



**Figura 3.12 Material Removido.**

- Por último se verifica las dimensiones de las perforaciones obtenidas.(Figura 3.13)



**Figura 3.13 Verificación de Medidas.**

El diagrama de proceso de la alternativa propuesta muestra las actividades realizadas para el corte de las perforaciones del transformador Padmounted. (Figura 3.14).






















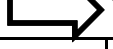



No.	Actividad					Proceso Propuesto		Observaciones
	Oper.	Trans.	Ins.	Demor.	Alm.	Tiempo (min.)	Distancia (m.)	
1						5	0	Calibración de la placha y ajuste de la máquina de corte por plasma CNC
3						6	10	Programacion CNC en software especializado
4						3	0	Corte de los agujeros
10						0	5	Traslado hacia el área de inspección
11						2	0	El supervisor se encarga de inspeccionar el producto final del proceso
	1	1	1	1	0	16	15	

Figura 3.14 Diagrama de Proceso para Procedimiento de Corte Propuesto.

## CAPITULO 4

### SIMULACIÓN DEL PROCESO DE CORTE PROPUESTO

#### 4.1 MODELADO PARA EL PROCESO DE CORTE.

El proceso de diseño y modelado del frente del transformador es elaborado con el software Autodesk Inventor. Operaciones de chapa metálica, extrusión - corte y matrices rectangulares permiten obtener el sólido del frente del transformador tipo padmounted. Es necesario generar el archivo en AutoCad donde se identifique las perforaciones del panel. El proceso de simulación requiere el archivo .dxf para el procedimiento. A continuación se describe el proceso.

- Con el archivo .ipt de Autodesk Inventor que corresponde a un sólido 3D, generamos un archivo .idw en 2 dimensiones de sus vistas principales. La finalidad es obtener la figura planar del frente del transformador, necesaria para la exportación posterior al software CAM. La Figura 4.1 y 4.2 indican el proceso descrito.

