



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

## “DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN PANTÓGRAFO PARA EL CORTE DE METALES CON PLASMA.”

TESIS  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTAN:

RUBEN AGUILAR ROSEY  
(ÁREA MECÁNICA)

JORGE PALACIOS MARTINEZ  
(ÁREA INDUSTRIAL)

ASESOR:  
M.A. JESÚS ROVIROSA LÓPEZ



MÉXICO D.F.  
2005

m. 344577



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento más profundo a la Universidad Nacional Autónoma de México (U.N.A.M.) y especialmente a la Facultad de Ingeniería (F.I.) que nos brindó todos los recursos disponibles en ella para la realización de ésta Tesis Profesional y con ello poder obtener nuestro grado de Licenciatura.

Un agradecimiento a todos nuestros profesores de la Facultad de Ingeniería, que contribuyeron a nuestra formación profesional y que nos han permitido realizar este trabajo.

Este proyecto terminado es el logro más importante conseguido en nuestras vidas como estudiantes por que es el fruto del esfuerzo constante durante la realización y culminación del mismo, debido a que tuvimos que alternar nuestras actividades laborales con las actividades del proyecto.

Al Ing. Jesús Roviroso López, director de esta Tesis por el apoyo constante e incondicional para la realización de este trabajo.

Al personal que labora e los talleres de ingeniería mecánica, en especial a Miguel Hernández, por todas las aportaciones en diseño y manufactura para hacer realidad este proyecto, a Emilio Cruz y Miguel García por todas las facilidades y apoyo que nos brindaron durante todo este tiempo.

## AGRADECIMIENTOS

A Eduardo Chimal por su colaboración en el soporte técnico, captura y edición de esta Tesis.

Un agradecimiento especial a nuestros sinodales por los consejos y sugerencias para la culminación de éste proyecto.

# DEDICATORIAS

De Jorge

A mi mamá: Sra. Carlota Martínez Galicia

El pilar más importante de quien aprendí los valores de la vida, la persona que hizo posible mi formación universitaria.

A mi papá: Sr. Vicente Palacios Nápoles (†)

Un ejemplo de honestidad y respeto.

A mi esposa: Sra. Rufina Hernández López

Mi agradecimiento sincero por su apoyo, por su comprensión y su paciencia.

A mi hija: Karencita (†)

Por que su recuerdo siempre alimentó mi confianza en concluir éste trabajo.

A mis hijas: Lupita e Iselita

Por que las horas de ausencia y desatenciones las justifico con la presentación de este trabajo. Para que siempre tengan presente que si emprenden una tarea, con mucha voluntad y perseverancia, se alcanza el éxito.

A mis hermanos (as)

Por que aunque sea tarde, cumplí mi compromiso con ustedes.

De Rubén

A mis padres: Sr. Claudio Aguilar Díaz  
Sra. Cándida Rosey Llanos

Por darme la vida e inculcarme los valores de respeto, honestidad, trabajo, disciplina y por el amor, cariño, comprensión y cuidados brindados en mi vida.

También por todo el apoyo recibido para la culminación de mi carrera universitaria.

A mi esposa: Sra. Ma. De los Ángeles Álvarez Domínguez

Por todo el apoyo incondicional desde el inicio de este trabajo, por sus palabras de aliento para la culminación del mismo y por su amor, comprensión y sacrificios para este logro tan importante en mi vida.

A mis hijos: Rubén, Orlando, Adrián

A mis corazones les dedico muy especialmente este logro, porque ustedes son la razón de mi existir, mi motivación para superarme día a día y así poder concluir esta Tesis.

A mis hermanos: Jorge, Enrique, Silvia

Por ser unos excelentes hermanos, por contar siempre con su apoyo incondicional en todo momento y ser un ejemplo para mí al concluir también sus estudios universitarios.

A toda mi familia:

Por tener en todo momento la firme convicción de la superación.

# **TEMARIO**

**INTRODUCCIÓN**

**CAPÍTULO I - PANTÓGRAFOS**

**CAPÍTULO II - PROCESOS DE CORTE CON  
PLASMA**

**CAPÍTULO III - DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN  
PANTÓGRAFO**

**CAPÍTULO IV - RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

# INDICE

<b>Objetivo</b>	1
<b>Presentación</b>	2
<b>Introducción</b>	3
<b>Capítulo I – Pantógrafos</b>	
1.1. Antecedentes históricos	7
1.2. Geometría de los mecanismos	9
1.2.1. Mecanismo de 4 barras	11
1.3. Tipos de pantógrafos	16
1.3.1. Pantógrafos manuales (sin motor)	16
1.3.2. Pantógrafos manuales (con motor)	20
1.3.3. Pantógrafos computarizados	23
<b>Capítulo II –Procesos de corte con plasma</b>	
2.1. Introducción	29
2.2. Características generales del plasma	31
2.3. Desarrollo del proceso con arco - plasma	35
<b>Capítulo III – Diseño y fabricación de un pantógrafo</b>	
3.1. Introducción	45
3.2. Selección de material	45
3.3. Manufactura del sistema de barras	
3.3.1. Dimensiones de las barras	52
3.3.2. Proceso de maquinado	53
3.4. Articulaciones del mecanismo	61

3.4.1. Armado del mecanismo	68
3.4.2. Apoyo móvil para el soporte del mecanismo	71
3.5. Diseño y fabricación del dispositivo para la sujeción del maneral de corte	78
3.6. Trazador – seguidor del pantógrafo	82
3.7. Mesa de trabajo para el mecanismo	83
3.8. Sistema de encendido de la máquina para operación automática y corte	90
<b>Capítulo IV – Resultados y conclusiones</b>	
4.1. Resultados	93
4.2. Conclusiones	106
<b>Bibliografía</b>	108
<b>Anexo 1 - Ajustes</b>	
A1.1. Clasificación de los ajustes	A1 - 2
A1.2. Ajustes de las tazas en las barras	A1 - 3
A1.3. Ajuste del maneral con la barra	A1 - 5
<b>Anexo 2 - Equipo y accesorios del proceso de corte con arco – plasma (Harris 65J)</b>	
A2.1. Introducción	A2 - 3
A2.2. Teoría de operación básica en un equipo de corte con arco – plasma	A2 - 5
A2.3. Descripción del equipo Harris 65J	A2 - 8
A2.3.1. Máquina modelo PCA 65J	A2 - 8
A2.3.2. Antorcha NPT-4, con cable de 5.5 m, sus partes, conexión y operación.	A2 - 10
A2.3.3. Instalación eléctrica	A2 - 13
A2.3.4. Conexión de aire	A2 - 13

A2.3.5. Prueba de funcionamiento	A2 - 14
A2.3.6. Operación de la máquina	A2 - 16
A2.3.7. Cortes lejos de los extremos de la pieza	A2 - 17
A2.3.8. Recomendaciones para hacer mejores cortes	A2 - 18
A2.4 Representación simplificada del circuito electroneumático de la máquina Harris 65J	A2 - 22

### **Anexo 3 - Instructivo de operación del sistema**

A3.1 Procedimiento de operación del sistema	A3 - 2
A3.2 Tabla de velocidades de corte	A3 - 4

### **Anexo 4 – Planos de fabricación**

A4.1 Propiedades del aluminio aleaciones 6061-T6 y 6063T-5	A4 - 2
--	--------

# **OBJETIVO**

Diseñar, construir e integrar un pantógrafo al equipo de corte con arco-plasma, para la obtención de cortes mediante plantillas, adaptándolo al proceso de enseñanza como un prototipo didáctico en el corte de los materiales.

# PRESENTACIÓN

Los sistemas de corte de materiales metálicos han evolucionado de forma acelerada, tradicionalmente en los talleres de la Facultad de Ingeniería, los cortes de materiales se han realizado mediante el sistema oxiacetileno, teniendo como restricción que solamente se pueden cortar materiales ferrosos. En los talleres de la Facultad de Ingeniería, se cuenta con una máquina de corte con arco-plasma que dentro de sus ventajas tiene el poder cortar materiales ferrosos y no ferrosos, láminas y placas hasta 5/8" de espesor, además de que la calidad de los cortes es con un mejor acabado, menos escoria y con muy poca distorsión de metal.

Considerando este recurso que posee la Facultad de Ingeniería y viendo la necesidad de darle una mejor utilización, surge la inquietud de diseñar y fabricar un dispositivo que nos permita realizar cortes de mayor versatilidad en diversas formas geométricas.

Por tal motivo se decide trabajar sobre un dispositivo integrado a la máquina Harris 65J de corte con plasma que realice las funciones de cortar y copiar, lo más factible de acuerdo a nuestros requerimientos de corte para áreas más grandes se piensa en la fabricación de un mecanismo de cuatro barras tipo pantógrafo.

# INTRODUCCIÓN

## Generalidades

Generalmente en la industria metal-mecánica, el corte de las placas es una de las operaciones más importantes y debido a requerimientos en múltiples formas geométricas, se requiere de nuevos métodos, técnicas y equipos que realicen este proceso de preparación para su conformación, unión y ensamble.

La demanda de cortes complejos de materiales ferrosos y no ferrosos, ha tenido un gran incremento. Los procesos tradicionales de corte tales como: con sierra sin fin, con sierra de banda, con oxi – gas, con arco eléctrico, con prensa hidráulica, etc., han resultado insuficientes debido a los requerimientos de calidad de acabado y rapidez de ejecución. Procesos tales como el corte con arco – plasma constituyen nuevas alternativas que ofrecen grandes ventajas sobre los procesos tradicionales antes mencionados

Los procesos de corte con arco-plasma funden el metal por medio de calor que produce el arco eléctrico entre el metal y el electrodo siguiendo una trayectoria a través del metal y son capaces de cortar metales ferrosos y no ferrosos, tales como acero inoxidable, aluminio, níquel, monel, inconel, latón, bronce, cobre, manganeso, etc. Dentro de las ventajas está el que el metal no

requiere precalentamiento, produce una zona muy pequeña afectada por el calor, dando como resultado una mínima distorsión del metal.

Es así que el presente desarrollo, pretende establecer un elemento más para la realización de cortes de materiales ferrosos como de materiales no ferrosos, siempre y cuando sean materiales conductores para que se efectúe al arco proporcionado un buen acabado, con menor tiempo de proceso y que aumenta la calidad del proceso terminado.

Para la realización del proyecto fue necesario diseñar y construir los elementos y dispositivos para su integración. El diseño en ingeniería se ha desarrollado en muchas ramas industriales en todo el mundo, teniendo sus principios en los procesos de manufactura. La manufactura siempre ha sido y es en la actualidad un arte creciente y cambiante, por lo anterior los procesos pueden mejorarse o cambiarse con los avances de la nueva tecnología.

En el diseño de máquinas hay que concebir un conjunto de partes que puedan ser acopladas entre sí para obtener los propósitos deseados, definir entonces la geometría y el material de cada componente, el proceso de fabricación, el acoplamiento de la partes y todo ello hasta el último detalle, existe, una gran parte de actividad creadora en el proceso de diseño.

En este proyecto se integró un dispositivo de copiado llamado pantógrafo a un sistema de corte con plasma que es una tecnología con que

se cuenta actualmente y su aplicación aumenta día a día por las ventajas que ofrece.

El presente trabajo inicia con la presentación de los mecanismos de cuatro barras articuladas que se aplican en el dibujo a diferentes escalas llamados pantógrafos, se realizó la clasificación de los pantógrafos de acuerdo a su manipulación y aplicación, que va desde el dibujo informal, grabado y corte los cuales pueden ser manuales, mecánicos o computarizados que sirvió para la elección del mecanismo fabricado.

Debido a que el mecanismo realizará la función de copiar y cortar, se hizo la clasificación de los procesos de corte existentes, específicamente del proceso de corte con plasma, haciendo un estudio general que va desde su obtención así como su desarrollo en calidad de corte, eficiencia, costo, ventajas, equipos y accesorios.

Aplicando el mecanismo de cuatro barras se procedió a la selección del material para su fabricación, tomando en consideración sus propiedades mecánicas y costos. Utilizando el método de ponderación además de otros modificadores se determinó que el material a utilizar fue el aluminio. En el proceso de fabricación, se realizaron diferentes maquinados así como la elección de diversos dispositivos necesarios para el correcto funcionamiento del mecanismo, para la integración correcta del mecanismo con la máquina

de corte con plasma (Harris 65J), fue necesario construir una mesa de trabajo dividida en 3 secciones, trazo, apoyo y corte; fijando el mecanismo en un punto de forma tal que nos permitió un área de trabajo de 1 m de radio en una circunferencia.

Finalmente se realizaron pruebas de funcionamiento que nos permiten validar la correcta operación del sistema integrado, planteado al inicio del trabajo.

Además se integran anexos de ajustes, equipos y accesorios del proceso de corte con arco-plasma Harris 65J, instructivo de operación del sistema y planos de fabricación.

Fue de suma importancia el trabajo de análisis previo al proceso de decisión al comparar las características de las diversas posibilidades que se pueden presentar sin embargo, en el procedimiento interviene en gran parte el sentido común, la experiencia y la experimentación.

# CAPÍTULO I PANTÓGRAFOS

## 1.1 Antecedentes históricos

Pantógrafo etimológicamente proviene del prefijo *panto* (todo) y el gramema *graphien* (escribir) por lo que es un instrumento que permite hallar gráficamente la figura semejante de la otra dada.

(panto + grafo)

Instrumento que sirve para copiar dibujos aumentando o disminuyendo su tamaño, basado en paralelogramos articulados.

La historia del pantógrafo tiene sus orígenes antes del nacimiento de Cristo (2500 A.C.), puesto que sus principios son basados en geometría Euclidiana, su uso y desarrollo se ha efectuado durante milenios.

Las primeras aplicaciones de los pantógrafos fueron como máquinas copadoras para hacer duplicados exactos de documentos escritos y varios artistas lo utilizaron para reproducir dibujos; entre ellos Leonardo Da Vinci.

El pantógrafo se adoptó después a un propósito muy similar reproduciendo pinturas. Las personas primero seguían los contornos dentro de una pintura y después rellenaban con pintura.

Pero su aplicación también llegó a escultores y talleres, adoptaron al pantógrafo de manera que pudieron copiar dibujos, hasta bloques de mármol o madera. Ellos usaban las líneas reproducidas como pautas para tallar.

El avance del pantógrafo ocurrió en el décimo octavo siglo con el advenimiento de impresión del tipógrafo, que fué usado para recortar las cartas del tipógrafo. Sin su uso, cada una de las cartas tendrían que haber sido cortadas a mano. La adaptación del pantógrafo facilitó en mucho el trabajo.

Con las aplicaciones anteriores el pantógrafo se desarrolló en grabados e impresiones, la mayoría de los primeros grabados se realizaron en cavidades o aberturas, tazas, relojes, etc; para lograr esto, se diseñaron adaptadores para poder sostenerse a la máquina y poder ser retirados una vez realizado el grabado.

A finales del siglo décimo noveno, el pantógrafo tuvo un gran desarrollo que incluso podían reproducirse esculturas grandes. Todavía requerían de acabados manuales, pues era más rápido y mucho más exacto que reproducir estatuas completamente a mano<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Enciclopedia Universal Ilustrada Euro – Americana, Ed. ESPASA – CALPE S.A., Madrid, Tomo XLI, pp. 885 - 886

En el siglo XX, el desarrollo de los pantógrafos tiene un auge importante ya que se han construido pantógrafos operados manualmente, mecánicos accionados por motores eléctricos, computarizados (C.N.C.) y láser.

## 1.2 Geometría de los mecanismos

Un mecanismo es una parte de una máquina formado por elementos ligados, para producir un movimiento definido rígido. Una máquina transmite energía, mientras que un mecanismo transmite movimiento.

Existe una amplia variedad de mecanismos con los cuales nos ayudamos en diversas tareas por ejemplo:

En un sistema, cuando se hace que un punto siga determinada trayectoria, otro punto del mecanismo traza una trayectoria idéntica amplificada o reducida. La figura 1.1 muestra un dibujo del mismo.

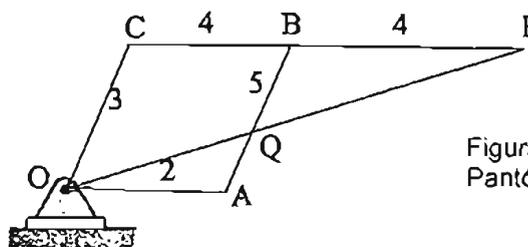


Figura 1.1  
Pantógrafo de reducción

Los eslabones 2, 3, 4 y 5 en la figura 1.1 forman un paralelogramo y el punto P está en una extensión del eslabón 4, el punto Q está en el eslabón 5 en la

intersección de una línea trazada desde O hasta P. Cuando el punto P dibuja una trayectoria, el punto Q traza una trayectoria semejante a escala reducida<sup>2</sup>.

Este mecanismo tiene muchas aplicaciones en los dispositivos de copiado, en especial de grabado y de trazo de perfiles o contornos. Uno de los usos de las contorneadoras es para fabricar dados y moldes. El punto P se utiliza como seguidor y traza el contorno de una plantilla en tanto que se coloca una pequeña fresa giratoria en el punto Q para maquinarse el troquel a escala más pequeña.

Es así como otro mecanismo nos muestra dos formas o tipos en las figuras 1.2 y 1.3. En ambas figuras la longitud OA es igual a BC; también OC es igual a AB. Por lo anterior la figura OABC es un paralelogramo, siendo O el punto fijo o polo.

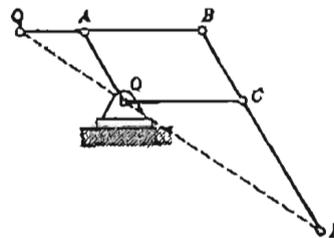


Figura 1.2  
Pantógrafo

Si colocamos el mecanismo en cualquier posición, seleccionamos cualquier punto P sobre BC, y luego localizamos un punto Q sobre AB de tal forma que O, Q y P coincidan sobre la misma línea recta, se puede comprobar que los puntos P y Q proyectarán figuras semejantes. En la forma práctica del pantógrafo P, constituye el punto delineador, el cual traza por todo el dibujo o la figura, y el punto proyector en Q reproducirá el dibujo o la figura a una escala menor.

<sup>2</sup> Mabie Hamilton H., Ocvirk Fred W., Mecanismos y Dinámica de Maquinaria, Ed. Limusa, México 1978, pp 48-49

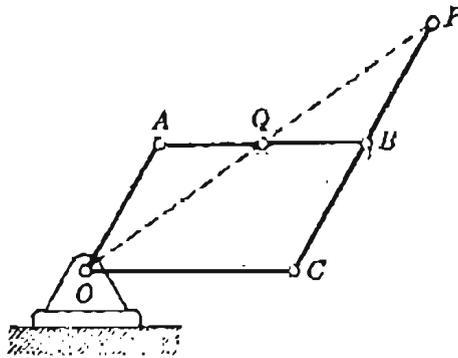


Figura 1.3  
Pantógrafo

Para comprobar las propiedades esenciales del pantógrafo, es necesario mostrar, (1) que Q permanece sobre la línea recta OP para cualquier posición del mecanismo, y (2) que  $OQ:OP$  es constante. Las figuras proyectadas por P y Q serán similares, siendo las dimensiones lineales proporcionales a las distancias OP y OQ.

En la posición inicial del mecanismo, donde Q coincide sobre la línea recta OP, tenemos triángulos semejantes QBP y OCP y  $QB:BP = OC:CP$ . Esto es cierto para cualquier posición, en vista que QB, BP, OC, CP están a distancias fijas. También QB y OC siempre se encuentran paralelas. Por lo anterior, los triángulos QBP y OCP siempre son semejantes. Resulta que Q siempre coincide sobre la línea recta OP y que  $OQ:QP = BC:CP = \text{una constante}^3$ .

### 1.2.1 Mecanismo de 4 barras

Es costumbre clasificar todos los mecanismo de cuatro eslabones planos, formados a base de pares de revolución, es decir, todos los mecanismos de cuatro

<sup>3</sup> Guillet, Cinemática de las Máquinas, Compañía Editorial continental, S.A. de C.V., México pp. 299-300

barras articulados en dos clases. La cadena de clase 1 incluye todos los mecanismos en los que la barra más corta puede hacer una revolución completa respecto de una cualquiera de las otras tres. Cada mecanismo de cuatro barras articuladas en el que ninguna de ellas puede efectuar una revolución completa respecto de otra de las tres es una cadena de clase 2.

La Ley de Grashof, dada por Harding<sup>4</sup>, establece que la suma de la barra más corta y más larga de un mecanismo plano de cuatro barras articuladas, no puede superar la suma de las otras dos barras, cuando entre dos miembros se desea una rotación relativa completa, la notación de Harding es fácil de recordar. Dividamos el mecanismo en dos partes, tales que los miembros sean opuestos, en otras palabras, un elemento de un par no puede ser adyacente al otro. Designamos como par mayor al que tiene los elementos de longitud total mayor, y llamemos a y b a cada uno de ellos, siendo  $a > b$ . El otro par es el par menor y sus miembros son c y d, de forma que  $c > d$ . En estas condiciones, la notación se resume en las siguientes desigualdades:

$$a + b > c + d$$

$$a > b$$

$$c > d$$

En donde a se opone a b y c se opone a d.

Con esta notación la Ley de Grashof se escribe en la forma:

$$a - b < c - d$$

---

<sup>4</sup> Bruce I. Harding Standardized System for Notation and Classification of the four bar linkage ASME paper 57 -F-28

que define las cadenas de clase 1, análogamente, la desigualdad:

$$a - b > c - d$$

define al mecanismo de clase 2.

Se obtienen mecanismos especiales cuando existen igualdades. El mecanismo de Watt (fig. 1.4-a) tiene  $c = d$  y, por lo tanto  $a - b > c - d$ , con lo que se trata de un mecanismo de clase 2. el punto trazador P en una parte de su trayectoria, genera, aproximadamente una línea recta.

Los mecanismos de paralelogramo (fig. 1.4-b) tienen  $a = b$  y  $c = d$  y, por lo tanto, es el caso límite entre las cadenas de clase 1 y 2. obsérvese que las manivelas c y d pueden girar la circunferencia completa. No obstante, en la posición en que todas las barras están sobre la misma recta existen puntos de cambio que una vez sobrepasados el mecanismo se transforma en uno cruzado.

El mecanismo isósceles (fig. 1.4-c) es un caso límite por ser  $a - b = c - d$ .

El punto trazador P del mecanismo de Robert (fig. 1.4-d) describe una recta aproximadamente y es una cadena de clase 1, las líneas de trazos de la figura indican que el mecanismo se define formando tres triángulos isósceles congruentes. Por tanto,  $d = c/2$ .