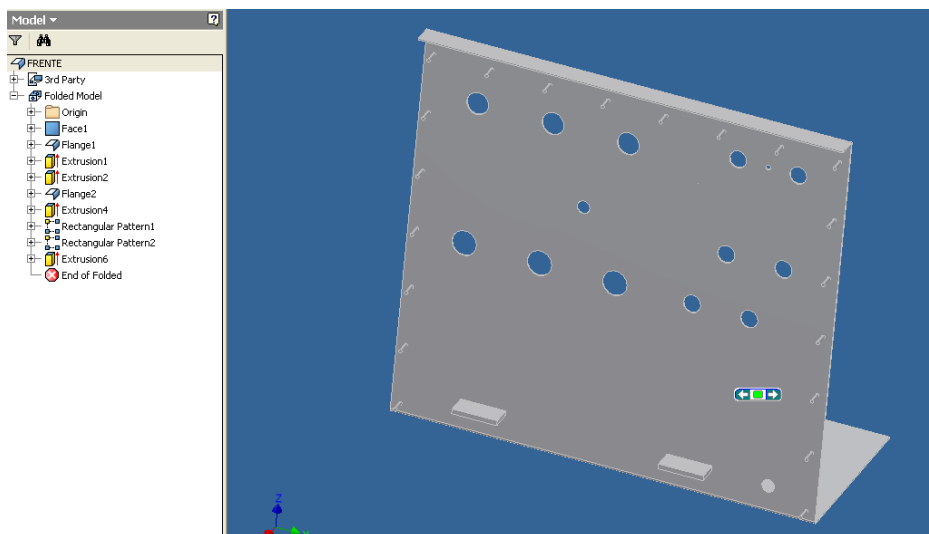
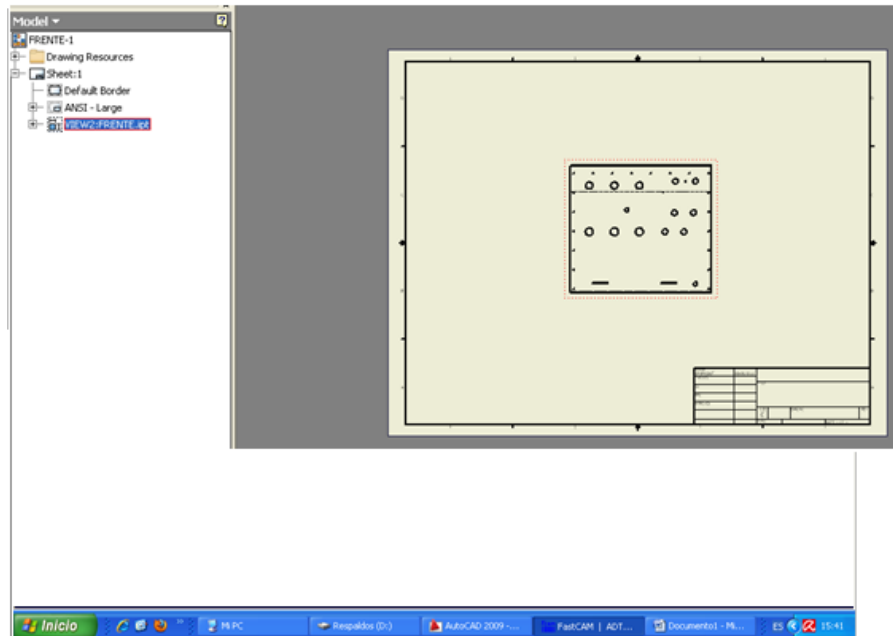
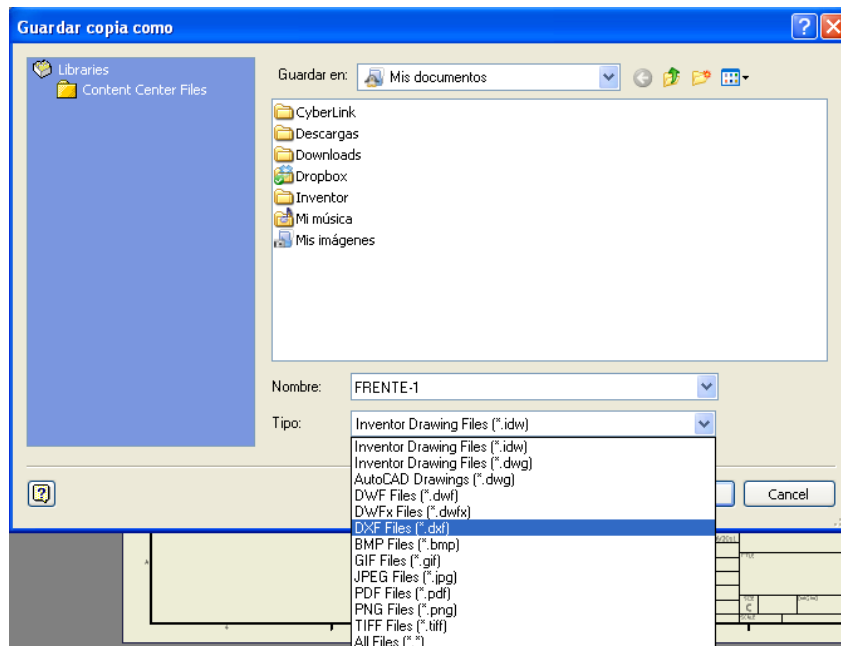


Figura 4.1 Sólido 3D en Autodesk Inventor.



**Figura 4.2 Vista Planar del Frente de Transformador Padmounted.**

- El siguiente paso es generar un archivo y migrar al programa CAM. La opción “Guardar copia como” permite convertir el archivo .idw a uno con extensión .dxf. La Figura 4.3 muestra los detalles.



**Figura 4.3 Proceso de Conversión de Archivo .idw a .dxf.**

Una vez obtenido el archivo .dxf, se lo edita en AutoCad. Es necesario centrar la pieza de trabajo en el origen de coordenadas (0,0,0). Esta actividad es fundamental, debido a que cualquier geometría que se requiera programar debe estar en concordancia con el origen en la máquina CNC.

#### **4.2 SIMULACIÓN DEL PROCESO DE CORTE CON SOFTWARE CAM**

Los movimientos de corte para realizar las perforaciones en el frente de transformador padmounted requieren de la utilización de un software especializado que garantice la fiabilidad dimensional de la operación.

El software FastCAM es uno de los más antiguos programas informáticos que incursionó en el campo de control numérico asistido por computador. Desde los años 80 ha conseguido un justo reconocimiento en el campo de la metalmecánica, principalmente. Otras áreas en la cuales tiene participación abarcan industrias que utilizan corte por gas, plasma, laser y waterjet. FastCAM es compatible con todas las combinaciones de máquinas y controladores. Además, dispone de una interfaz CAD que permite la edición de archivos procedentes de otros software. Por su gran versatilidad, FastCAM aglutina de una manera fácil y completa los procesos de corte en 2D utilizando una solución ágil en cada campo de acción. A continuación se detalla el uso del software FastCAM.

- Se importa el archivo dxf. del panel frontal para el transformador padmounted. (Figura 4.4 y Figura 4.5)

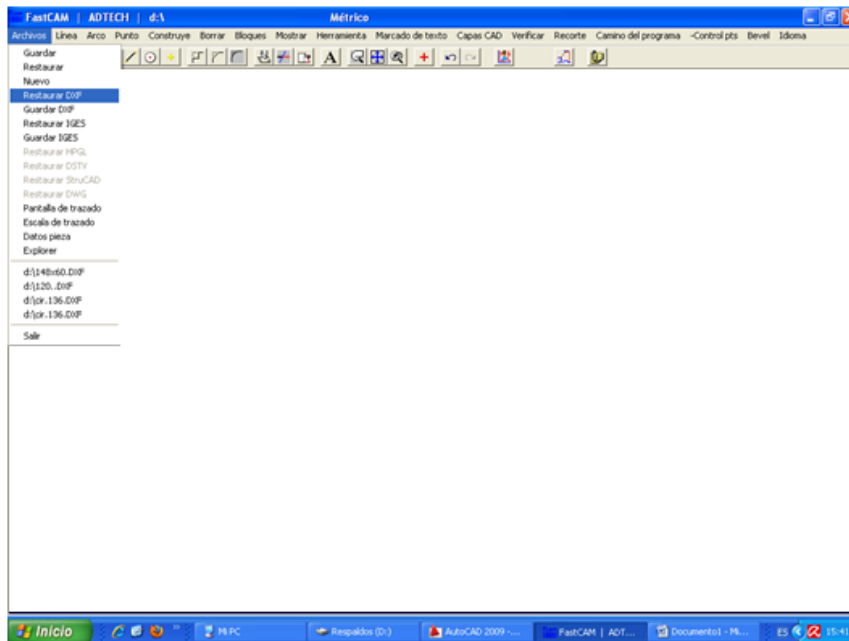


Figura 4.4 Importación de Archivo .dxf.