El punto trazador P del mecanismo de Chebyshev (fig. 1.4-e) también describe una recta aproximadamente. El mecanismo se forma mediante un triángulo 3 – 4 – 5 con la barra a en posición vertical, como se ve por las líneas de trazos de

la figura. Esto es,  $O_aB'$  es igual a 3,  $O_aO_b$  es igual a 4 y  $O_bB'$  es igual a 5. Puesto que  $a = b$ ,  $O_aA' = 5$  con lo que resulta el punto trazador  $P'$  en el centro de la barra  $d$ . Obsérvese que  $O_aP'A$  también forma un triángulo 3 – 4 – 5 y, por esto,  $P$  y  $P'$  están en una recta paralela a la barra  $c$ .

Los puntos  $P$ ,  $Q$  y  $R$  están alineados con el eje del pantógrafo representado en la (fig. 1.4-f). El movimiento de estos tres puntos es directamente proporcional a sus distancias al eje fijo.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> Shigley J. Edward, Análisis Cinemático de Mecanismos, pp. 183-187

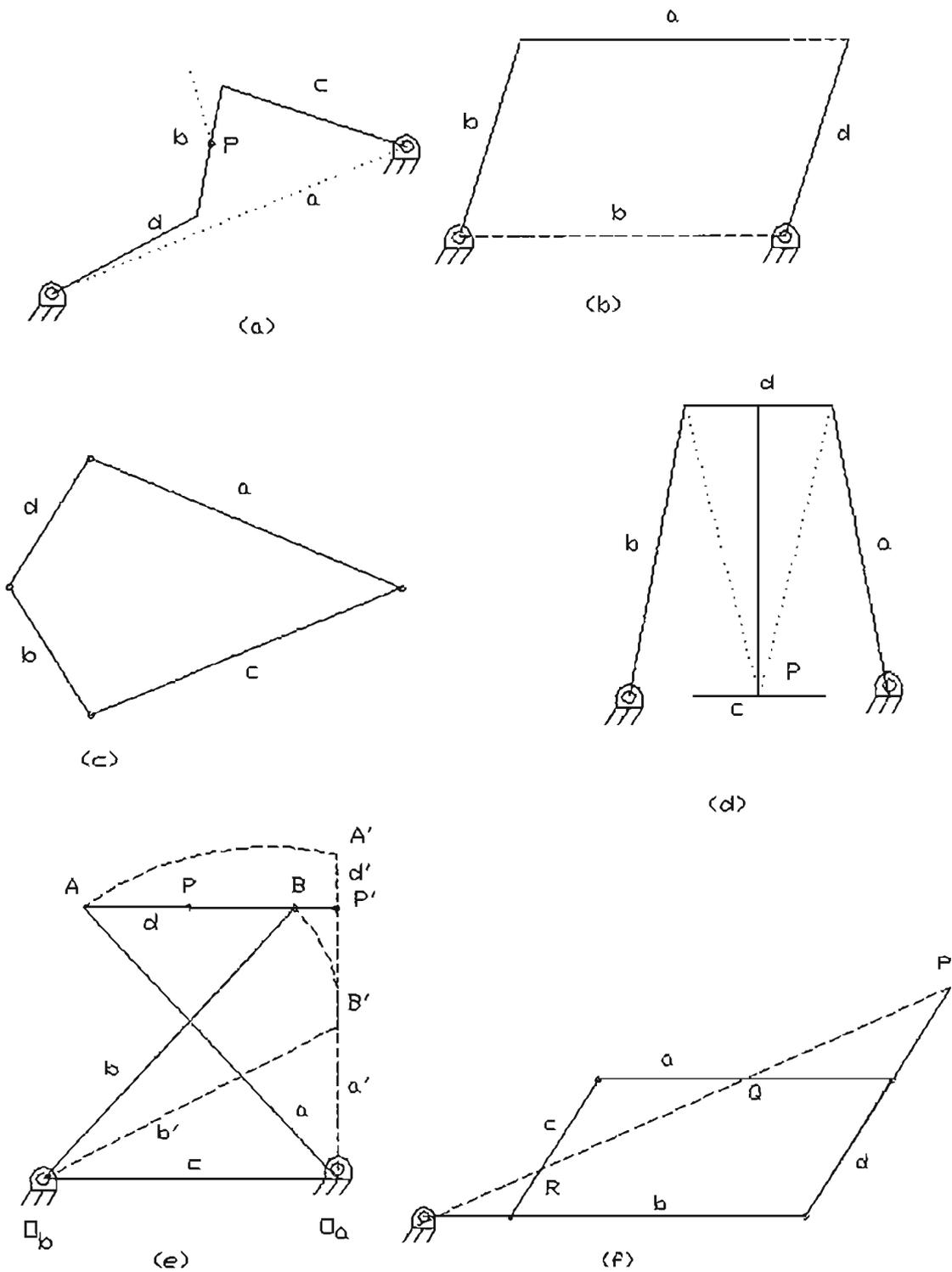
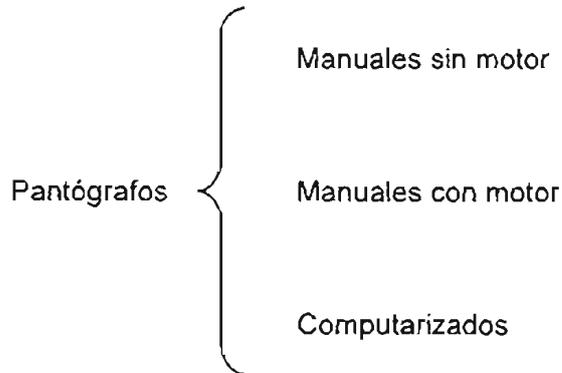


Figura 1.4  
 Casos especiales de la ley de Grashof. (a) Mecanismo de Watt;  $c=d$ . (b) Paralelogramo articulado;  $a=b, c=d$ . (c) Cadena isósceles;  $a=c, b=d$ . (d) Mecanismo de Robert;  $a=b$ . (e) Mecanismo de Chebyshev;  $a=b$ . (f) Pantógrafo.

### 1.3 Tipos de pantógrafos

Los pantógrafos se clasifican según su manipulación en:



#### 1.3.1 Pantógrafos manuales (sin motor)

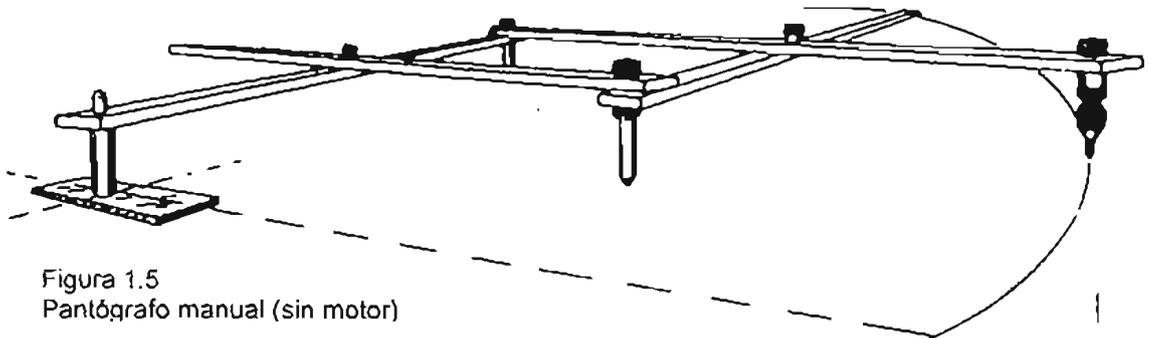


Figura 1.5  
Pantógrafo manual (sin motor)

Este tipo de pantógrafos se caracteriza por que su manipulación es totalmente manual (Fig. 1.5), su funcionamiento está basado en el principio del mecanismo de 4 barras articuladas dentro de los casos especiales de la ley de Grashof [establece que la suma de la barra más corta y más larga de un mecanismo plano de cuatro barras articuladas, no puede superar la suma de las otras dos barras].

Su principal aplicación se encuentra en el dibujo "informal", estando al alcance de cualquier estudiante de Bachillerato o licenciatura, ya que por medio de éste se pueden copiar dibujos a escala 1:1 o a escalas de ampliación o de reducción según se requiera. La figura 1.6 ilustra los elementos del pantógrafo manual.

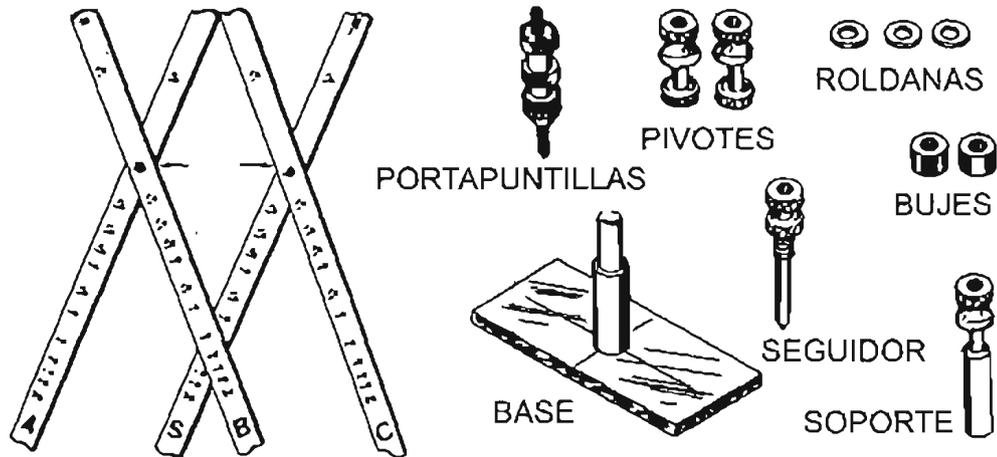
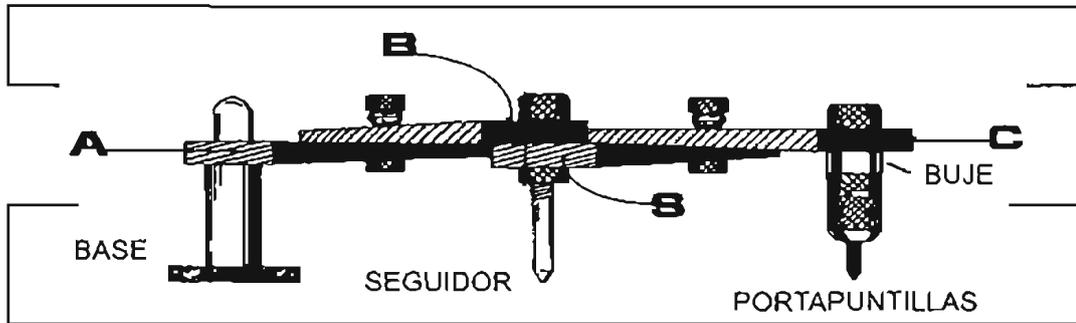


Figura 1.6  
Elementos que componen un pantógrafo manual

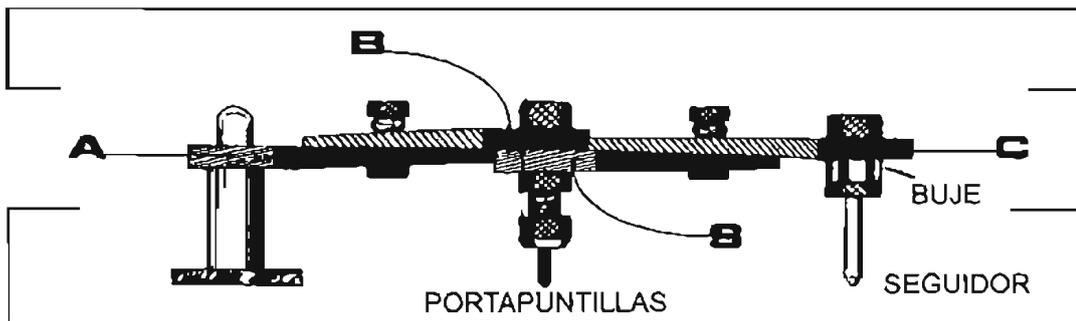
La figura 1.7 muestra las diferentes posiciones de los dispositivos del pantógrafo manual para obtener: ampliaciones, reducciones y copias al tamaño.<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Pantógrafo ALBA, México D.F., Instructivo de Operación.

AMPLIFICACION



REDUCCION



COPIA AL TAMAÑO

Coloque los PIVOTES en los orificios marcados con el No. 2 en las Regletas (A-B y S-C)

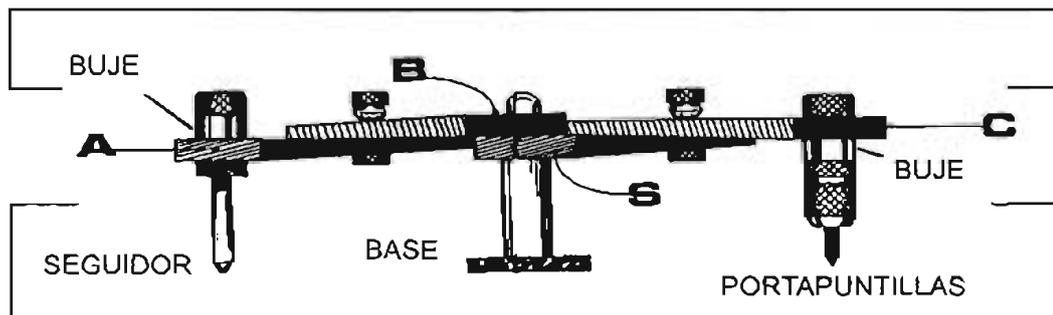
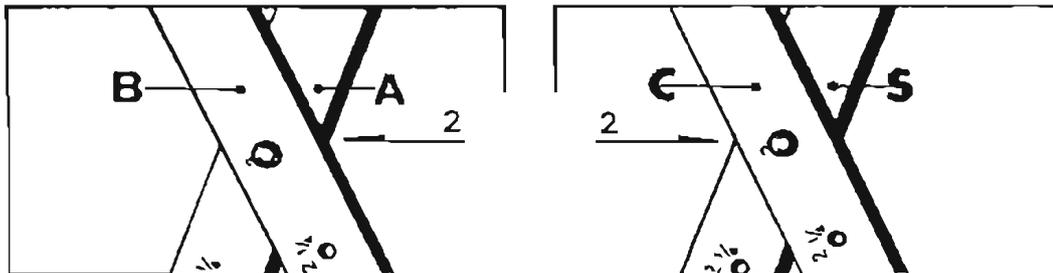


Figura 1.7

Diferentes posiciones de los dispositivos del pantógrafo manual para amplificación, reducción y copia al tamaño

Otra aplicación muy importante basada en el mecanismo de 4 abarras es el pantógrafo para grabado de joyería, placas, gafetes, señalizaciones, artículos y regalos personalizados en general.

Existen una gran cantidad de modelos de pantógrafos manuales, siendo la marca norteamericana New Hermes una de las más importantes por su fabricación y venta.

También existen pantógrafos manuales sin motor cuya aplicación principal es en la industria del grabado. Existen diferentes modelos dependiendo de la aplicación entre los que destacan: grabado de charolas, joyería (anillos, dijes, esclavas, pulseras, etc.), placas, gafetes, tazas y señalizaciones en general.

Un modelo de pantógrafo manual se muestra en la figura 1.8

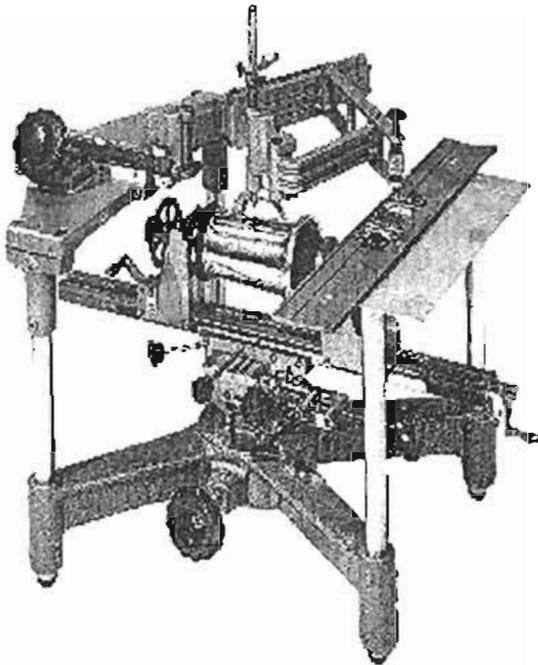


Figura 1.8  
Pantógrafo manual GTX Super  
sin motor

Las herramientas de corte son de carburo de tungsteno o punta de diamante, ilustrados en la figura 1.9.

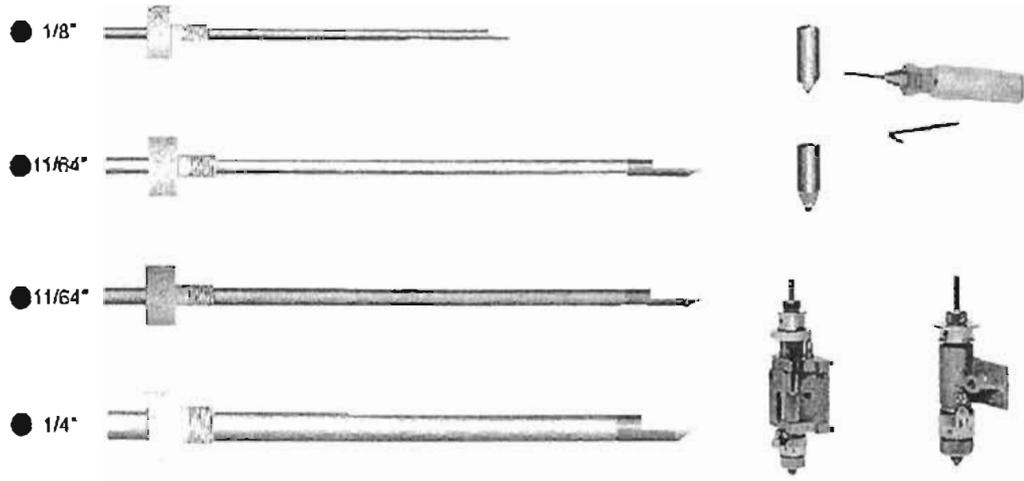


Figura 1.9  
Herramientas de corte para pantógrafos manuales

### 1.3.2 Pantógrafos manuales (con motor)

Los pantógrafos mecánicos funcionan mediante un motor eléctrico que mueve un husillo mediante una transmisión de polea – banda, la operación del mecanismo se realiza de forma manual o automática dependiendo de la aplicación.

Éstos pantógrafos pueden realizar copias al tamaño 1:1, reducción o ampliación y generalmente trabajan en áreas pequeñas (300 mm X 300 mm), teniéndose aplicaciones de grabado idénticas a los pantógrafos manuales sin motor antes mencionados.

Diferentes pantógrafos mecánicos se muestran en las figuras 1.10 (a), (b), (c), (d)<sup>7</sup>

<sup>7</sup> Imágenes de Pantógrafos obtenidas de: <http://www.dinastia.com.mx>

Los motores que utilizan estos pantógrafos fluctúan entre 1/4 – 1 1/2 hp.

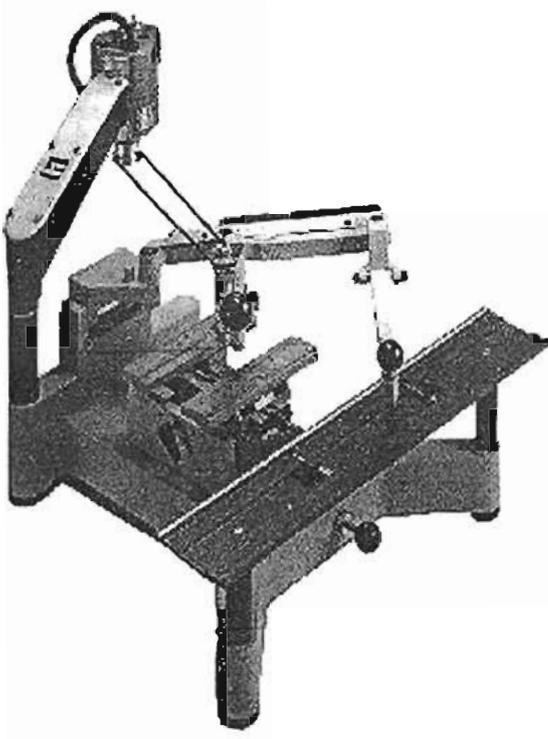


Figura 1.10 (a)  
Pantógrafo mecánico IF3

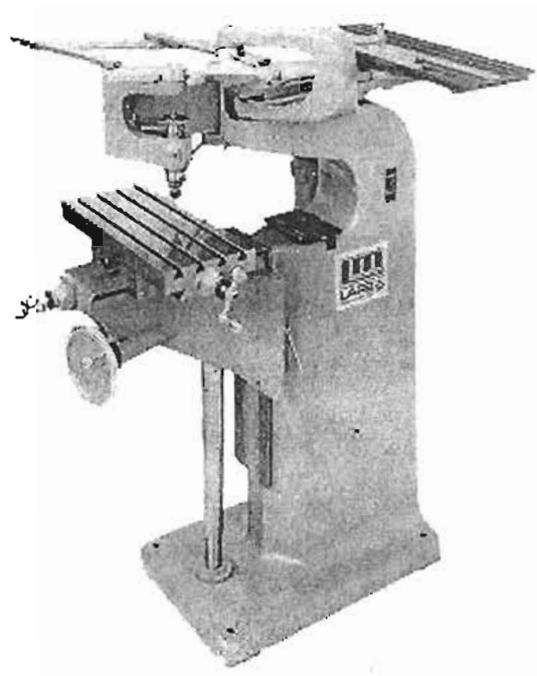


Figura 1.10 (b)  
Pantógrafo Scripta CN900

Figura 1.10 (c)  
Pantógrafo Gorton

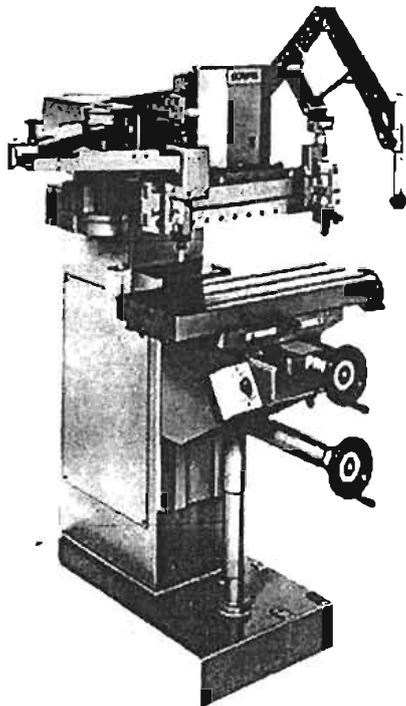
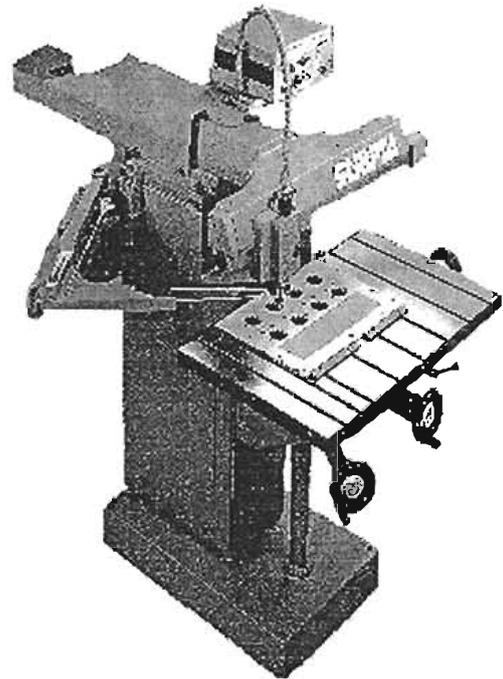


Figura 1.10 (d)  
Pantógrafo Scripta 3011

### 1.3.3 Pantógrafos computarizados

Este tipo de pantógrafo utiliza tecnología de punta basada en el uso de la computadora a la que se le instala un software especial de CAD – CAM, el cual permite crear un programa de la imagen o dibujo que se desea grabar o cortar.