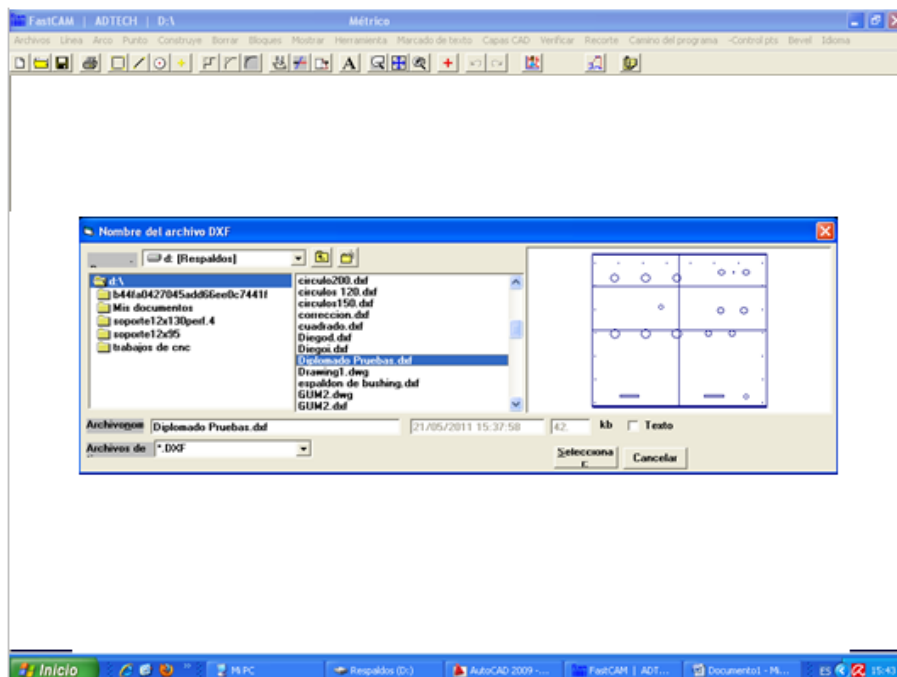


Figura 4.5 Importación de Archivo .dxf.

- El siguiente paso es la selección del patrón de corte en el menú “Camino del Programa” según se muestra en Figura 4.6. El patrón

de corte apropiado en este caso es “Cutting” como indica la Figura 4.7.

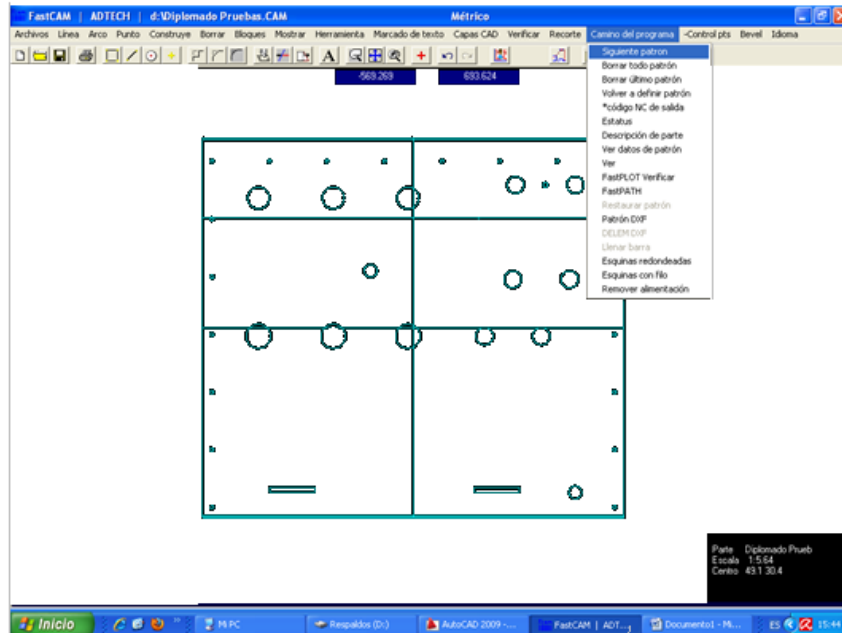


Figura 4.6 Selección del Camino del Programa.