Teniendo la imagen deseada programada en la computadora, para grabar o cortar se pueden manipular las dimensiones dependiendo de la aplicación y tomando en cuenta las dimensiones del material a trabajar (metal, mica, nylonid, etc.).

El proceso de grabado se realiza con una herramienta de corte con punta de diamante o carburo de tungsteno y el corte se puede realizar con rayo láser, con plasma o con oxi – acetileno. El copiado de la imagen o dibujo se realiza por medio de un scanner.

Diferentes tipos de pantógrafos computarizados se muestran en las figuras 1.11 (a), (b), (c), (d), (e)<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> Imágenes de Pantógrafos obtenidas de: <http://www.dinastia.com.mx>



Figura 1.11 (a)  
Pantógrafo IS200

Figura 1.11 (b)  
Pantógrafo 5X8

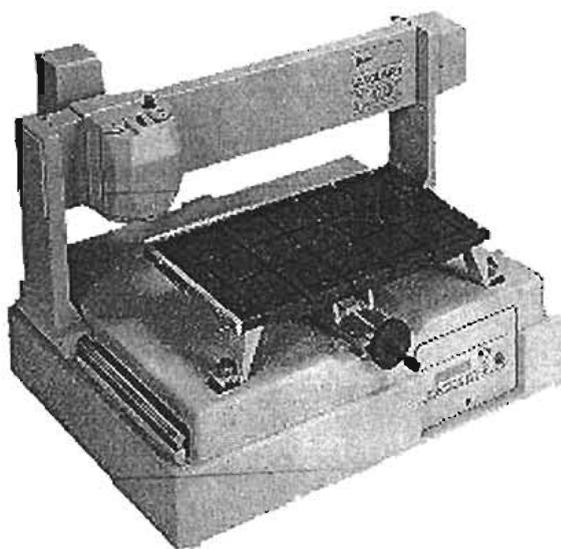
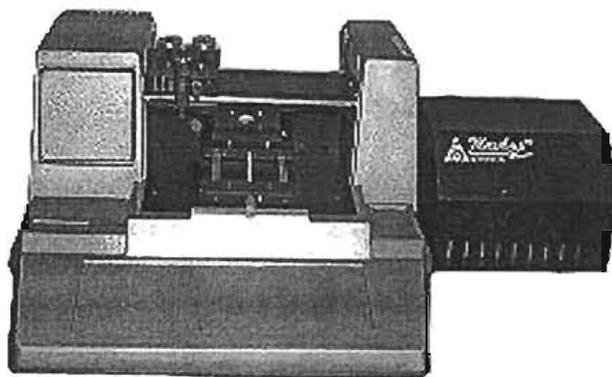


Figura 1.11 (c)  
Pantógrafo 7000 Vanguard

Figura 1.11 (d)  
Pantógrafo XM

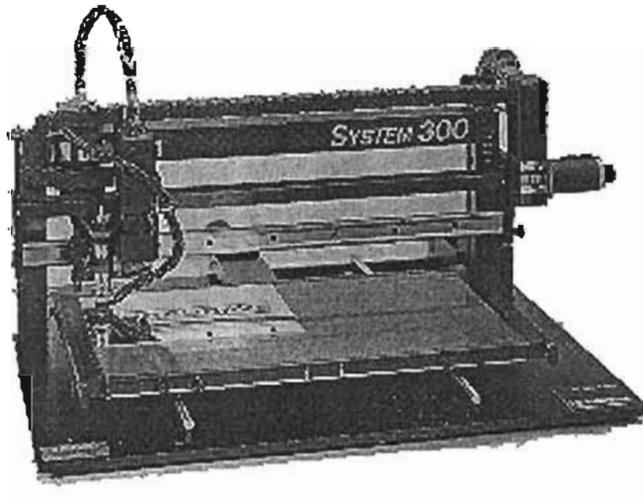
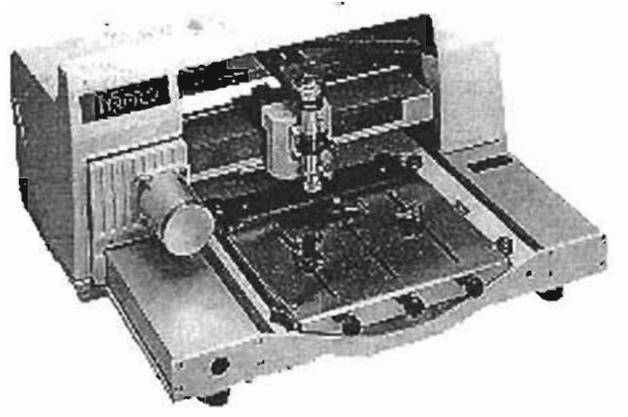


Figura 1.11 (e)  
Pantógrafo System 300

### **Pantógrafos computarizados corte con láser**

El rayo láser se ha usado para diversas aplicaciones industriales que incluyen el tratamiento térmico, soldadura, medición, así como en los procesos de taladrado, grabado y corte.

El láser es un rayo de luz generado y enfocado de tal manera que vaporiza el material cuando se enfoca en áreas pequeñas. El efecto es parecido a usar una lupa en el sol para hacer fuego. Las principales propiedades del rayo láser son:

- La luminosidad, que es la potencia emitida en determinada área, permite enfocar el rayo en un punto pequeño como resultado de la mínima dispersión de la luz.
- La monocromaticidad o estabilidad de frecuencia implica un solo color o tamaño de onda, lo que es muy importante cuando se usa para medir distancias.
- La coherencia se refiere a la habilidad del rayo de mantener uniformidad de ondas al transmitirse.

La sigla LÁSER significa Light Amplification By Stimulated Emission of Radiation. La palabra **light** se refiere a la radiación electromagnética, ultravioleta, visible o infrarroja. Las palabras claves son **amplification by simulated emission**. El láser tiene la capacidad de amplificar la luz a través del fenómeno de emisión estimulada.

Los tipos de láser utilizados en la industria difieren según el material usado para producir la luz y la potencia o intensidad de la misma dándole mayor o menor eficiencia. Además de una fuente productora de luz, el rayo láser necesita de

potencia eléctrica, un sistema de enfriamiento, complejos sistema ópticos, como espejos, lentes y otros mecanismos.

El rayo láser en muchas formas diferentes, es la herramienta más versátil que existe. Se usa para modificar materiales , como tratamiento de calor y en la industria metalúrgica para fundición y soldadura. Además es muy útil para remover materiales, así como cortar, perforar y marcar. Otras aplicaciones se encuentran en la comunicación por medio de fibra óptica, imprenta, grabación, discos ópticos y escaneo.

El láser usado para grabar ofrece ventajas sobre otros métodos. El láser produce una marca sin contacto, por lo tanto no hay desgaste de piezas como con otros métodos y se reduce el daño y deformación de materiales. La marca es permanente, concisa y limpia. También se pueden grabar materiales que de otra forma no se pueden grabar. Esto incluye madera, goma y otros.

De acuerdo a la clasificación de pantógrafo antes mencionados, por su sencilla disposición para armarse y desarmarse, por el área de trabajo disponible en los talleres de la Facultad de Ingeniería y factibilidad de maquinado, se decide fabricar un pantógrafo manual sin motor de 4 barras articuladas el cual realizará copias de figuras a escala 1:1 en donde en un extremo se trazará la figura a cortar y en el otro extremo se integrará la antorcha de la máquina Harris 65J la cual cortará la figura trazada.

Es importante mencionar que la máquina Harris 65J corta metales con plasma, motivo por el cual en el siguiente capítulo se estudiará el plasma y su aplicación en el corte de materiales.

# **CAPÍTULO II**

# **PROCESOS DE CORTE**

# **CON PLASMA**

## **2.1 Introducción**

Durante muchos años, las láminas y placas metálicas se han cortado con sopletes y con máquinas generadoras de arco eléctrico. Desarrollados originalmente para trabajos de recuperación y reparación, y posteriormente para preparar placas para soldar, estas operaciones se emplean hoy día de manera muy generalizada para cortar láminas y placas bajo formas previas destinadas a montaje y otras operaciones de manufactura. La aparición en los últimos años, de equipos de rayo láser y de bombardeo electrónico ha posibilitado el corte de metales y no metales, a velocidades de hasta 2.5 m/min. Sin dificultad se consiguen precisiones de hasta 0.25 mm y velocidades de más de 1.25 m/min. En la tabla 2.1 se presenta la clasificación de los procesos de corte con soplete y por arco eléctrico así como el corte con rayo láser y con haz de electrones.

Tabla 2.1

Procedimiento de corte	Tipo de corte
Corte con oxígeno	Corte oxigas Corte oxiacetilénico Corte gas natural Corte oxipropánico Corte oxhídrico Corte con lanza de oxígeno Corte con polvos metálicos Corte con fundente químico
Corte por arco eléctrico	Corte por plasma Corte por arco al aire con electrodo de carbón Corte por arco electrodo de carbón Corte por arco en atm. Inerte con electrodo fusible (MIG) y con electrodo de Wolframio (Corte TIG)
Corte con rayo láser	
Corte por haz de electrones	

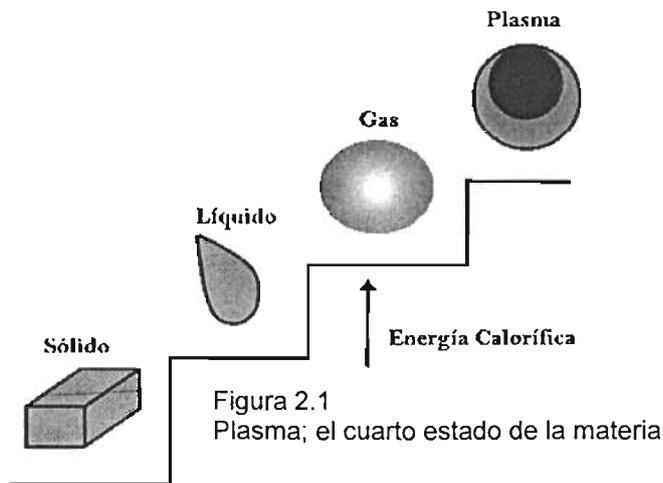
De los procesos de corte presentados en la tabla 2.1, y considerando que el proyecto a realizar es un mecanismo que se integrará a la máquina de corte por plasma (Harris 65J), se desarrollará el proceso de corte arco-plasma.

## 2.2 Características generales del plasma

### Principio básico del plasma

Una breve descripción de lo que es el plasma es la siguiente: el plasma es un estado especial de la materia a muy altas temperaturas. En algunas investigaciones se descubrió que arriba de los 10,000 °C, todo se convierte en plasma, un tipo de gas ionizado que ha sido considerado como el cuarto estado de la materia (los otros 3 son sólido, líquido y gaseoso).

La figura 2.1 muestra al plasma, el cuarto estado físico de la materia.



En cualquier material a altas temperaturas, la agitación térmica ioniza por completo los átomos de las moléculas y aumenta el calor y cuando los choques entre éstas partículas son lo suficientemente enérgicos, los átomos pierden electrones.

A temperaturas de 10,000 a 200,000 °C los átomos están separados en núcleos y electrones mezclados sin orden y agitados violentamente.

En la industria se le da el nombre de plasma a gases no totalmente ionizados cuya temperatura no pasa en general de 20,000 °C.

Cuando un gas está compuesto de un número casi igual de iones positivos y negativos se denomina plasma. Ejemplos de plasma son las atmósferas de la mayoría de las estrellas, los gases en el interior de los tubos fluorescentes de los rótulos, anuncios y los gases de la capa superior de la atmósfera terrestre. Un gas se transforma en plasma cuando la energía cinética de las partículas del gas se eleva hasta igualar la energía de ionización del gas. Cuando alcanza este nivel, las colisiones de las partículas del gas provocan una rápida ionización en cascada, y el gas se transforma en plasma. Si se aporta la suficiente energía aplicando calor, la temperatura crítica se situará entre 50,000 y 100,000 °C, elevándose a miles de grados, la temperatura requerida para mantener el plasma. Sin embargo el propio plasma se encuentra en estado neutro, ya que al hallarse íntimamente mezclados en todo el espacio ocupado sus electrones y sus iones positivos compensan sus cargas entre sí. Otro modo de convertir un gas en plasma consiste en hacer pasar electrones de alta energía a través del gas.

Para obtener el plasma es indispensable el proceso de ionización.

Los átomos son eléctricamente neutros ya que los electrones con carga negativa son iguales en número a los protones de carga positiva en el núcleo.

Ionización – es cuando un átomo deja de estar en equilibrio (neutro) debido a que roba o pierde electrones.

Para hacer que un gas pase al estado de plasma hay que desprenderle a sus átomos una parte de sus electrones y transformar dichos átomos en iones.

La ionización se puede producir por varios métodos, los más importantes son:

- a) La ionización por calor
- b) La ionización por irradiación
- c) La ionización por descarga eléctrica

#### **a) Ionización por calor**

Una sustancia cualquiera si se ioniza se calienta hasta una temperatura suficientemente elevada. Esto es lo que se llama ionización térmica, la temperatura necesaria para esta ionización será tanto más baja cuanto más débil sea la unión de los electrones, es decir, cuanto menor sea la energía de ionización del átomo o de la molécula.

#### **Energía potencial de ionización**

Es la energía necesaria para arrancar el electrón más débil a un átomo neutro gaseoso, y formar un ion positivo o catión.

Energía de ionización: cantidad de energía mínima que se necesita para separar un electrón de un átomo o de una molécula. La entidad en que se transforma el átomo al perder un electrón es un ion gaseoso monopositivo. Esta definición corresponde a la primera energía de ionización. Se denomina segunda energía de ionización a la que se necesita para extraer de un ion gaseoso monopositivo el electrón menos fuertemente unido. Las sucesivas energías de ionización se definen de manera semejante.

**b) Ionización por irradiación.**

El paso de un gas al estado de plasma está relacionado con varios procesos de interacción entre las partículas, éstas se producen al chocar las partículas entre sí o por sus interacciones con una radiación.

Cuando una radiación de alta energía incide sobre los átomos, los excita, provocando la separación de los electrones y la formación de pares de iones constituidos por electrones con carga negativa (electrones libres) y por el resto del átomo como carga positiva. La radiación es un término que se aplica genéricamente a toda clase de fenómenos relacionados con ondas electromagnéticas.

IRRADIACIÓN es el proceso de aplicar energía radiante sobre un objeto dado. Las radiaciones ionizantes (electromagnéticas o particuladas) son aquellas con energía, longitud de onda y frecuencia tales que al interaccionar con un medio le transfieren energía suficiente para desligar a un electrón de su átomo; en el

instante en el que el electrón es separado del átomo al que pertenecía se produce la ionización.

### **c) Ionización por descarga eléctrica**

La base para la ionización por descarga eléctrica, es la formación de un arco eléctrico entre la pieza de trabajo y un electrodo o entre electrodos; debido a que el arco es una descarga eléctrica sostenida cuya trayectoria pasa por unas partículas ionizadas llamadas plasma. La temperatura puede ser desde 2,800 °C (3073 K) hasta 28,000 °C en diferentes partes de un arco.

De los tres métodos descritos anteriormente, el empleado en la máquina de corte con plasma (Harris 65J) con que cuenta la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M., el plasma se obtiene por ionización con descarga eléctrica.

## **2.3 Desarrollo del proceso de corte con arco-plasma**

### **Antecedentes**

Las primeras perspectivas para el corte de materiales por el método de corte con arco - plasma fueron hechas a principios de la década de 1950, cuando inicialmente la técnica fue considerada como una alternativa del corte de acero inoxidable, aluminio y otros metales no ferrosos por medio de la flama oxi-gas, el corte de estos metales fue virtualmente más difícil de realizar por dicho método,

debido a las reacciones químicas producidas, sin embargo los experimentos de corte por medio del arco – plasma fueron de uso limitado.

La principal razón de esta limitación fue la pobre calidad del maquinado, la incapacidad de los operadores para poder maniobrar fácilmente las máquinas y poder conseguir altas velocidades de corte y en general la poca confianza que ofrecía el equipo en general.

Significativos avances han sido hechos desde el momento en que el corte con arco – plasma empezó a llamar la atención de los usuarios por las características propias del mismo.

El desarrollo del plasma tiene sus inicios en aplicaciones de soldadura en el año 1954 y a partir de 1957 se incorpora el proceso de corte con arco-plasma, en las décadas siguientes e mejora el proceso en calidad y eficiencia realizando cortes más precisos, con menos escoria, menos deformaciones, mayor rapidez de corte, equipos más compactos, menor costo de operación, equipos más económicos y de mayor maniobrabilidad, entre otras.

### **Larga durabilidad en partes consumibles**

Desde que el corte con arco plasma - aire y plasma - oxígeno habían llegado a ser más populares, la única consecuencia negativa era el ciclo corto de la vida útil de sus partes consumibles, la mayor manufacturera de sistemas de corte con arco -

plasma se encontraba trabajando para resolver este problema. Es esperado que en un futuro cercano, el tiempo de vida de los electrodos que son usados en el proceso de corte con arco - plasma aire / oxígeno sean extendidos en el mercado sustancialmente, reduciendo el costo de dicho proceso de corte, y por lo tanto este será usado mas ampliamente para cortes de aceros. "Hypertherm" ha introducido esta tecnología de larga vida en varios modelos, logrando mejores resultados de vida útil en sus partes.

### **Corte con plasma**

Prácticamente todos los metales pueden cortarse mediante técnicas basadas en el arco eléctrico, procedimientos en los cuales el metal se funde a consecuencia del intenso calor del arco y, seguidamente, se permite o se obliga a que el mismo salga de la incisión<sup>9</sup>.

Los sopletes que se emplean en el corte por plasma producen la temperatura más elevada entre todas las fuentes disponibles. Por ello, son muy útiles para cortar metales, especialmente los no ferrosos e inoxidables, imposible de cortar mediante el proceso de oxidación que provocan los sopletes de oxicorte normales.

Un plasma se define como un gas supercalentado eléctricamente e ionizado. El corte con arco-plasma, CAP (Plasma Arc Cutting; PAC), usa una corriente de plasma que opera a altas temperaturas situadas en el rango de 10,000 a 14,000 °C

---

<sup>9</sup> De Garmo E. Paul, Materiales y Procesos de Fabricación, Ed. Reverte S.A., Segunda Edición, México D.F., pp 1013 - 1022

para cortar metal por fusión. En la acción de corte dirige la corriente de plasma rápidamente hacia la pieza de trabajo, esta acción funde e impulsa el metal fundido por el canal, las características del corte con arco plasma se ilustran en la figura 2.2.

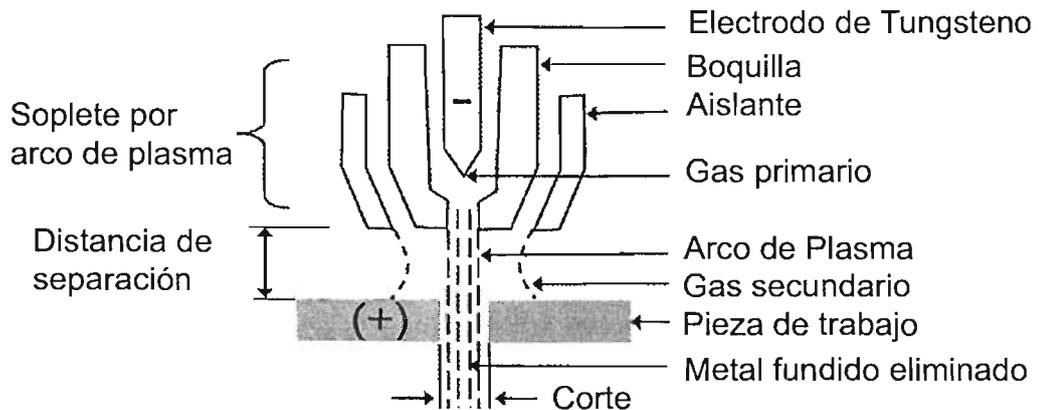


Figura 2.2 Corte con arco-plasma (PAC)

El arco del plasma se genera entre un electrodo (dentro del soplete) y la pieza de trabajo (ánodo). El plasma fluye a través de una boquilla enfriada por agua, que controla y dirige la corriente a la posición deseada del trabajo. El chorro de plasma resultante es una corriente de alta velocidad bien alineada con temperaturas extremadamente altas en su centro y con el calor suficiente para cortar a través de un metal, que en algunos casos tiene un espesor de 152 mm (6").

En los sopletes de arco no transferido, en los que el arco acaba en la boquilla se alcanzan temperaturas del orden de los 16,650 °C. En los de arco transferido, en la que el arco se forma entre el electrodo y la pieza, se alcanzan temperaturas estimadas en más de 33,000 °C, por lo tanto los sopletes de arco transferidos suelen emplearse para cortar metales, mientras que los no metales deben cortarse con sopletes de arco no transferido

Los gases usados para crear el plasma con PAC incluyen el nitrógeno, el helio, el argón con hidrógeno o una mezcla de todos estos. Tales fluidos se denominan los gases primarios en el proceso. Con frecuencia se dirigen gases secundarios o agua para rodear el chorro de plasma, a fin de ayudar a confinar el arco y limpiar el canal de metal fundido para evitar la acumulación de éste último.

La mayoría de las aplicaciones del PAC implican el corte de láminas de metal y placas planas. Las operaciones incluyen el barrenado y el corte a lo largo de una trayectoria definida. La trayectoria definida se corta ya sea mediante un soplete manual controlado por una persona o dirigiendo la trayectoria del corte del soplete bajo control numérico (NC).

Para una producción más alta y rápida se prefiere el NC, debido a que se supervisan mejor las variables más importantes del proceso, tales como la distancia de separación y la velocidad de alimentación.

El corte con arco-plasma se usa para cortar casi cualquier metal eléctricamente conductor. Con frecuencia los metales cortados mediante PAC incluyen aceros al carbono simple, el acero inoxidable y el aluminio. En estas aplicaciones, la ventaja del corte con arco de plasma sobre el NC es la alta productividad. Las velocidades de alimentación a lo largo de la trayectoria de corte pueden ser tan altas como 0.182 m/s para una placa de aluminio de 6.35 mm de espesor y de 0.084 m/s para una placa de acero de 6.35 mm de espesor. Para materiales de mayor espesor, las velocidades de alimentación deben reducirse. Por ejemplo, la velocidad de alimentación máxima para cortar materia prima de aluminio de 100 mm (4") de espesor es de alrededor de 8.5 mm/s.

A continuación se presentan los avances más relevantes en el proceso de corte con plasma.

### **Alta definición en el corte (2000)**

Se introduce el primer plasma de corte de alta definición hasta 25 mm de espesor.

### **Soplete de giro infinito (2003 – 2004)**

Se diseña y fabrica el primer soplete de plasma de giro infinito para cortes complejos.

Actualmente existen muchos fabricantes de máquinas para corte con plasma entre otras: Miller, Thermal Dynamics, PRAXAIR; las cuales ofrecen productos de alta calidad que nos brindan mayor eficiencia en ciclos de trabajo del 100%, más compactas, de fácil manejo, mayor durabilidad en partes consumibles, cortes con mayor precisión, velocidad (hasta 10"/min en espesores de 1/2"), minimizan el pandeo y ofrecen un bajo costo de operación.

Por ejemplo de los productos de vanguardia en máquinas de corte con plasma, se encuentra la PAK MASTER XL PLUS, de Thermal Dynamics la cual ofrece las siguientes ventajas:

Envía una suave y poderosa corriente de corte que combinada con los accesorios de la antorcha SureLak, hace que la PAK MASTER PLUS sea el líder en calidad de corte.

Dentro de las características que presenta la antorcha SureLak se encuentran:

- Operación más eficiente
- Mejor periodo de vida del electrodo
- Un circuito de protección de las partes consumibles, protegiéndolas de variaciones de voltaje
- Piloto automático, mantiene el arco encendido aún cuando corte sobre hoyos o moviéndose de un lado a otro
- Punta protectora la cual posee un circuito que protege las partes consumibles cuando accidentalmente la punta toca el material
- Un gatillo sensible que previene la fatiga de la mano en cortes largos
- Una entrada universal la cual permite que se pueda trabajar en una o tres fases, a 50 o 60 ciclos
- Cuenta con un dispositivo de enfriamiento de flujo el cual impide que aire sucio no fluya directamente sobre los interruptores, ayudando a prevenir acumulamiento de material que limita la vida del equipo. La antorcha en operación se muestra en las figuras 2.3 y 2.4.

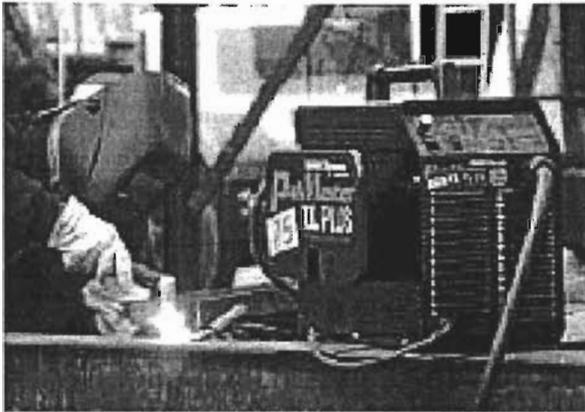


Figura 2.3  
Máquina de corte con plasma PAK  
MASTER XL PLUS



Figura 2.4  
Antorcha SureLak en operación

El sistema PAK MASTER XL PLUS corta usando corriente por debajo de 35 amperes.

La punta tocando directamente el material, da como resultado cortes limpios, aberturas angostas y pequeñas zonas de calentamiento, cualidad que no se puede obtener con antorchas convencionales.

Sujetando la antorcha propiciando que la punta quede entre 1/8" – 3/8" separada del material a cortar con altas temperaturas, la PAK MASTER XL PLUS provee un arco bien definido que resalta con menos rebaba alrededor, menos bisel en la orilla y un acabado fino en la superficie, como se muestra en la figura 2.5.

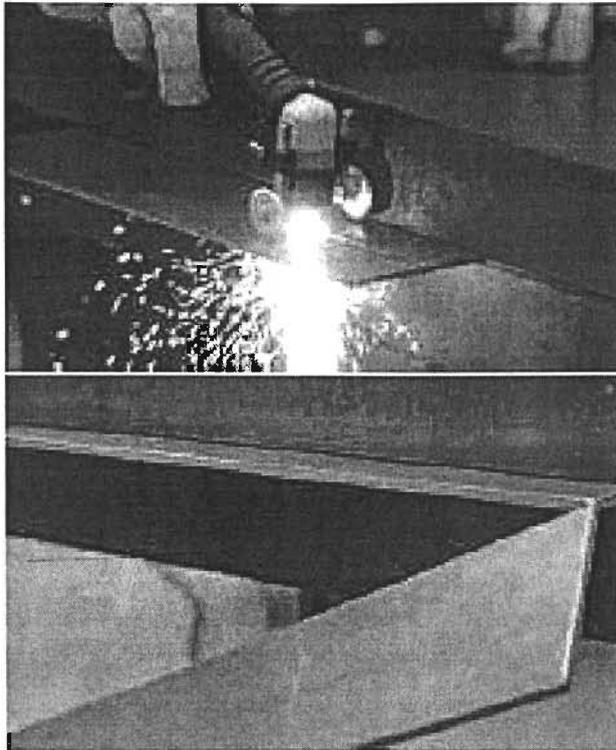


Figura 2.5  
Corte realizado con la  
antorcha SureLak

El sistema también puede ser usado para soldar y desoldar con un simple cambio de las partes consumibles y ajustando la corriente, como se muestra en la figura 2.6.



Figura 2.6  
Máquina de corte con  
plasma PAK MASTER  
XL PLUS soldando

Este sistema puede cortar hasta 1 1/4", dependiendo del modelo de la máquina, PAK MASTER 50XL LUS, 75XL PLUS y 100XL PLUS. La velocidad y la capacidad de corte pueden variar como se muestra en la figura 2.7<sup>10</sup>.

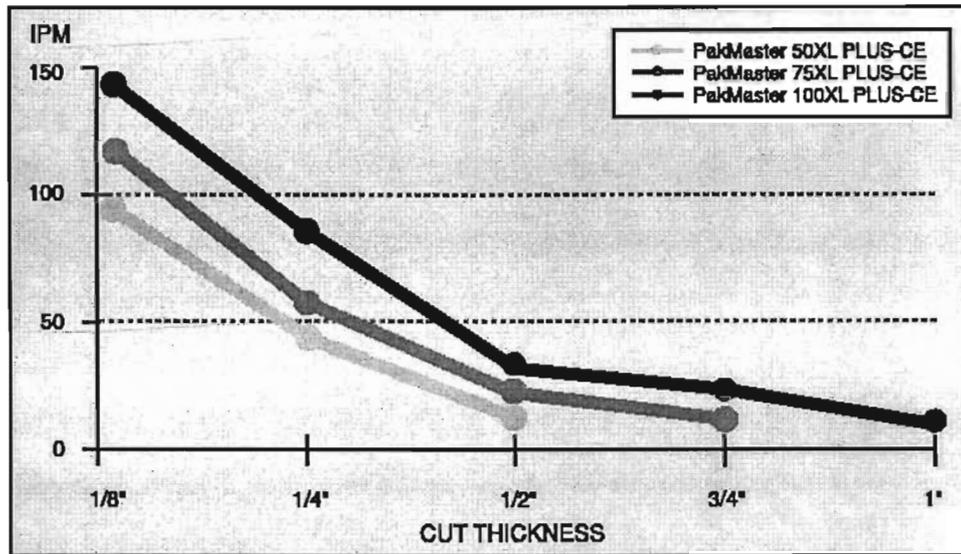


Figura 2.7  
Gráfico de velocidad y capacidad de corte de la máquina PAK MASTER XL;  
50 XL PLUS, 75 XL PLUS y 100 XL PLUS

por las ventajas que ofrece el proceso de corte con arco-plasma antes mencionadas, se procede a diseñar y fabricar el mecanismo tipo pantógrafo el cual se integrará a la máquina de corte con plasma Harris 65J con antorcha NPT4.

El siguiente capítulo describe el desarrollo del diseño y fabricación del pantógrafo.

<sup>10</sup> <http://www.thermal-dynamics.com>

# **CAPÍTULO III DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN PANTÓGRAFO**

## **3.1 Introducción**

El pantógrafo

La parte medular del proyecto es la fabricación del pantógrafo, la etapa preliminar a la fabricación es el diseño. Al principio se construyó el prototipo en madera, tomando como referencia que éste pantógrafo tiene el mismo principio de operación que los pantógrafos de uso manual. Las pruebas de funcionamiento se realizaron con el prototipo, pero se consideraron otras opciones de materiales para la construcción del mecanismo final.

## **3.2 Selección del material**

A continuación se presentan las propiedades mecánicas de algunos materiales opcionales, tabla 3.1.

TABLA 3.1- Propiedades mecánicas<sup>11</sup>

Propiedades mecánicas	Resistencia a la flexión	Densidad	Resistencia a la tracción	Dureza	Conductividad térmica relativa	Conductividad eléctrica relativa
Metal base o aleación	Kg / cm <sup>2</sup>	Kg / m <sup>3</sup>	Kg / cm <sup>2</sup>	(BHN)	Cobre = 1	Cobre = 1
Aluminio y aleaciones	350	2700	910	23	0.59	0.52
Latón	2100	8600	4360	89	0.28	0.28
Bronce	1970	8800	4640	148	0.11	0.12
Cobre	703	8900	2320	30	1.00	1.00
Acero baja aleación	3510	7800	5270	170	0.14	0.12
Acero inoxidable	2810	7900	6320	160	0.03	0.12

<sup>11</sup> Gere – Timoshenko, Resistencia Mecánica de Materiales, Segunda Edición, Ed. Iberoamericana, 1986, pp 794 - 798

### Valoración de los materiales para la selección correcta

La selección del material para la fabricación del pantógrafo se condicionó con las siguientes variables: resistencia a la flexión, densidad, resistencia a la tracción, dureza, conductividad térmica relativa y conductividad eléctrica relativa.

Utilizando el método de ponderación se obtendrán los valores que determinarán el tipo de material a utilizar.

Se obtienen los valores de las propiedades escaladas para cada uno de los materiales, mediante la siguiente fórmula:

$$B = \frac{\text{Valor numérico de la propiedad}}{\text{Valor máximo de la lista}} \times 100$$

Donde B = propiedad escalada

Obteniendo las propiedades escaladas, de cada una de las propiedades mecánicas respecto a cada material opcional de fabricación se obtienen los valores, representados en la Tabla 3.2

TABLA 3.2- Propiedades escaladas

Propiedades mecánicas Metal base o aleación	Resistencia a la flexión	Densidad	Resistencia a la tracción	Dureza	Conductividad térmica relativa	Conductividad eléctrica relativa
Aluminio y aleaciones	9.97	30.33	14.39	13.52	59	52
Latón	59.82	96.62	68.98	52.35	28	28
Bronce	56.12	98.87	73.41	87.05	11	12
Cobre	20.02	100	36.70	17.64	100	100
Acero baja aleación	100	87.64	83.38	100	14	12
Acero inoxidable	80.05	88.76	100	94.11	30	12

### Ponderación de propiedades ( $\alpha$ )

Los valores ponderados para cada una de las propiedades están en función de la importancia de la variable en la fabricación y funcionamiento correcto del pantógrafo, el porcentaje será mayor mientras más importancia tenga la propiedad considerada.

Resistencia a la flexión: 30%,  $\alpha = 0.3$

Densidad: 30%,  $\alpha = 0.3$

Resistencia a la tracción: 5%,  $\alpha = 0.05$

Dureza: 15%,  $\alpha = 0.15$

Conductividad térmica relativa: 10%,  $\alpha = 0.1$

Conductividad eléctrica relativa: 10%,  $\alpha = 0.1$

### Índice de decisión (I.D)

Tomando los resultados obtenidos de las propiedades escaladas (Tabla 3.2) y de los valores ponderados para cada propiedad, se obtiene el índice de decisión mediante la siguiente fórmula:

$$I.D = \sum_{i=1}^n B_i \cdot \alpha_i$$

Donde:

I.D = índice de decisión

B = propiedad escalada de cada material

$\alpha$  = factor de ponderación

N = número de materiales

Realizando el cálculo para cada material, se obtienen los valores respectivos,  
Tabla 3.3.

Tabla 3.3 – Índice de decisión.

Material base o aleación	Índice de decisión (I.D)
Aluminio y aleaciones	25.84
Latón	63.83
Bronce	65.51
Cobre	60.48
Acero baja aleación	78.06
Acero inoxidable	73.99

De la tabla anterior, se determina que el material que presenta el valor máximo es el acero de baja aleación; pero considerando el costo de los materiales como un parámetro importante en la toma de decisión se aplicará como modificador; en la Tabla 3.4 se muestra el costo de cada uno de los materiales.

Tabla 3.4 – Costo de los materiales.

Material base o aleación	Variable	Costo por Kg \$
Aluminio y aleaciones		53.85
Latón		87.23
Bronce		114
Cobre		97.35
Acero baja aleación		15
Acero inoxidable		(316) 67.50

El modificador se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$M = \frac{I.D}{\rho \cdot C}$$

Donde:

M = modificador

I.D = índice de decisión

$\rho$  = densidad del material

C = costo del material por Kg

Sustituyendo los valores en la fórmula anterior se obtiene el modificador para cada material, mostrados en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5 – Modificador

Material base o aleación	Modificador (M)
Aluminio y aleaciones	$1.77 \times 10^{-4}$
Latón	$8.50 \times 10^{-5}$
Bronce	$6.53 \times 10^{-5}$
Cobre	$7.00 \times 10^{-5}$
Acero baja aleación	$6.67 \times 10^{-4}$
Acero inoxidable	$1.05 \times 10^{-4}$

De la Tabla 3.5, se determina que las dos mejores opciones de los materiales a utilizar son: acero baja aleación y aluminio.

La facilidad del maquinado y la resistencia a la oxidación nos determinan que el material más adecuado para la fabricación del mecanismo es el aluminio.

### 3.3 Manufactura del sistema de barras

#### 3.3.1 Dimensiones de las barras

El mecanismo se diseñó con 4 barras, para las cuales inicialmente sus dimensiones son:

- Dos soleras de 1200 mm de longitud, 50.8 mm de ancho y 12.7 mm de espesor.
- Dos soleras de 600 mm de longitud, 50.8 mm de ancho y 12.7 mm de espesor;

### 3.3.2 Proceso de maquinado

#### Maquinado de las ranuras en el eje longitudinal de las barras

Para evitar la flexión de las barras que pudiera provocar una deformación debido a las dimensiones, a las 4 soleras se les maquinó una ranura a lo largo de su eje longitudinal, logrando una disminución del 50% del peso total de cada una de las barras.

Para facilitar el maquinado de la ranura central en cada una de las barras, se procedió al barrenado de cada una con un juego de brocas de diferentes medidas (1/4", 5/16", 3/8", 1/2", y 3/4") a lo largo del eje longitudinal, ilustrado en la figura 3.1.



Figura 3.1  
Barrenado a cada una de las barras, para facilitar el perfil deseado de la ranura.

El maquinado de la ranura se realizó en una máquina fresadora vertical, utilizando como herramienta un cortador recto de 3/4" de diámetro; dicho cortador facilitó la eliminación del material sobrante, logrando el perfil deseado de la ranura, figura 3.2.

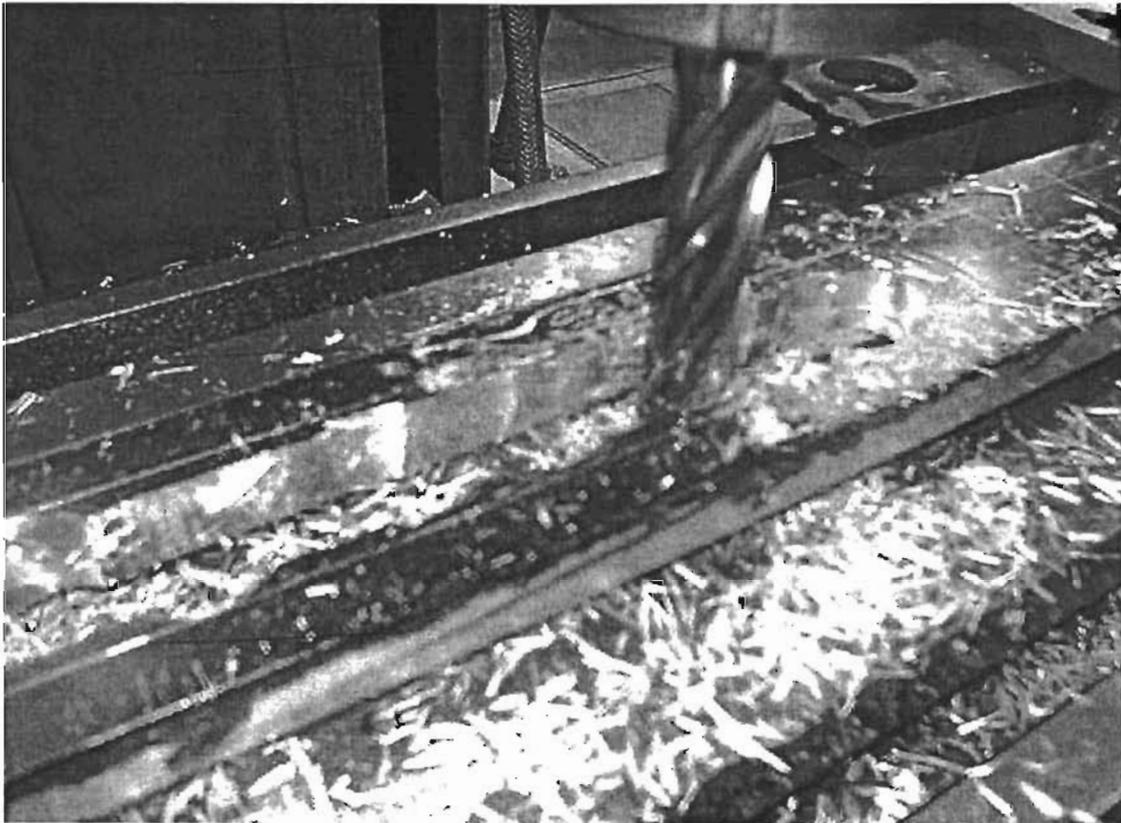


Figura 3.2  
Eliminación del material sobrante de la ranura

Es importante mencionar que el refrigerante que se empleó en el maquinado fue petróleo, cuya viscosidad es baja y facilita el corte del material, ya que el aceite proporcionado que habitualmente se utiliza en el taller no cumple con la función de refrigerante cuando se trabaja con aluminio, figura 3.3.



Figura 3.3  
Finalizando el perfil deseado de la ranura

El aspecto final de las ranuras, se ilustra en la figura 3.4.

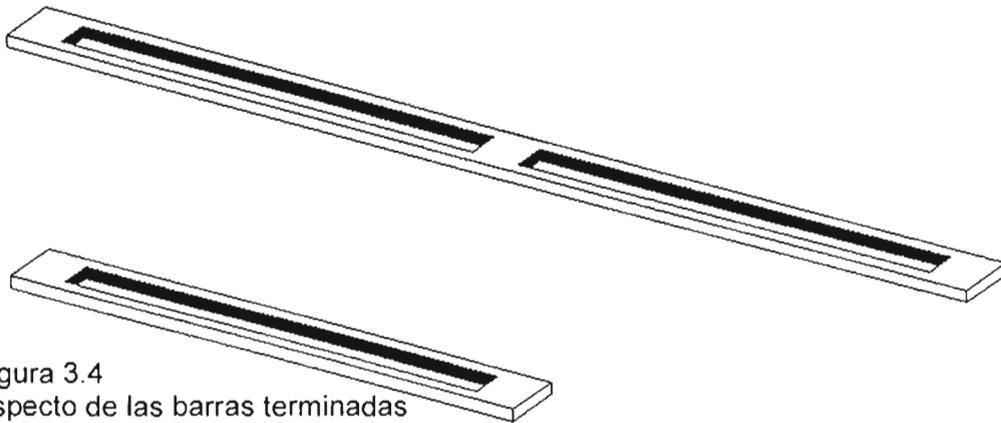


Figura 3.4  
Aspecto de las barras terminadas

### **Maquinado de los perfiles circulares de las barras**

Por estética y para evitar que los extremos de las barras se dañen, se diseñaron estas con un radio en los extremos. Para realizar los radios se tomaron en cuenta dos alternativas.

#### Realización

- Perfiles con ajuste de banco mediante arco – segueta y lima.
- Perfiles mediante maquinarlo con fresadora.

#### Maquinado

Con la primera opción no se logró un buen acabado aunque su realización es más rápida y simple.

Con la segunda opción se logra un excelente acabado, aunque su realización fue más complicada, para lograr el perfil de los radios deseados, se colocó una mesa divisoria en la fresadora, se diseñó y fabricó un cilindro de dos secciones para fijarlo en el centro de la mesa divisoria para la sujeción de las barras; como se muestra en las figuras 3.5 y 3.6.