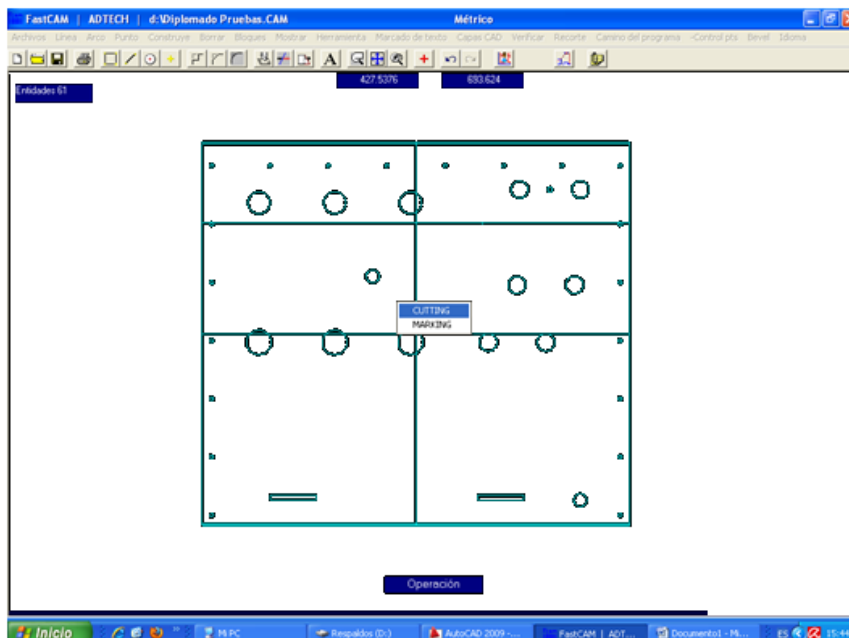
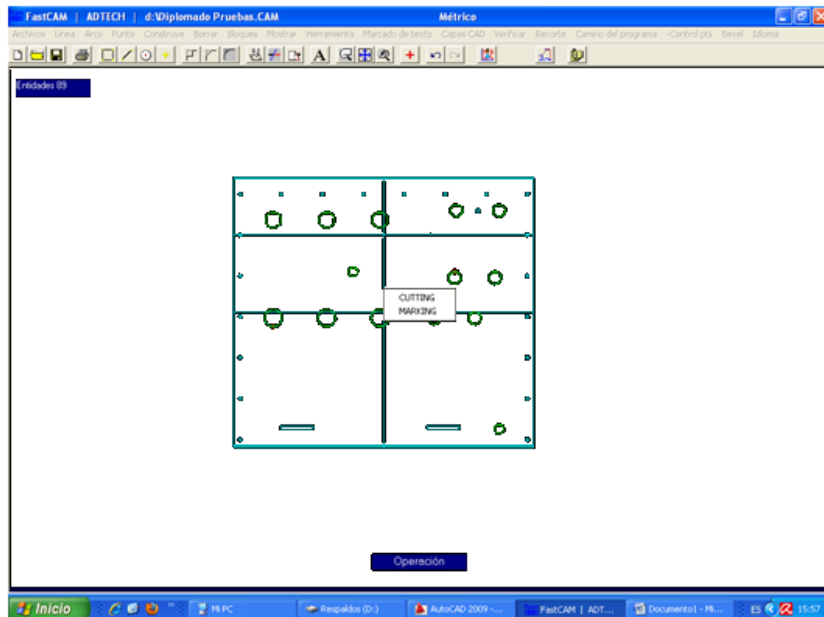


Figura 4.7 Selección del Patrón de Corte.