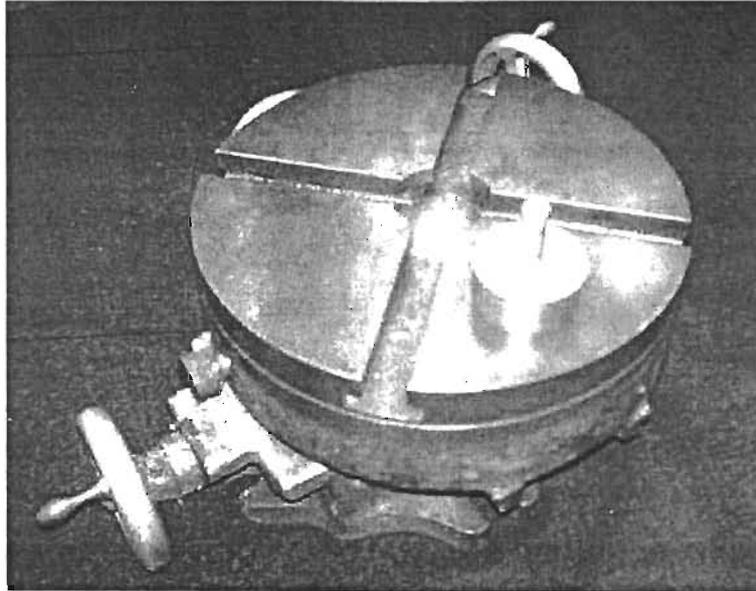


Figura 3.5  
Mesa divisoria y cilindro de dos secciones

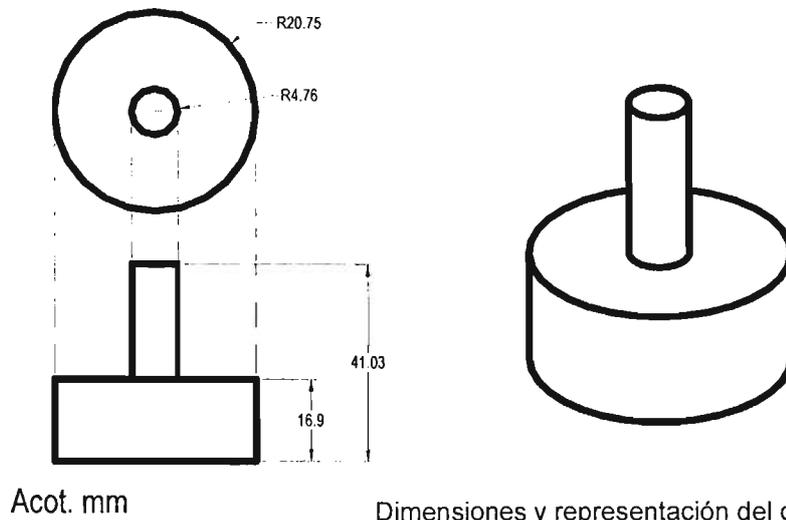


Figura 3.6  
Dimensiones y representación del cilindro de dos secciones

El dispositivo se insertó en la mesa divisoria.

En la sección de menos diámetro del dispositivo se fijaron cada una de las barras, haciendo coincidir el centro de la mesa divisoria con el centro del dispositivo y con el

centro de los barrenos hechos a las barras en los extremos. Se barrenaron cada una de las barras con una broca de 3/8" inicialmente para finalmente ser barrenado con una broca de 1/2", como se muestra en la figura 3.7.

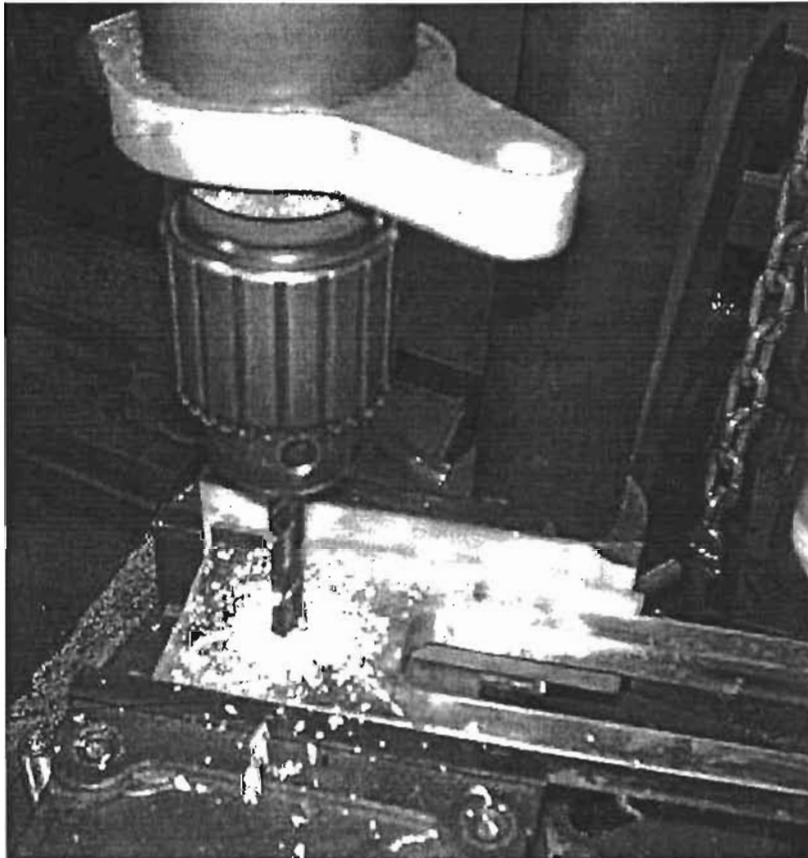


Figura 3.7  
Barreno hecho a los extremos de las barras

Se insertó cada una de las dos barras en la sección de menor diámetro del dispositivo colocado en la mesa divisoria sujetándola perfectamente, como lo muestra las figuras 3.8 a 3.10.



Figura 3.8  
Iniciando el maquinado del perfil circular



Figura 3.9  
Maquinando el perfil circular



Una vez sujeta la barra se consiguen 4 grados de libertad para el maquinado; el del eje X, Y, y Z con la fresadora y el movimiento angular ( $\theta$ ) con la mesa divisoria, cabe mencionar que con la mesa divisoria también se pueden realizar movimientos en el eje X y Y. Finalmente se maquinaron todos los perfiles circulares deseados como lo muestra la figura 3.11.

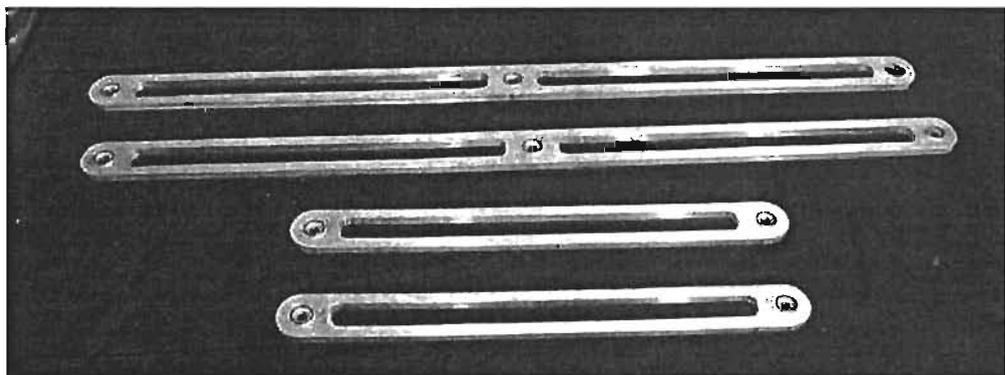


Figura 3.11  
Perfiles circulares maquinados a las 4 barras

### 3.4 Articulaciones del mecanismo

Para la unión del mecanismo se presenta la disyuntiva de la sujeción de las barras.

¿Qué dispositivo utilizar para la unión? Se consideran las siguientes opciones:

1. Bujes y flecha
2. Cojinete de bolas y flecha
3. Cojinete cónico y flecha
4. Cojinete cónico para eje de bicicleta

La elección correcta de la articulación depende de los siguientes parámetros: de condiciones tales como desplazamiento radial y axial, costo, disponibilidad en el mercado, factibilidad en el maquinado y ensamble. Para poder realizar la mejor elección se ponderan los parámetros anteriores como se indica a continuación.

#### Factores de ponderación

Sin desplazamiento		Axial	15%
		Radial	15%
Costo			40%
Disponibilidad en el mercado			15%
Factibilidad de maquinado y ensamble			15%

Los porcentajes de ponderación se determinaron de acuerdo a la importancia de nuestros requerimientos, la Tabla 3.6 muestra los diferentes niveles de ponderación asignados

Para realizar la evaluación de cada uno de los parámetros se consideran los siguientes niveles.

Tabla 3.6 – Niveles de ponderación a considerar para la selección de las articulaciones.

Variable		Niveles de ponderación		
Sin desplazamiento	Radial	Excelente 15%	Bueno 10%	Regular 5%
	Axial	Excelente 15%	Bueno 10%	Regular 5%
Costo		Bajo 40%	Medio 20%	Alto 10%
Disponibilidad en el mercado		Fácil 15%	Complicado 10%	Difícil 5%
Factibilidad de maquinado y ensamble		Fácil 15%	Complicado 10%	Difícil 5%

Nota: la suma de los valores en forma vertical más alta es el ideal (100%)

En la Tabla 3.7, se muestran los valores de las diferentes opciones de acuerdo a los niveles de ponderación de la Tabla 3.6.

TABLA 3.7 - Cuadro comparativo

Parámetros Opción	Desplazamiento		Costo	Disponibilidad en el mercado	Factibilidad en el maquinado y ensamble	% total
	Radial	Axial				
Bujes y flecha	15	10	20	15	5	65
Cojinete de bolas y flecha	15	10	20	15	10	70
Cojinete cónico y flecha	15	15	10	5	10	55
Cojinete cónico para eje de bicicleta	15	15	40	15	10	95

De acuerdo a los resultados obtenidos en el cuadro comparativo, la opción que cumple con las mejores condiciones son los cojinetes cónicos para eje de bicicleta.

## Ensamble de las barras mediante cojinetes cónicos para bicicleta

### Componentes de los cojinetes cónicos para bicicleta

Cada cojinete consta de los siguientes elementos:

- Una taza
- Un rodamiento de bolas
- Un cono
- Un eje

Como ilustra la figura 3.12.

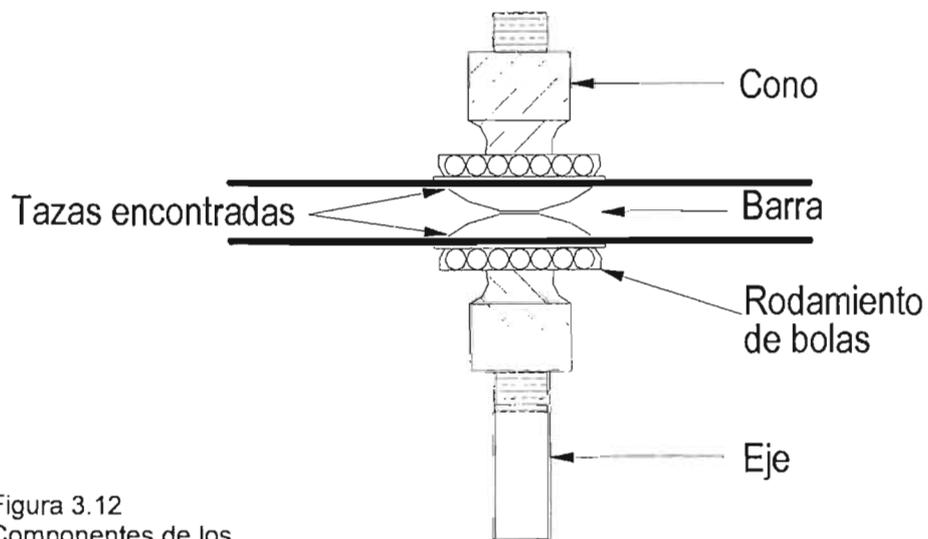


Figura 3.12  
Componentes de los  
cojinetes cónicos para  
bicicleta

Eje de bicicleta

### Montaje de cojinetes cónicos para bicicleta

El montaje se lleva a cabo dependiendo de las características del cojinete, para este caso particular se procede a colocar en primer lugar la taza para lo cual se le aumentan las dimensiones a las barras de los barrenos ya existentes, primero con un cortador de 7/8" y finalmente con una broca de 15/16", realizando la operación en la máquina fresadora vertical, como se ilustra en la figura 3.13.



Figura 3.13  
Barrenado para la colocación de las tazas

Las tazas de los cojinetes deben quedar permanentemente fijos incrustados en los barrenos hechos a las barras, por lo cual el diámetro de la taza es mayor 5 milésimas de pulgada (0.005"), que el diámetro de los barrenos; de acuerdo a las dimensiones de los elementos a acoplarse (diámetro del barreno y taza) se llevó a cabo mediante el ajuste a presión, figura 3.14.

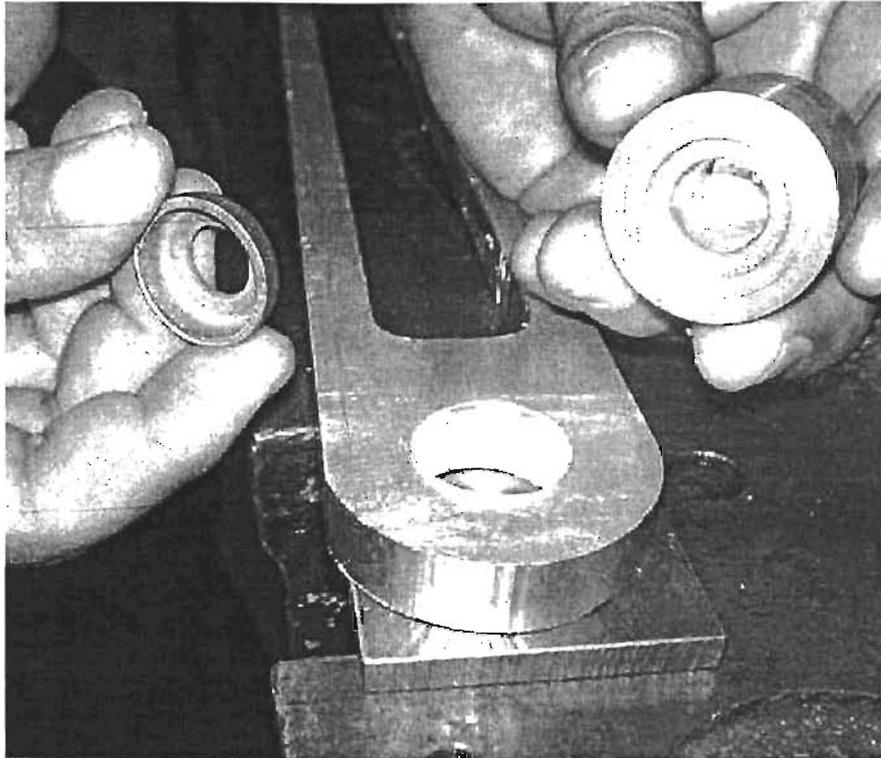


Figura 3.14  
Taza antes de acoplarse a la barra

#### AJUSTE A PRESIÓN (ver anexo 1)

Es importante mencionar que cada barreno lleva dos tazas encontradas como lo indica la figura 3.15.

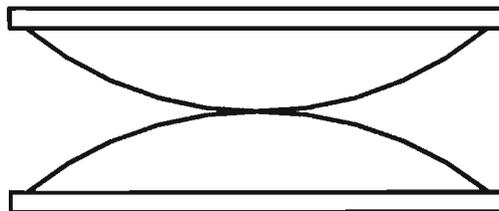
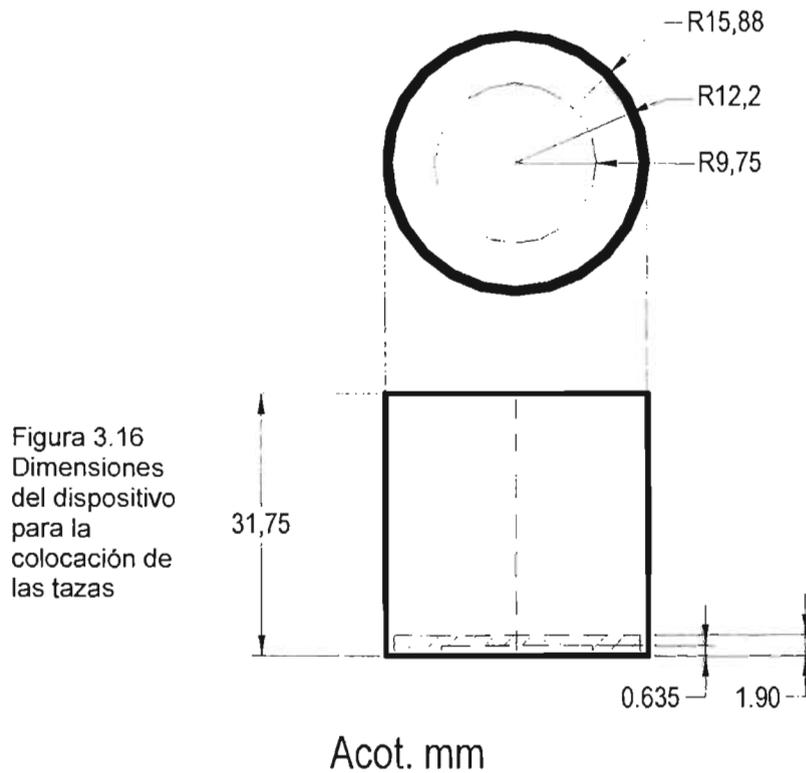


Figura 3.15

Tazas encontradas para baleros

La operación del montaje se realizó con una prensa manual, el sistema consta de dos tazas encontradas como se mencionó anteriormente. Para realizar el montaje se tuvo que diseñar y fabricar un dispositivo que permita un ajuste preciso, el dispositivo tiene la forma de la figura 3.16.



El montaje de las tazas se ilustra en la figura 3.17, utilizando la prensa manual (chango).



Figura 3.17  
Montaje de las tazas en las barras

### 3.4.1 Armado del mecanismo

Una vez colocadas las tazas en las barras, se procede a armar el mecanismo tipo pantógrafo de 4 articulaciones.

El pantógrafo se diseñó para copiar dibujos en escala 1:1 por tal motivo la colocación de las barras tendrá la siguiente disposición, figura 3.18.

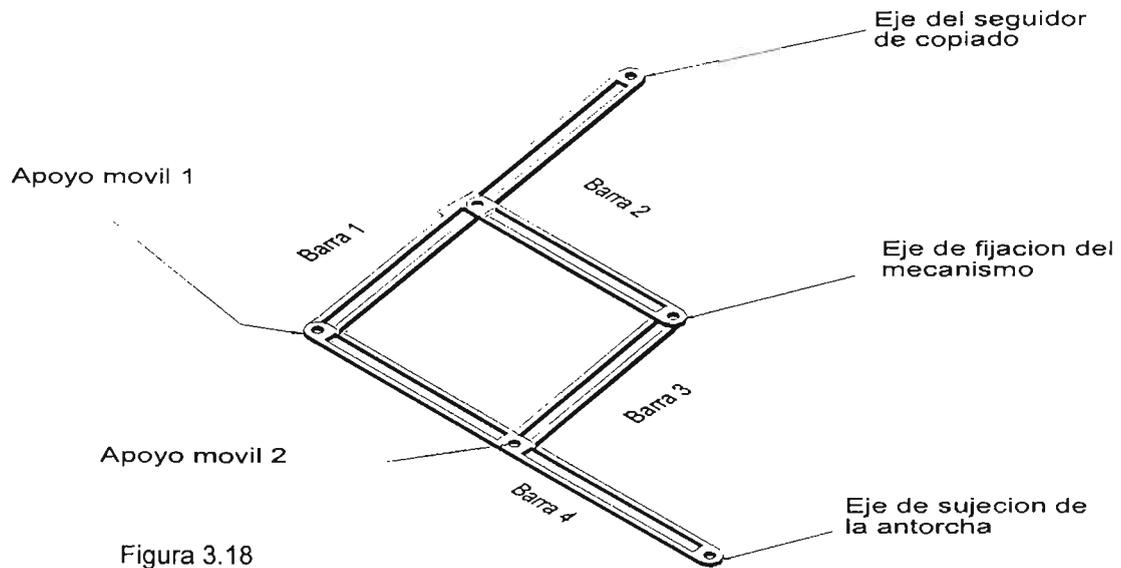


Figura 3.18  
Disposición del mecanismo

Como se mencionó anteriormente, a cada barreno de las barras (excepto en el extremo de sujeción de la antorcha) se le colocaron dos tazas, también lleva dos baleros, dos conos y un eje cuya longitud de la cuerda permita la sujeción a presión de las 2 barras en cada articulación.

#### Pasos a seguir en el armado de las articulaciones

El armado se realiza mediante el siguiente procedimiento.

1. Se coloca una tuerca al eje, hasta el tope.
2. Se inserta el cono en el eje con la parte cónica hacia arriba, hasta el tope.
3. Se introduce el balero en una de las tazas de las barras y se inserta en el eje.
4. Se pone otro balero en la otra taza de la barra.

5. Se inserta otro cono en el eje con la parte cónica hacia abajo, hasta topar con el balero presionándolo (Ver figura 3.12).
6. Para lograr la articulación de las dos barras se repite el procedimiento del paso 1 al paso 5 para la segunda barra, como se muestra en la figura 3.19.

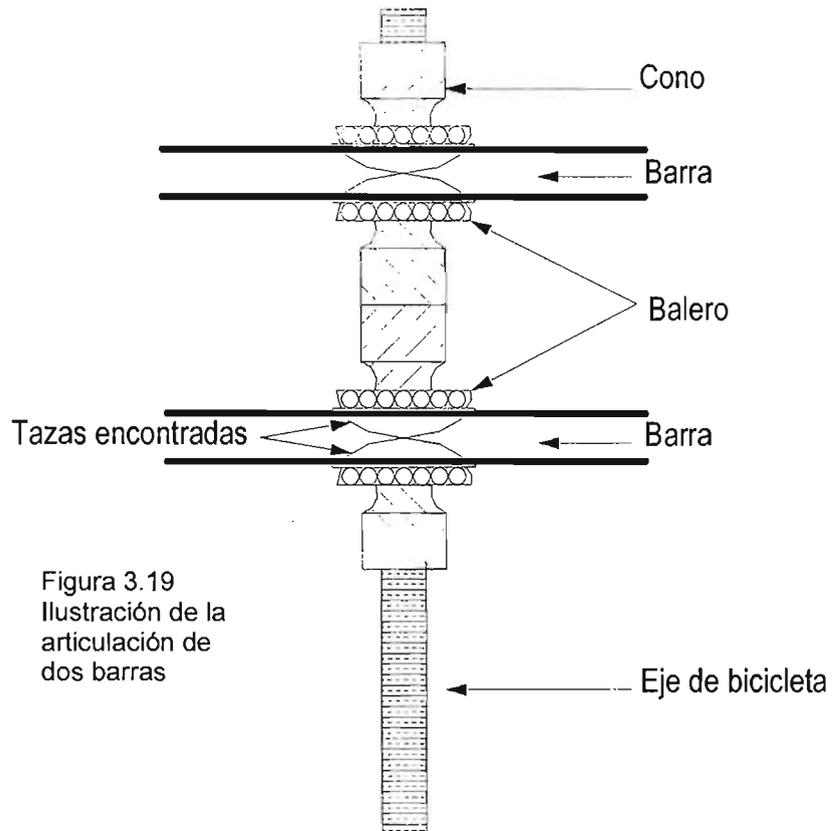


Figura 3.19  
Ilustración de la  
articulación de  
dos barras

La figura 3.20 muestra el mecanismo armado.

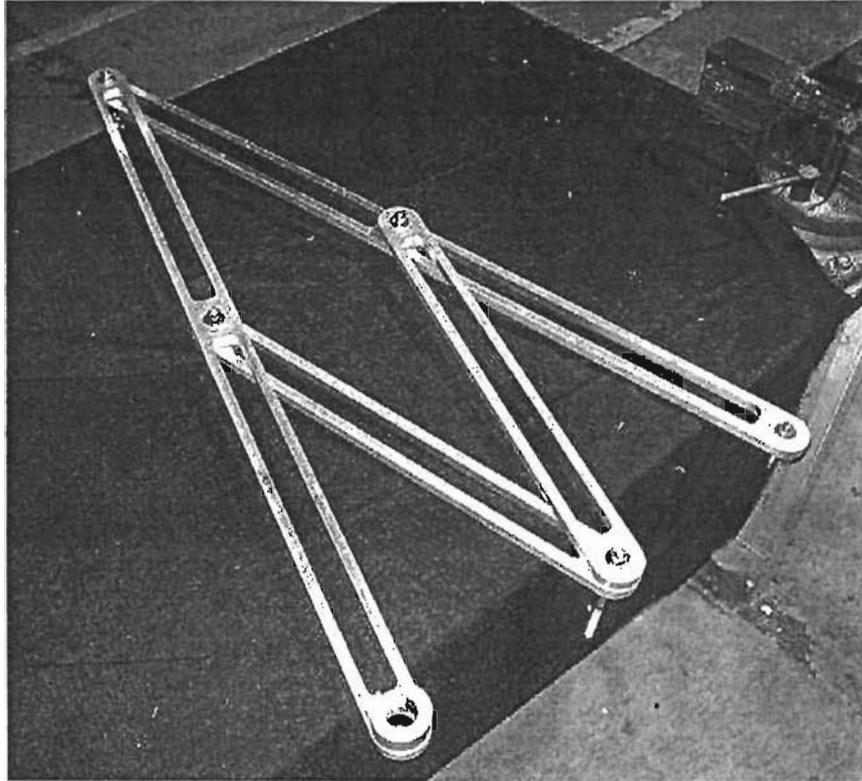


Figura 3.20  
Mecanismo armado

### 3.4.2 Apoyo móvil para el soporte del mecanismo

Al armar el mecanismo, se manifiesta una flexión en las barras, la cual da como resultado un mal funcionamiento del mismo al copiar, motivo por el cual surge la necesidad de colocar un apoyo móvil.

El apoyo debe tener como características principales; un movimiento de rotación y uno de traslación, simultáneos. Para resolver el problema, se diseñaron dos dispositivos:

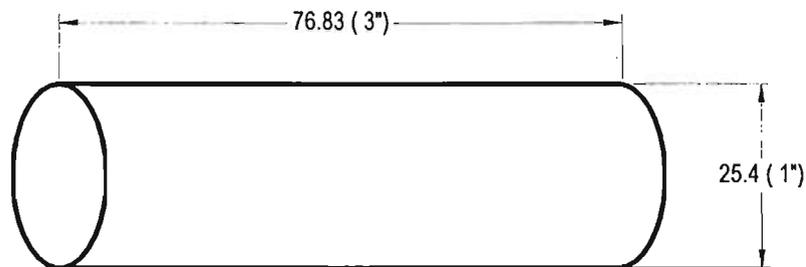
1. Apoyo con eje vertical acoplado a un eje transversal, con dos rodamientos

2. Apoyo con un eje vertical acoplado a una rodaja esférica.

1. Apoyo con eje vertical acoplado a un eje transversal, con dos rodamientos.

1.- El eje vertical coincide con un eje de articulación de dos barras del mecanismo; diseñándose de la siguiente forma:

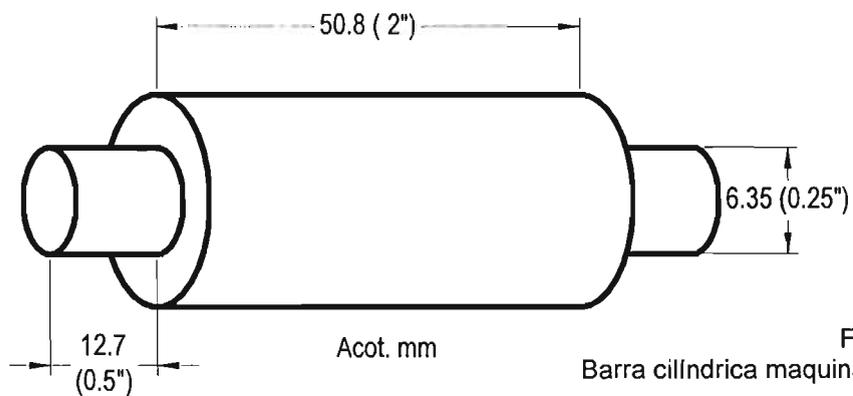
1-a. Se toma una barra circular de 1" de diámetro y 3" de longitud (Figura 3.21).



Acot. mm

Figura 3.21  
Barra cilíndrica

1-b. Se reduce en los extremos el diámetro a 1/4", a lo largo se toma 1/2" por lado (figura 3.22).



Acot. mm

Figura 3.22  
Barra cilíndrica maquinada en los extremos

1-c. Para que el eje vertical quedara perpendicular con nuestro eje horizontal, se maquinó la pieza para darle planicidad en las 2 caras (figura 3.23).

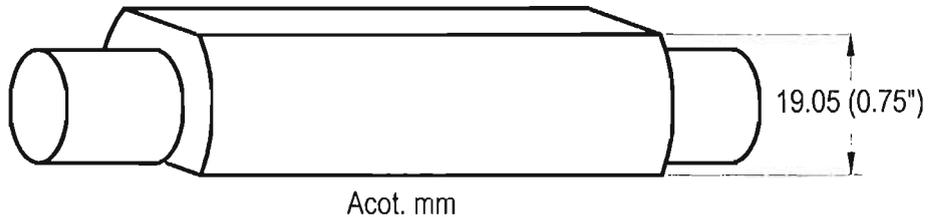


Figura 3.23  
Barra cilíndrica maquinada en dos partes laterales

1-d. El acoplamiento con el eje vertical se realizó haciendo un barreno en el centro de las caras planas, con una broca tamaño I, para hacer una rosca de 5/16" (figura 3.24), con una profundidad de 3/8".

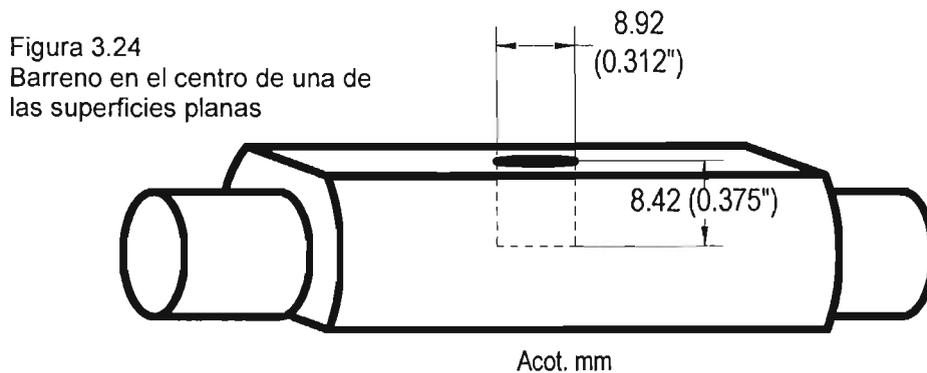
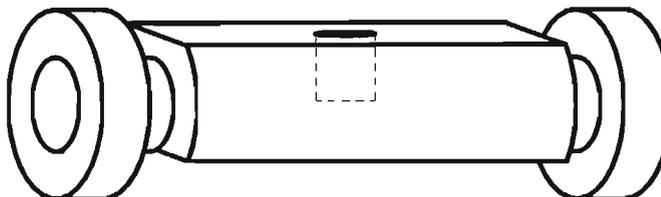


Figura 3.24  
Barreno en el centro de una de las superficies planas

1-e. Para el giro del apoyo, se colocaron 2 rodamientos cilíndricos, acoplándolos con un ajuste a presión (ver anexo 1), (figura 3.25).

Figura 3.25  
Rodamientos colocados en los extremos



1-f. Quedando el apoyo de la siguiente forma (figura 3.26).

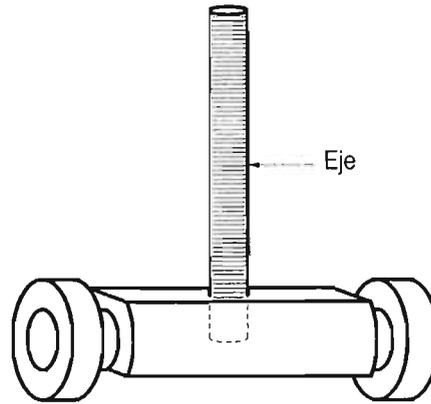


Figura 3.26  
Acoplamiento  
del eje

Habiendo concluido el montaje del dispositivo, se realizaron pruebas con el mecanismo, presentando dificultades en el movimiento de rotación con respecto a su eje, tomando en consideración que éste eje está acoplado a una articulación del mecanismo (figura 3.27).

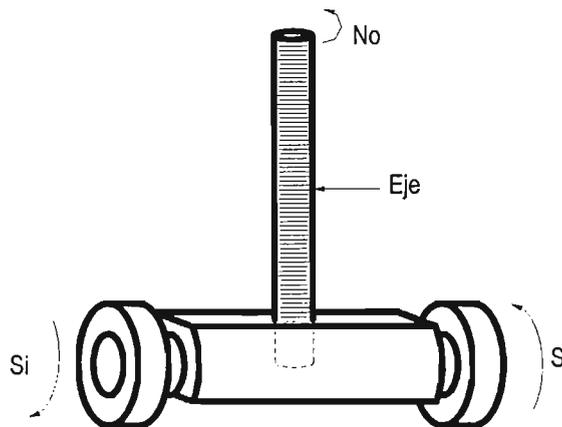


Figura 3.27  
Ilustración de  
los  
movimientos  
efectuados por  
el dispositivo 1

Como resultado de las pruebas realizadas, se toma la decisión de desarrollar el dispositivo 2.



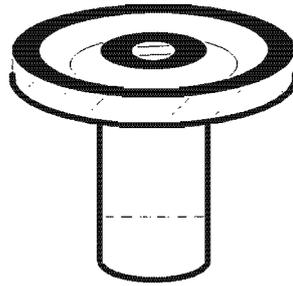
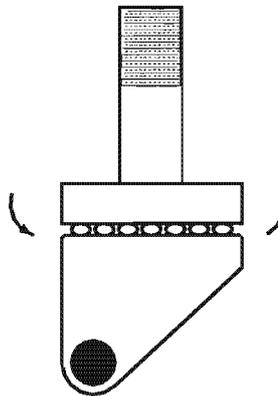


Figura 3.29  
Pieza para  
encapsular los  
balines

Esta pieza tiene una sección cilíndrica, que va a servir para que pueda acoplarse al eje de la articulación, para ello se le hizo un barreno a lo largo de su eje y se le hizo una rosca interior de 5/16", cuerda fina.

Para formar nuestro rodamiento, unimos la pieza maquinada con la pieza de la rodaja comercial, esto se realizó con un perno que también se maquinó, con la unión de las piezas se encapsularon los balines y con ello se obtuvo la rotación deseada (figura 3.30).

Figura 3.30  
Unión de las  
piezas para  
encapsular los  
balines



Para el rodamiento del apoyo se utilizó un balín de acero de 1" de diámetro, barrenándolo a lo largo de su eje, con una broca de 1/8" (figura 3.31).

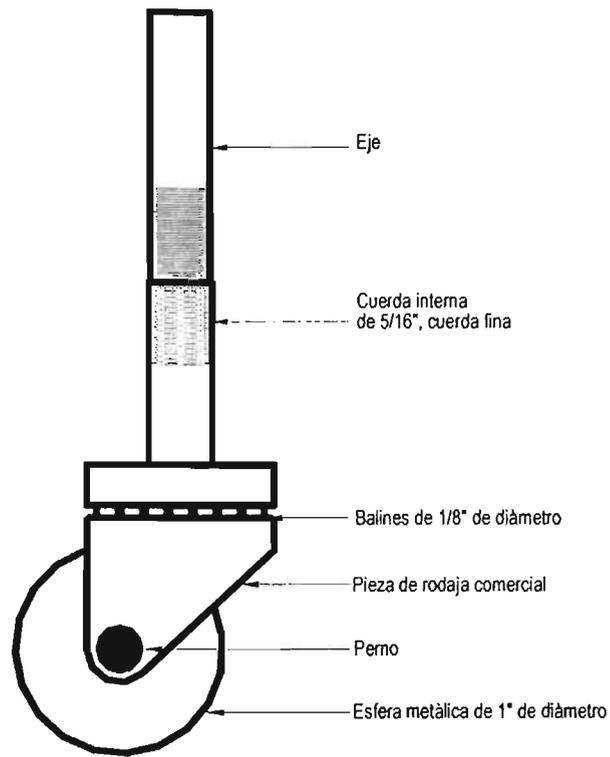


Figura 3.31  
Elementos del  
dispositivo 2

Teniendo ya formada la rodaja, se prueba y se obtienen los movimientos deseados; es decir de rotación y traslación, como se muestra en la figura 3.32.

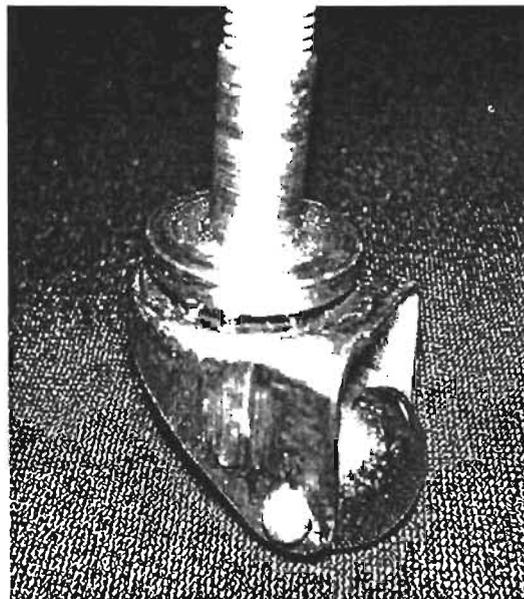


Figura 3.32  
Dispositivo con rodaja esférica

### **3.5 Diseño y fabricación del dispositivo para la sujeción del maneral de corte**

La sujeción del maneral es un aspecto muy importante para el correcto funcionamiento del mecanismo, ya que debe permanecer fijo a la barra, evitando cualquier tipo de movimiento sobre la misma, estando fijo, y siguiendo la misma trayectoria de la barra.

Considerando lo anterior, se plantearon dos opciones:

1. Barreno con el diámetro del maneral y sujeción mediante prisioneros en la barra.
2. Barreno con el diámetro del maneral y perfil del mismo realizado mediante ajuste de banco y sujeción con dispositivo adicional acoplado a la barra.

El diámetro del maneral es de 1.075", medida que no es estándar, motivo por el cual se utilizó la herramienta llamada "boril", con la que obtuvimos la medida exacta, barrenándose en la fresadora vertical.

#### **Sujeción mediante un prisionero**

La primera opción no es funcional debido al perfil particular del maneral ya que por su geometría no se acopló correctamente a la superficie de la barra, la

sujeción si es aceptable pero el mal acoplamiento ocasiona que se pierda la perpendicularidad de la antorcha y la pieza de trabajo, propiciando un desgaste en el maneral debido a las fuerzas de flexión y torsión por los prisioneros.

### **Sujeción mediante dispositivo alternativo**

De acuerdo a los problemas que presentó la primera opción se decidió hacer el perfil del maneral a la barra mediante un ajuste de banco, utilizando limas musas, bastardas, redondas y de media caña. Una vez logrado el acoplamiento adecuado, se decidió sujetar el maneral mediante un dispositivo adicional que se diseñó y fabricó de acuerdo a la geometría particular del maneral, como lo indican las figuras 3.33 a 3.35.

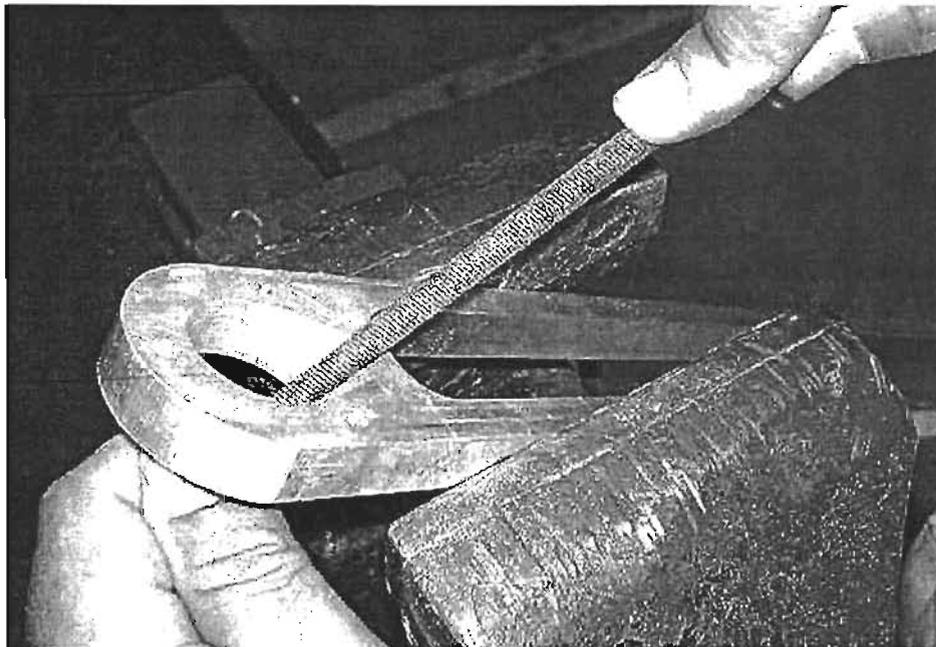


Figura 3.33  
Perfil con ajuste de banco

**ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA**

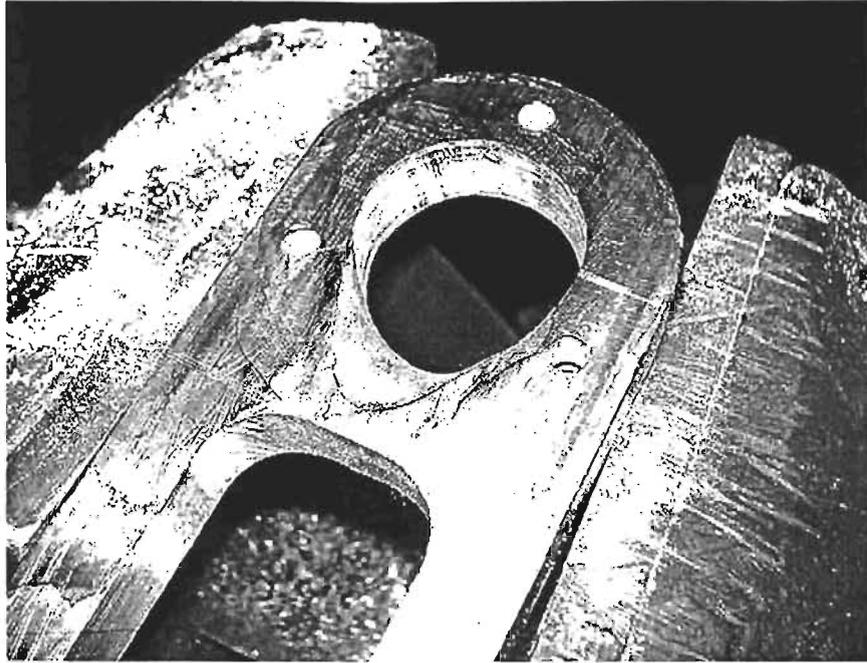


Figura 3.34  
Perfil terminado

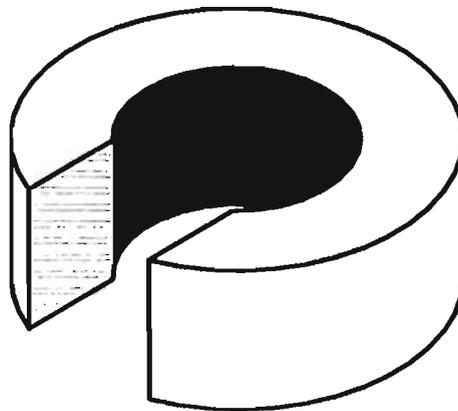


Figura 3.35  
Dispositivo  
para la  
sujeción del  
maneral

Éste dispositivo se acopló a la barra con tornillo allen en 3 barrenos hechos en ambas piezas como se ilustra en la figura 3.36.

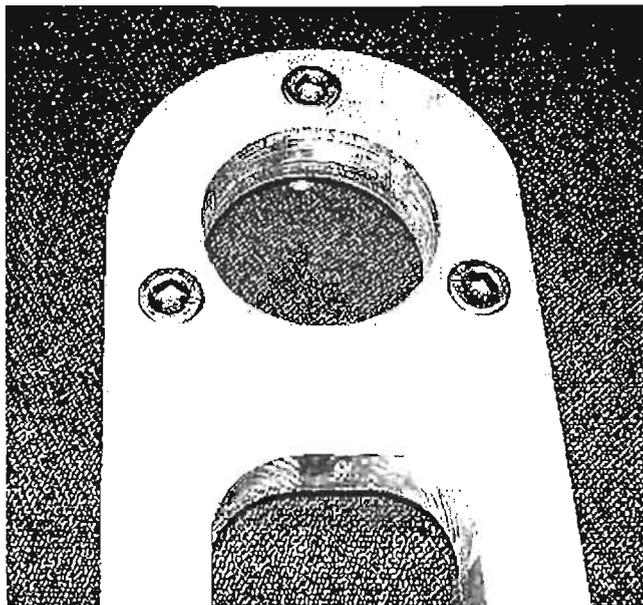


Figura 3.36  
Barrenos con  
tornillo allen  
para la sujeción  
del maneral

Ésta forma de sujeción es muy conveniente por que el maneral se ensambla al dispositivo y éste a su vez queda perfectamente fijo a la barra mediante los tornillos, evitando con ello los movimientos de flexión y rotación logrando el objetivo deseado (figura 3.37).