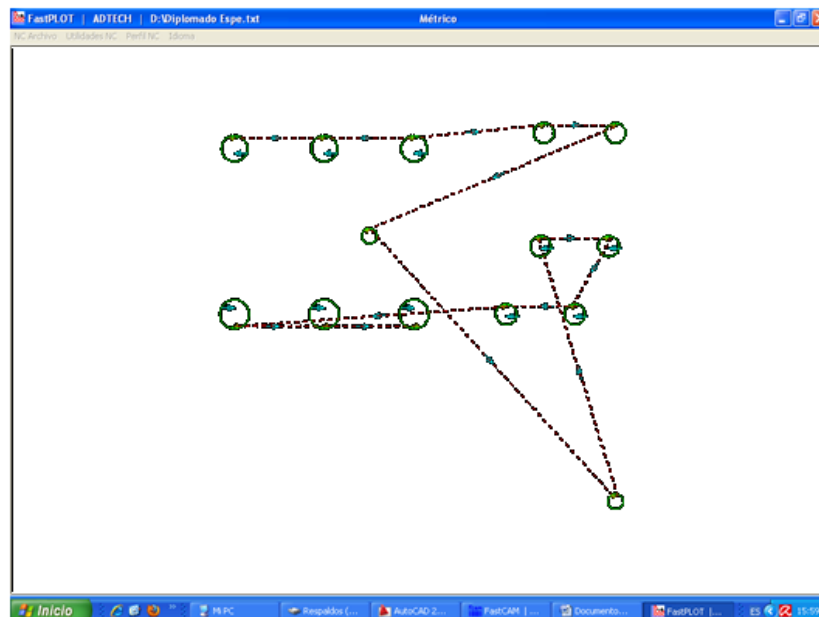


- Se eligen las perforaciones señalando el perfil de cada una de ellas (Figura 4.8)



**Figura 4.8 Escogimiento de Perfiles de Perforaciones.**

- Los movimientos de corte de la máquina se verifican a través de la simulación incluida en el software. En la Figura 4.9 se observa los movimientos de corte y desplazamiento.



**Figura 4.9 Movimientos de Corte y Desplazamiento.**

- Por último, los códigos NC de salida es el paso restante para conseguir el programa que será trasladado a la máquina. (Figura 4.10 y 4.11)

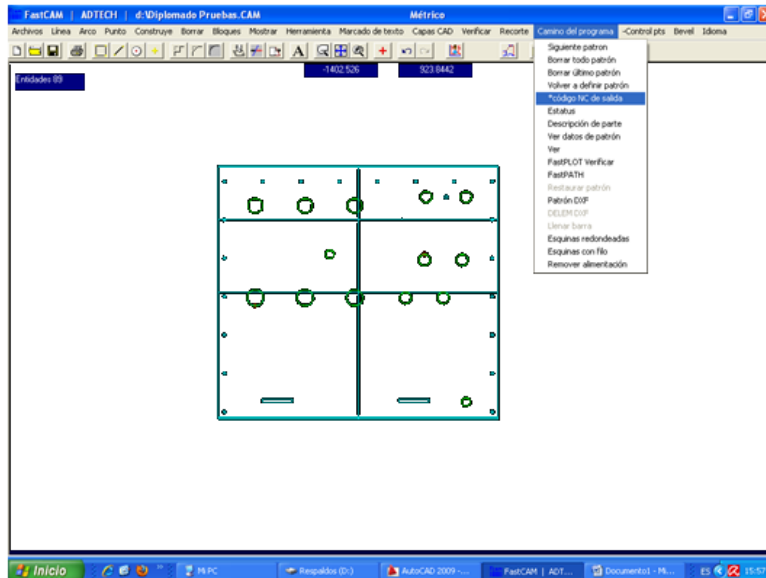


Figura 4.10 Post-procesado de Código NC

```

392 X0.Y0.
G21
G91
G42
M07
G02X5.Y5.I5.J0.
G02I0.J-29.
G02X5.Y-5.I0.J-5.
M08
G40
G00X190.
G42
M07
G02X5.Y5.I5.J0.
G02I0.J-29.
G02X5.Y-5.I0.J-5.
M08
G40
G00X190.
G42
M07
G02X5.Y5.I5.J0.
G02I0.J-29.
G02X5.Y-5.I0.J-5.
M08
G40
G00X278.Y28.5
G42
M07
G02X5.Y5.I5.J0.
G02I0.J-22.5
G02X5.Y-5.I0.J-5.
M08
G40
G00X150.
G42
M07
G02X5.Y5.I5.J0.