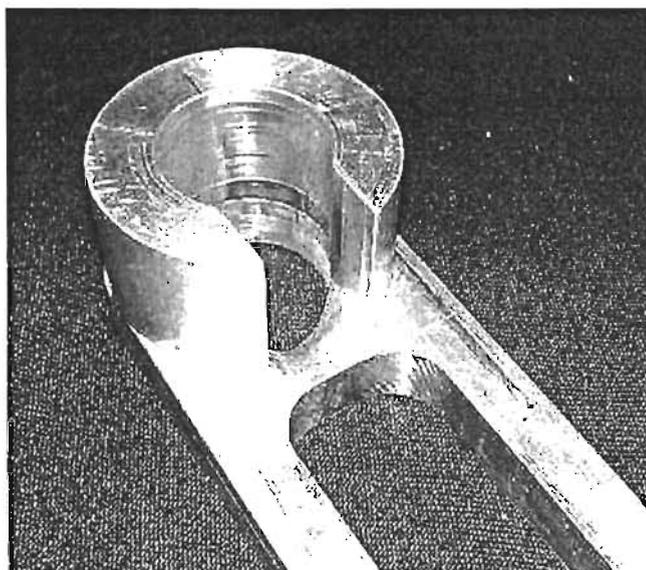


Figura 3.37  
Ensamble de  
la barra y el  
dispositivo  
para la  
sujeción del  
maneral

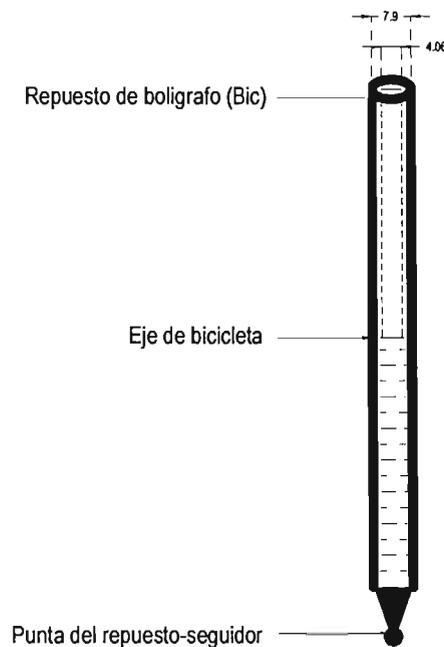
### 3.6 Trazador o seguidor del pantógrafo

Para copiar la geometría de la figura que se desea cortar, es necesario seguir toda la trayectoria en forma continua, para ello es conveniente utilizar una punta que tenga un movimiento de rotación para evitar discontinuidades que ocasionarían un corte impreciso.

Tomando como referencia los ejes utilizados en las articulaciones, se realizó un barreno de 5/32", a lo largo de su eje longitudinal; insertando un repuesto de bolígrafo.

Nota: es indispensable que el repuesto del bolígrafo sea de la marca "BIC".

Este tipo de trazador eje de bicicleta – repuesto nos permite ajustar la altura de acuerdo a los requerimientos de corte, como lo ilustra la figura 3.38.



F

Figura 3.38  
Trazador del  
pantógrafo

### 3.7 Mesa de trabajo para el mecanismo

La mesa de trabajo consta de una base de estructura metálica, un área de trabajo para el desplazamiento y trazo así como de un área de corte la cual no contiene una superficie sólida

Como lo indica la figura 3.39.

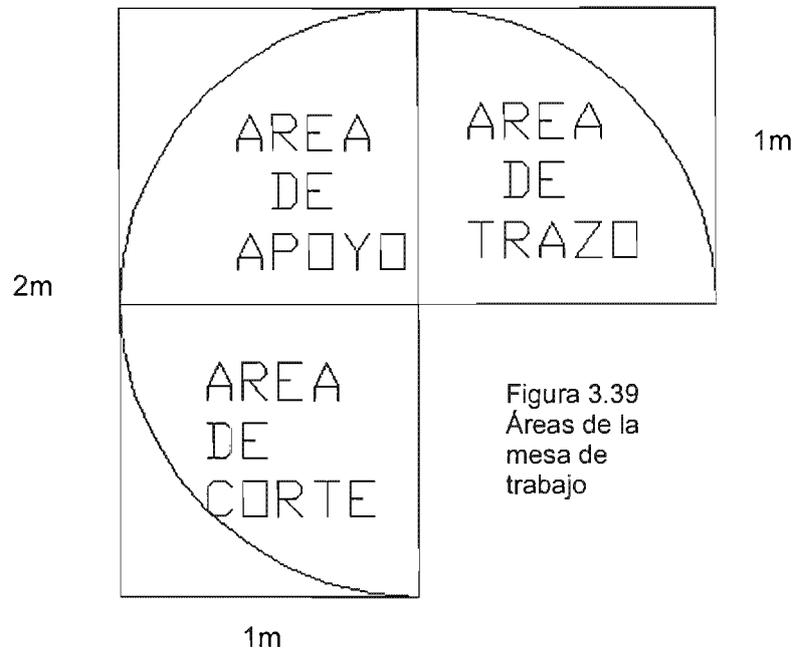


Figura 3.39  
Áreas de la  
mesa de  
trabajo

#### Materiales de fabricación de la mesa de trabajo

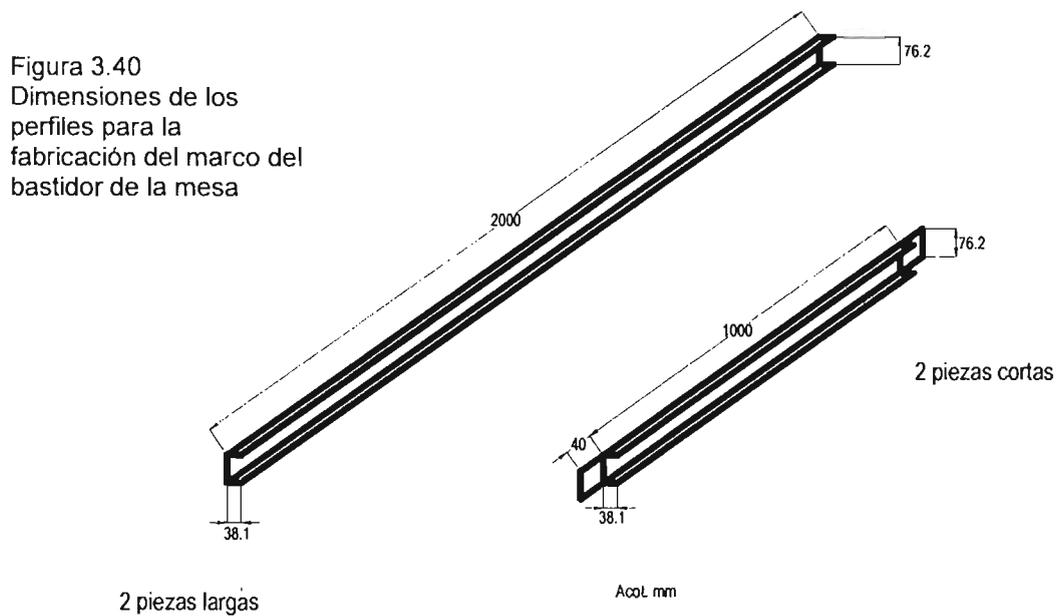
De acuerdo a los requerimientos de funcionamiento del mecanismo, el área de desplazamiento y trazo deben presentar una excelente planicidad y peso ligero debido a que el sistema puede ser utilizado en diferentes áreas dentro de los talleres de la Facultad de Ingeniería.

### Fabricación de la mesa

Considerando el costo de los materiales se decidió utilizar recursos con los que dispone la Facultad, fabricando la mesa de trabajo con triplay, con lámina, estructura y perfiles metálicos.

Se fabricó un bastidor (marco y perfiles) de lámina calibre 18, Tipo emparrillado para evitar deformaciones por el peso de la lámina.

El marco principal del bastidor se fabricó con un perfil en "C", el cual se trazó, se cortó y se dobló de lámina con las dimensiones mostradas en la figura 3.40.



El bastidor se ensambló soldando con una punteadora, teniendo unas dimensiones de 2 m de largo x 1 m de ancho como lo indica la figura 3.41.

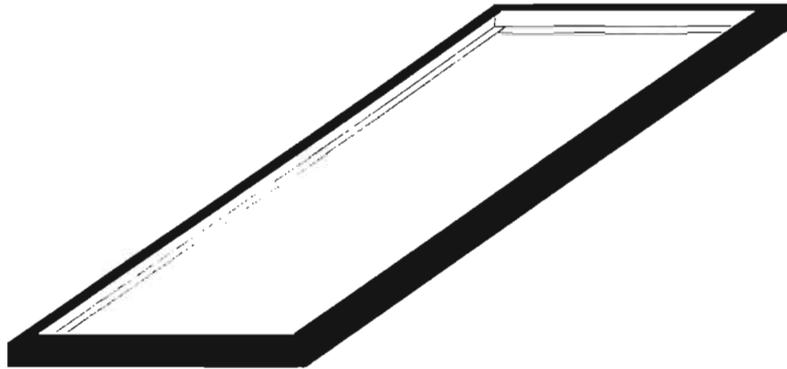


Figura 3.41  
Marco del bastidor de la mesa

El emparrillado se realizó con travesaños de ángulo trazado, cortado y doblado con lámina con las dimensiones y forma mostrados en la figura 3.42

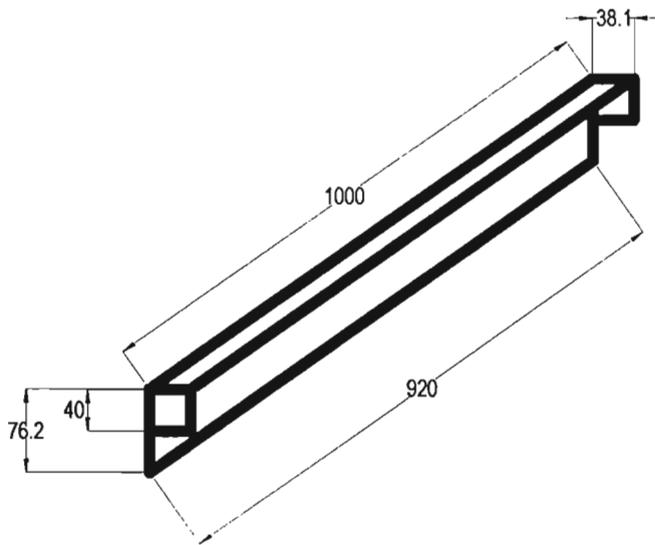


Figura 3.42  
Perfil de los travesaños  
Acot. mm

Teniendo el marco y los travesaños terminados, se procede al ensamble de las partes con una punteadora obteniendo el bastidor como lo indican las figuras 3.43 y 3.44.

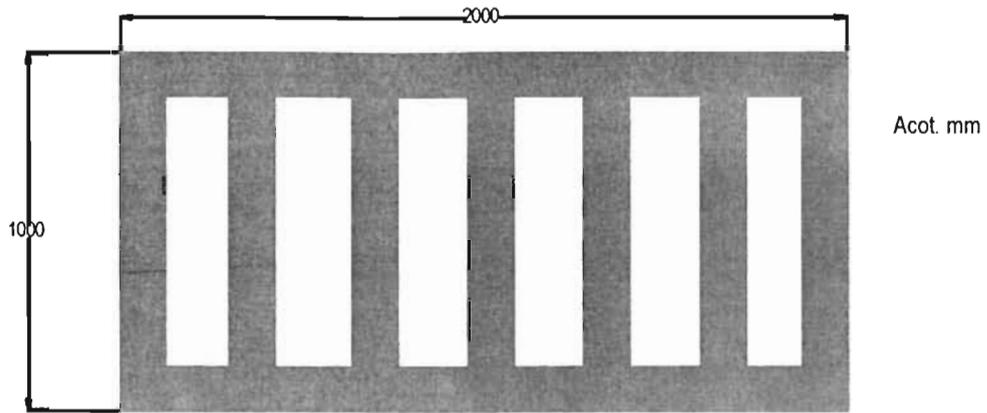


Figura 3.43  
Dimensiones del bastidor de la mesa

Los travesaños se colocaron a una distancia cuya disposición permita conservar la planicidad de la mesa.

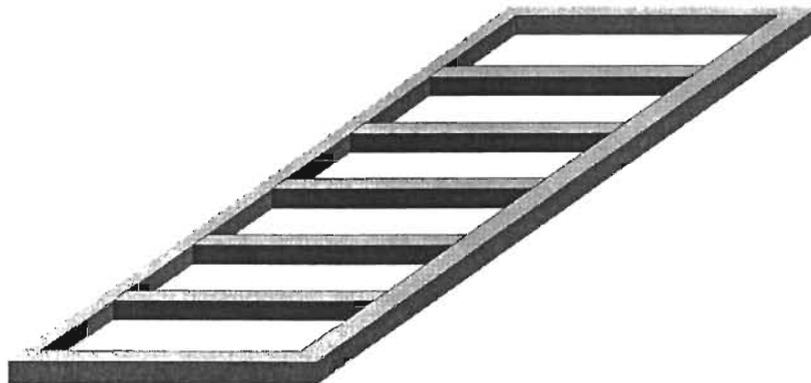


Figura 3.44  
Bastidor de la mesa

Habiendo armado la parrilla de la mesa, ésta se acopló a una base metálica uniéndola con tornillos, en el emparrillado se colocó la lámina sobre una hoja de triplay uniéndolas con pegamento, una vez unidas se fijaron al emparrillado por medio de un ángulo de 3/4" X 1/8" en todo el perímetro de la mesa fijándolo con tuercas y tornillos, logrando el ensamble correcto.

La estructura para el área de corte se fabricó con ángulo de 2" X 1/8" ilustrada en la figura 3.45.

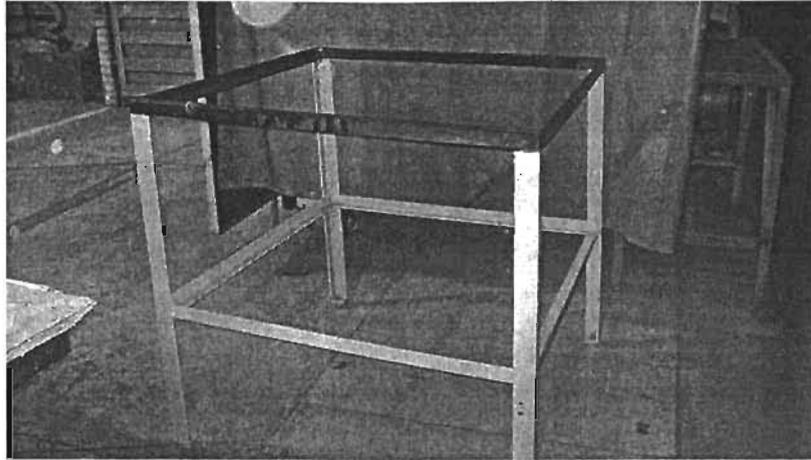


Figura 3.45  
Estructura metálica para el área de corte

En la parte superior se colocaron dos ángulos tijos con las mismas dimensiones indicados anteriormente, a estos ángulos se le hicieron 6 barrenos de 1/2" con una separación de 20 cm entre cada uno de ellos. Estos barrenos servirán para poder colocar dos soportes móviles, que se abrirán o se cerrarán según las necesidades del corte, sobre estos soportes se pondrá el material a cortar. A los soportes móviles también se les hicieron 6 barrenos de 1/2" con una separación de 20 cm entre cada uno de ellos, con la finalidad de reducir o ampliar el área de corte.

Los soportes móviles, tienen un perfil para corredera el cual permite introducir un tornillo de sujeción que servirá para fijar el material a cortar utilizando clamps y tuercas mariposa.

Todo el sistema que conforma la mesa de trabajo (área de trazo, área de apoyo y área de corte), deberán conservar la planicidad independientemente del

espesor del material a cortar; para ello se colocó en cada una de las bases de las mesas un tornillo – tuerca que servirán como niveladores garantizando el paralelismo de las barras del mecanismo.

La figura 3.46 muestra el área de trazo y apoyo, la figura 3.47 ilustra el sistema completo de las áreas de trabajo.



Figura 3.46  
Área de trazo y apoyo

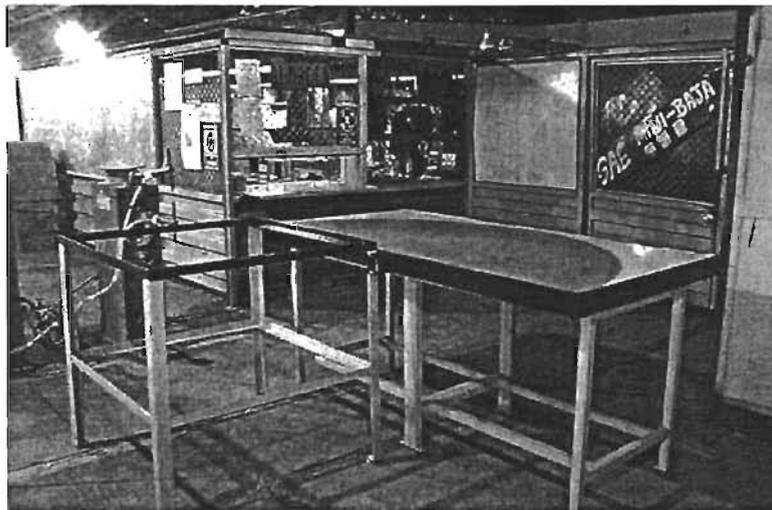


Figura 3.47  
Sistema completo de las áreas de trabajo

Fijación del mecanismo en la mesa de trabajo

Para el funcionamiento correcto del pantógrafo es indispensable una adecuada fijación, para ello se realizó una base de solera en forma de "C" soldándola a la mesa, con un barreno atravesado de 5/16".

Para mantener el paralelismo entre la mesa, apoyo y mecanismo, se maquinó una base cilíndrica de aluminio con un barreno de 5/16" atravesando su eje (figura 3.49).

La base de solera en "C" sirve como apoyo para la pieza cilíndrica de aluminio fijándose al mecanismo con un eje.

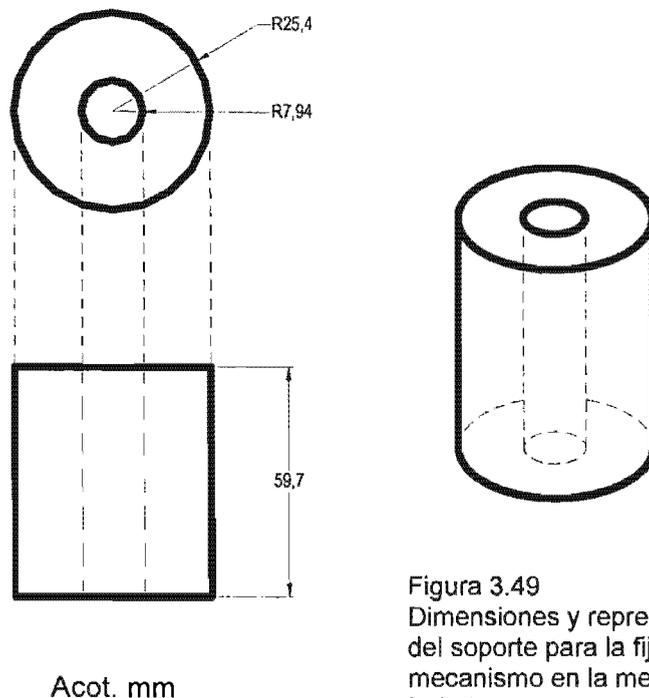


Figura 3.49  
Dimensiones y representación del soporte para la fijación del mecanismo en la mesa de trabajo

### Áreas de trabajo

Las diferentes áreas de trabajo están delimitadas cada una por 1/4 de círculo de 1 m de radio, así como el punto de fijación del mecanismo, como se indica en la figura 3.50.

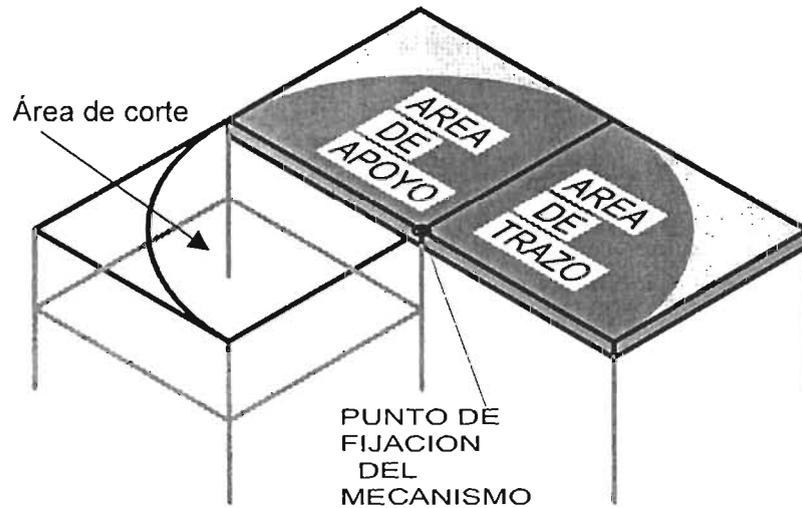


Figura 3.50  
Punto de fijación del mecanismo en las áreas de trabajo

### 3.8 Sistema de encendido de la máquina para operación automática y corte.

El encendido de la antorcha para realizar cortes con la máquina Harris 65J, se encuentra ubicado en el maneral y debe ser accionado por el operador.

Tomando en consideración las dimensiones del mecanismo se verifica que la forma de encendido convencional de la máquina (en el maneral) es inoperante, porque se necesita de dos personas para realizar el proceso corte – copiado.

Además al ser operado por dos personas tendríamos los siguientes inconvenientes:

1. Falta de sincronización en los movimientos (velocidad)
2. Imprecisión al efectuar el corte
3. Mala calidad en el corte
4. Existe la posibilidad de un accidente

Por lo anterior el proceso requiere sólo de un operador por lo que nos vimos en la necesidad de encender la antorcha desde el punto de trazado, para que el encendido sea simultáneo con el trazo, por lo que se colocó un botón encendido – apagado (push - button) en la perilla donde va colocada la pluma de trazo, para efectuar la operación de encendido como se planteó anteriormente, fue necesario realizar una modificación en el circuito interno de la máquina, como se ilustra en las figuras 3.51 y 3.52.

- Sistema de encendido desde la antorcha (convencional)

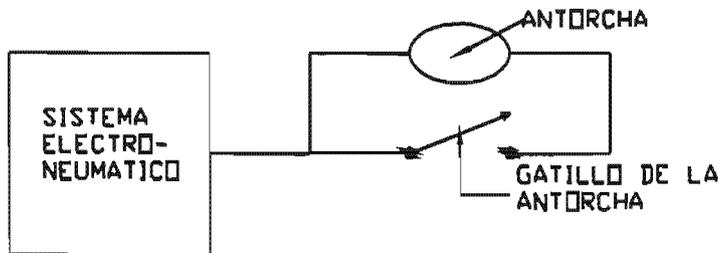
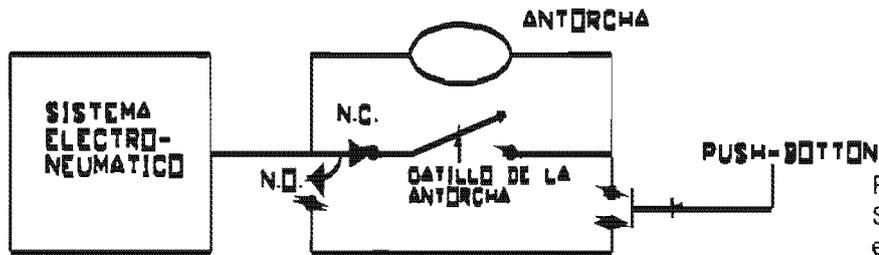


Figura 3.51  
Sistema de encendido desde la antorcha (convencional)

- Sistema de encendido con el pushbutton (modificado)



N.C. SIN PLUG  
N.O. CON PLUG

N.C. NORMALMENTE CERRADO  
N.O. NORMALMENTE ABIERTO

Figura 3.52  
Sistema de encendido con el push – button (modificado)

Una característica particular de este sistema de encendido es que al conectar el circuito modificado, desactiva el encendido convencional y solamente puede ser encendido con el push - button solucionando los inconvenientes planteados anteriormente.