```

Figura 4.11 Codigos NC

Los códigos de las perforaciones corresponden a una interpolación circular horaria (G02). El parámetro "I" especifica la distancia X del centro de la herramienta en el inicio del arco con el centro del arco. En cambio "J" es la distancia Y del centro de la herramienta en el inicio del arco con el centro del arco

## **CAPITULO 5**

### **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

El método actual de corte de las perforaciones en el frente de transformadores Padmounted es largo, tedioso y con varios procesos que conllevan tiempos de espera y de preparación. El proceso de perforación corresponde a alrededor del 40% del tiempo total del proceso actual (Figura 3.5). Se consumen 35 minutos de los 85 minutos totales del proceso de corte. Es decir, casi la mitad del tiempo empleado se destina a operaciones intermedias. Al contrario, el corte de las perforaciones con el proceso propuesto, solo constituyen el 20% del tiempo total del proceso. (Figura 3.14)

Desde el punto de vista de la calidad de corte, la existencia de rebabas en los bordes de las perforaciones es casi nula. Los procesos secundarios como el pulido y limado de los filos cortantes son eliminados permitiendo así una disminución importante de tiempo debido a que las operaciones de calibración de los subprocesos ya no son necesarias.

La precisión dimensional del proceso de corte por plasma es una ventaja si lo comparamos con el proceso actual. La necesidad de incluir procesos intermedios de pulido de rebabas y filos cortantes, perjudica la precisión del proceso actual. Los procesos intermedios son realizados manualmente y consecuentemente, dan lugar a posibles errores.

Finalmente, la productividad es también un factor muy importante. Si comparamos los tiempos del proceso actual con uno tradicional de arranque de viruta, se observa una inmensa diferencia. El proceso de corte por plasma CNC fue realizado en un tiempo de 3 minutos, mientras que el proceso actual empleó 35 minutos.

## **CAPITULO 6**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

- El tiempo del proceso de corte de los agujeros en el frente del transformador utilizando la alternativa de plasma CNC, se reduce de 35 minutos a 3 minutos.
- Mediante el proceso de corte por plasma CNC se logra cortes sin rebabas, lo que garantiza que los empaques sobre su superficie no se corten ni desgasten fácilmente, reduciendo la posibilidad de liqueos o sudoraciones de aceite.
- El control numérico computarizado (CNC) garantiza el posicionamiento exacto del corte por plasma.
- El posicionamiento de las perforaciones se consigue a través de un software CAD.
- El Software FastCam posibilita la programación del proceso de corte, y la generación de los códigos G.
- Con la implementación del corte por plasma CNC se elimina el proceso de eliminación de rebabas.
- Es necesario preparar adecuadamente los equipos de corte por plasma siguiendo las instrucciones del manual de usuario y realizar pruebas en vacío antes de efectuar el trabajo sobre la plancha a cortar.
- Es indispensable llevar un control permanente de las programaciones a ocupar en el equipo de corte e instruir a un operador en la carga de programas y uso del equipo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- HAAS Automation Inc. Manual del Operador de la Fresadora.
- HANS, Appold; FEILER, Kurt; REINHARD, Alfred; Tecnología de los Metales; Editorial Reverte
- SMID, Peter; Programming Handbook, Second Edition; Industrial Press Inc.
- MITAL, Ani; DESAI, Anoop; Product Development.

## **ANEXOS**

## ANEXO II

### CONSTRUCCIONES METALICAS GOMEZ

Dirección: Calle Colombia (E. Paredes) 02-17 y Línea Férrea

#### Antecedentes.-

Surge alrededor del año de 1995, la pequeña empresa de tipo personal en referencia, contando con un crédito inicial para su equipamiento lo que le permite realizar una serie de piezas utilizados en el ensamblaje de Transformadores de distribución eléctrica.

Paulatinamente y con conocimiento de causa se han ido diversificando algunos ítems útiles al fin señalado, además la exigencia que la ensambladora mantiene respecto a sus procesos de producción, esto es bajo las normas ISO 9001-2001, se han enfocado las actividades bajo tal esquema, lo que le ha permitido a esta empresa incrementar nuevos productos y completar una línea de producción con otro tipo de maquinarias-herramientas. Como también ir planteando dentro de sus esquemas organizativos, algunos detalles como los siguientes:

#### VISION

Ser una empresa organizada bajo los lineamientos de la Gestión Industrial moderna que propende el uso eficiente y adecuado de los recursos humanos, económicos tecnológicos y socio-ambientales en



beneficio de su entorno laboral como también en la provisión de mayores y mejores elementos mecánicos a más clientes agregando valor, calidad y tecnología.

## MISION

Somos una empresa que retribuye el esfuerzo físico y mental de sus colaboradores que producen piezas y suministros metálicos para proveer a una empresa que fábrica transformadores de energía eléctrica, como también en la construcción de diversos elementos mecánicos de acuerdo a las necesidades del cliente.

# SteelTailor™ Máquina de Corte CNC Portátil

SteelTailor Power Series



- Memoria de 32M y Soporta Nesting aprovechamiento de material
- 72 horas Prueba pre-entrega
- Gratis Software de corte
- Facilidad en el uso para operador
- Servicio profesional para clientes, 24h/7d!

- Soporta Oxycorte/ Plasma Corte
- Asequible y Fácil de Usar
- Portátil y Ligera
- Precisión: 0.4mm
- Manual del Usuario en Español, Ingles, Ruso
- Anti-Plasma Ruido Plan Perfecto
- Riel Ampliable

Potencia de Entrada	180W
Peso de la Máquina Total	70.5kg
Espesor de corte	5-150mm
Rango de Corte eficaz estándar	X: 1200mm, Y: 2000mm, Z: Automaticamente
Modo de Corte	Oxi-corte O Plasma corte
Gas combustive	Oxygen
Presión de Gas Combustive	Max: 1.5MPa
Velocidad de Corte	0-600mm/min(oxicorte), 0-6000mm/min(plasma)
Potencia Eléctrica	220AC/110AC, 60/50Hz
Sensor de Altura	Automatico
Software de corte	FastCAM O MTC

**Distribuido Por:**



ANEXO III. Características Máquina CNC Portátil.

# Hypertherm®

## powermax1250<sup>®</sup> G3 SERIES™

### Handheld or mechanized plasma system for cutting and gouging metal

#### Operating data

Cut capacity	Handheld	Mechanized pierce
Recommended	7/8" (22 mm)	
Maximum	1 1/8" (29 mm)	5/8" (16 mm)
Severance	1 1/2" (38 mm)	

#### Gouge capacity

Metal removed per hour: 15 lbs (6.8 kg)  
 Depth x width: 3/16" (5 mm) x 1/8" (3 mm)

#### Key advantages

- Auto-voltage™ automatically adapts to any incoming power from 200 V – 600 V, 1- or 3-phase.
- Coaxial-assist™ jet technology delivers fast cut speeds.
- Boost Conditioner™ compensates for input voltage variations, providing improved performance on low-line voltage, on motor generators and on fluctuating input power.
- Reliability-focused design improves uptime and maximizes return on investment.
- CNC interface and Easy Torch Removal (ETR™) provide increased versatility for handheld and mechanized usage.

#### Applications

- Hand cutting
- Gouging
- Mechanized cutting
  - X-Y tables
  - Track systems
  - Pipe systems
  - Robotic systems

#### Standard system components

- Power supply
- T80 hand torch or T80M machine torch
- Extra consumables for cutting
- Work cable with clamp, 15' (4.5 m)



T80 hand torch



T80M machine torch

ANEXO IV. Características Máquina Plasma HyperthermPowermax 1250.