Material utilizado en el sistema de encendido modificado

- 1 push - button
- 6m de cable calibre 14 para trabajo rudo
- 1 plug
- 1 jack con 3 terminales

Una vez terminado el proceso de fabricación del mecanismo, de la mesa de trabajo y de todos los dispositivos auxiliares, se procede a la realización de pruebas de funcionamiento.

# **CAPÍTULO IV RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

## **4.1 RESULTADOS**

Habiendo seleccionado los materiales y fabricado todos los elementos que conforman el mecanismo del pantógrafo, se procede a realizar las pruebas de funcionamiento acoplado la antorcha de la máquina de corte con plasma Harris 65J al mecanismo formado.

Se integra el sistema de encendido automático a la perilla en el extremo del mecanismo seguidor de la plantilla de la figura a cortar – copiar.

Las pruebas se realizaron cortando lámina calibre 18, para realizar los cortes se utilizaron plantillas de 0.5 mm de espesor con formas geométricas regulares. Las geometrías cortadas presentaron trazos complicados en curvas con diámetro menor a 10 mm.

El espesor de la plantilla utilizado, ocasiona dificultades para seguir la trayectoria con el seguidor, por lo que se decidió utilizar plantillas de 2mm de espesor.

El área de trabajo de cada sección es de  $1 \text{ m}^2$  ( $1 \times 1$ ), pero el área útil está delimitada al espacio que abarca una circunferencia de 1 m de radio, con centro en el punto de fijación del mecanismo, cada sección comprende  $1/4$  de la circunferencia. Al seleccionar un área para copiar y cortar se observa que cuando se trabaja con geometrías continuas y cerradas la escoria producida por el corte ocasiona una discontinuidad en el movimiento debido a que el separador de la boquilla se atora con dicha escoria.

Este problema detectado, repercute en la calidad de la pieza cortada, ocasionando:

- a) Imprecisión en el corte
- b) Corte discontinuo
- c) Quemaduras en el material

El problema se solucionó colocando un segundo apoyo con características y dimensiones idénticas al primero. El área de trabajo en donde es necesario utilizar los dos apoyos, está delimitada por el área que forma un trapecio señalado en líneas en rojo en el área de trazado ( $0.2 \text{ m}^2$ ).

Al utilizar los dos apoyos es necesario quitar el separador de la boquilla.

Este mecanismo fue adaptado a una máquina Harris 65J que utilice un maneral NPT4, ya que el diseño del sistema de sujeción es exclusivo para la geometría de este maneral.

Habiendo solucionado los diferentes problemas que se presentaron en la elaboración del proyecto, se realizaron pruebas de funcionalidad del mecanismo, trabajando con figuras de formas caprichosas en diversos espesores y materiales, obteniéndose resultados satisfactorios, cumpliendo con ello el objetivo planteado para la realización del proyecto.

Las pruebas realizadas se ilustran en la siguiente secuencia de imágenes.



Figura 4.1

Se prueba que las dimensiones de la figura a cortar-copiar no excedan el área designada

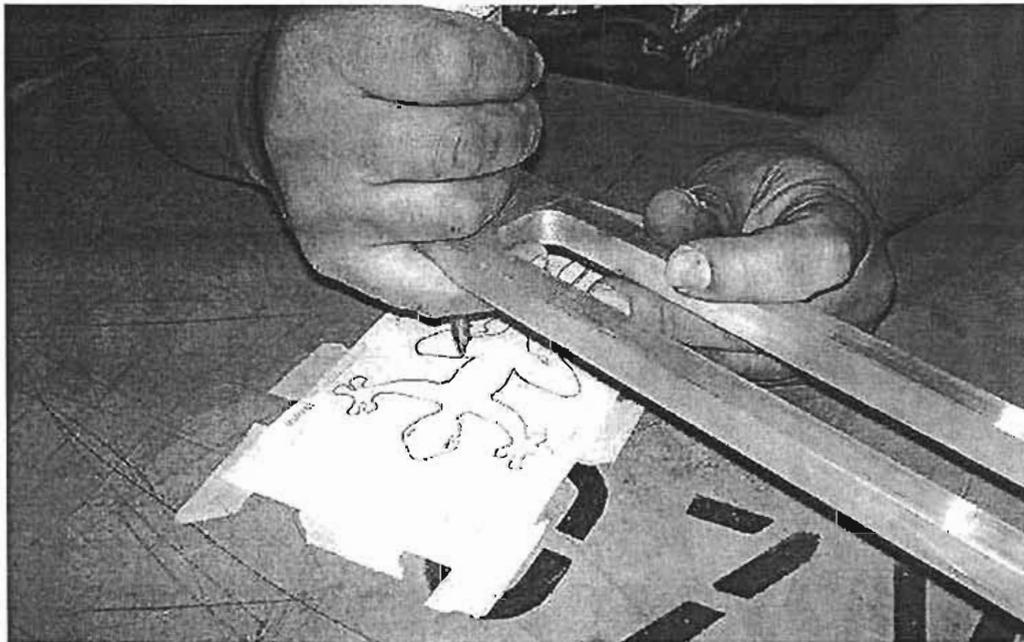


Figura 4.2

Se realiza una prueba simulando el corte

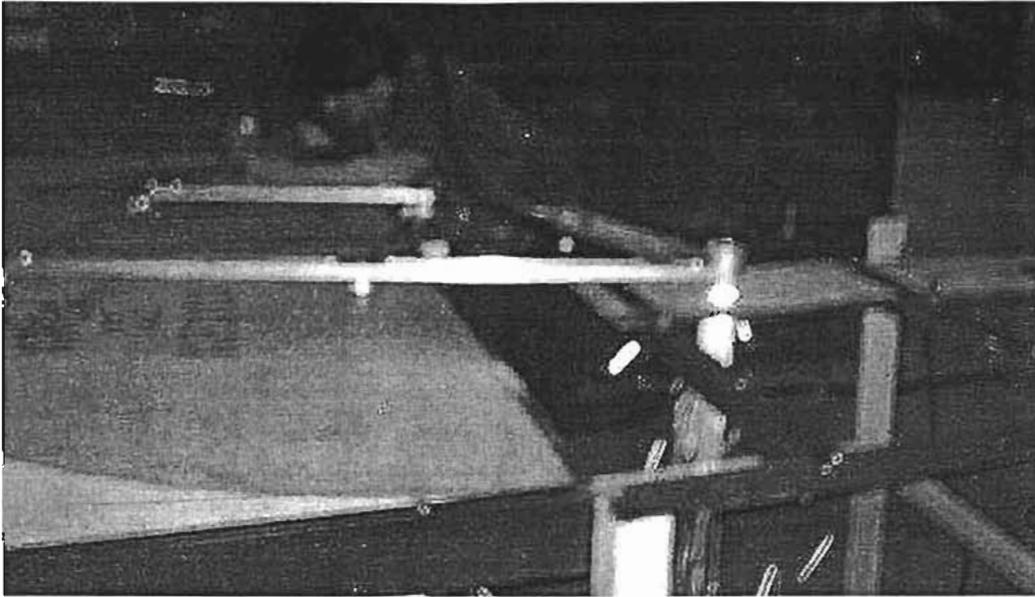


Figura 4.3

Inicio del corte, accionando el botón de encendido siguiendo el contorno de la plantilla

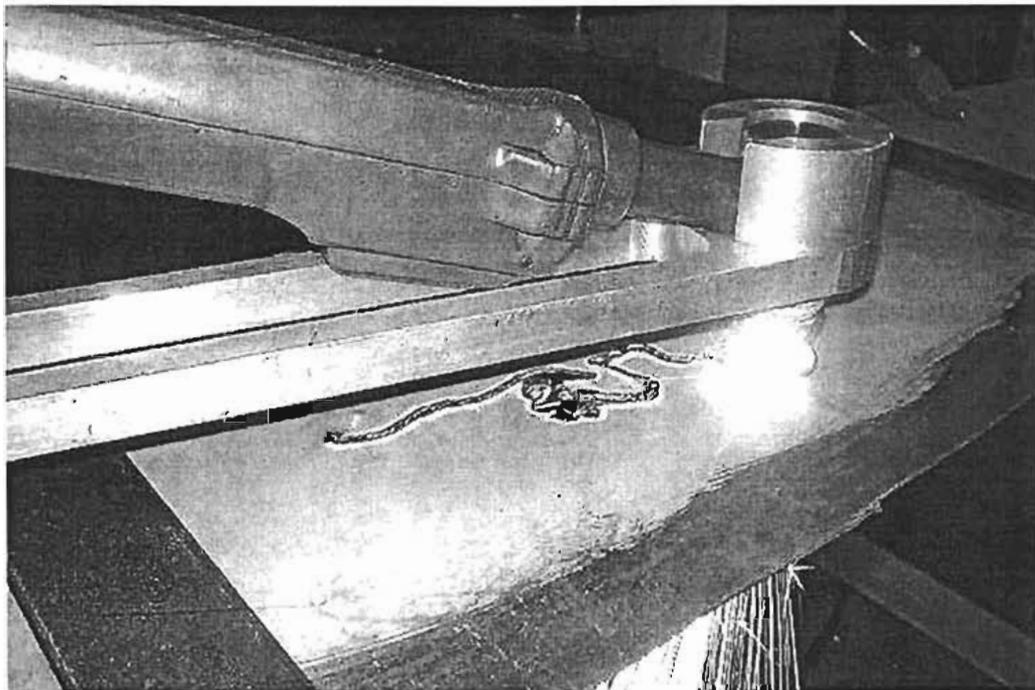


Figura 4.4

Corte parcial de la figura

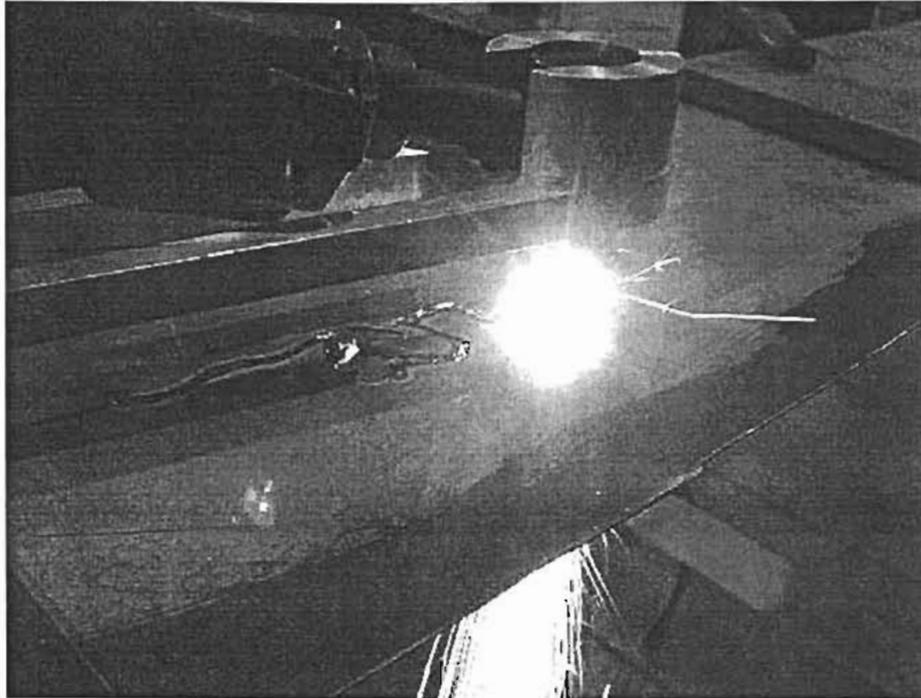


Figura 4.5

Arco-plasma realizando el corte

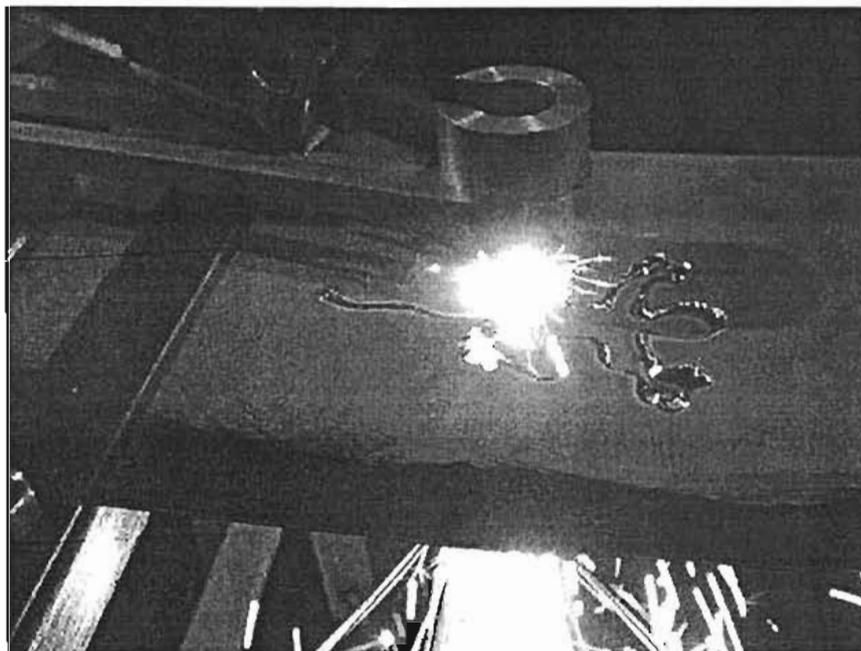


Figura 4.6

Acoplamiento perfecto de la antorcha con el mecanismo

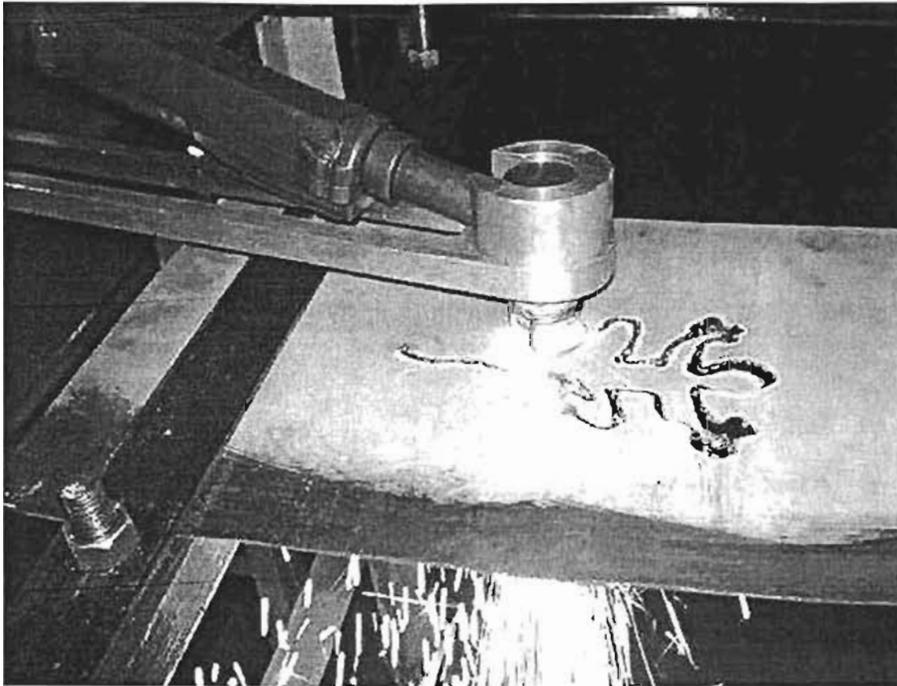


Figura 4.7

Fijación de la placa a la mesa de corte mediante clamps y tornillo con tuerca mariposa

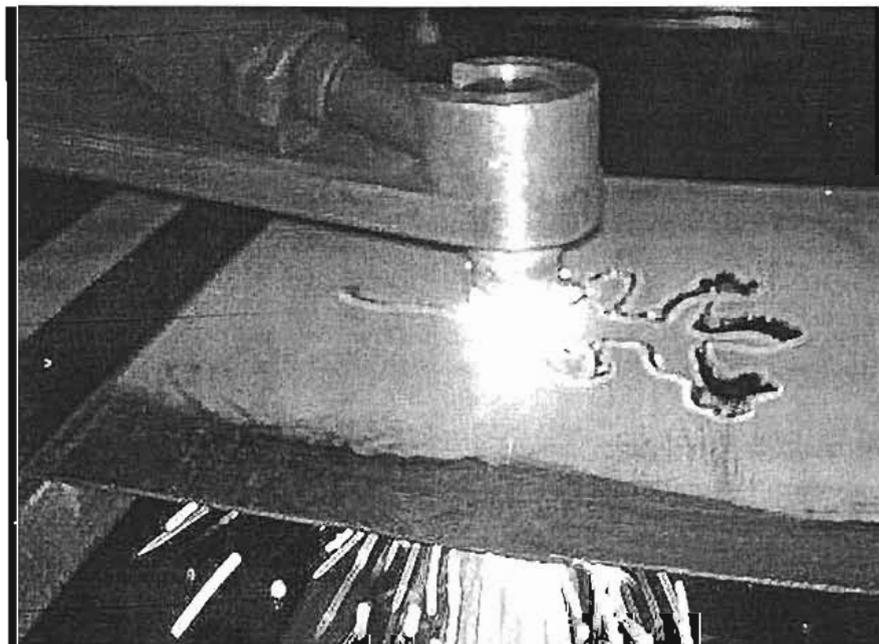


Figura 4.8

Corte final de la figura

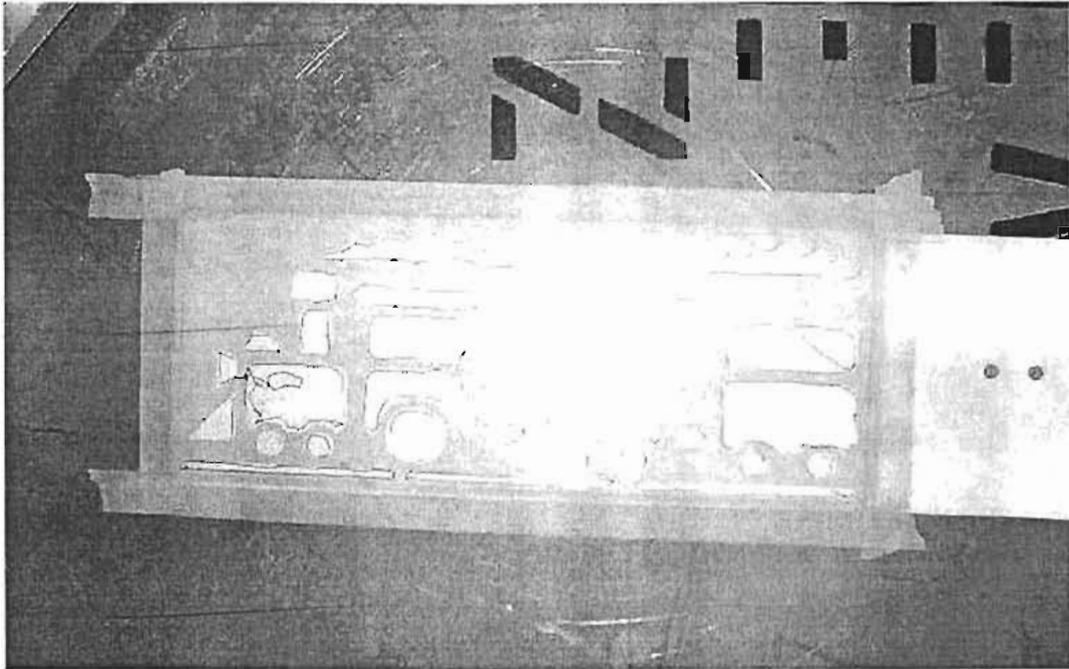


Figura 4.9

Presentación de plantilla en la mesa de trazo

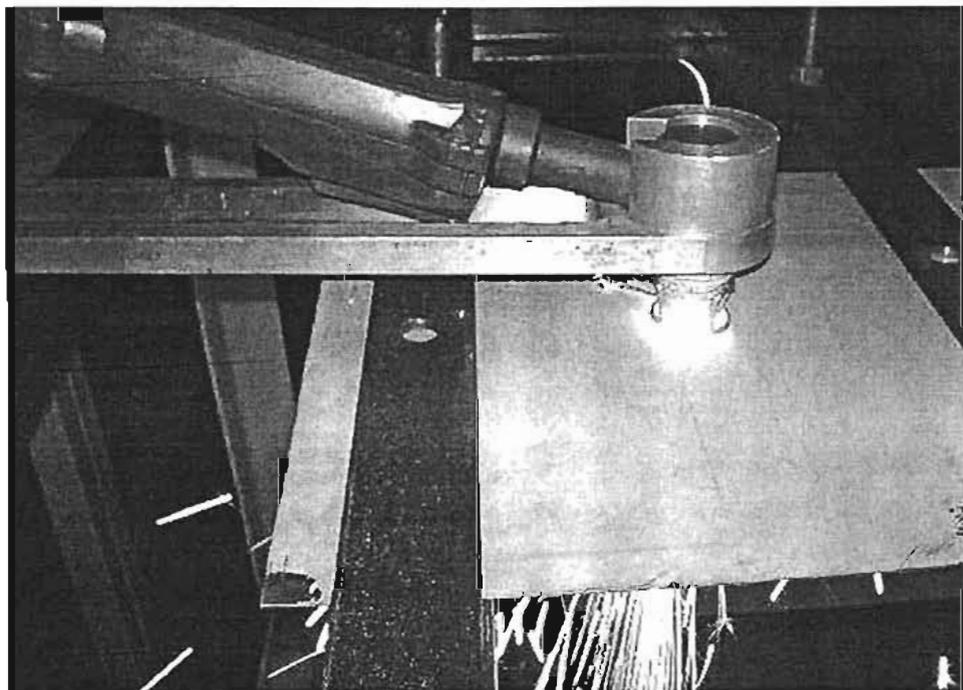


Figura 4.10

Inicio de corte

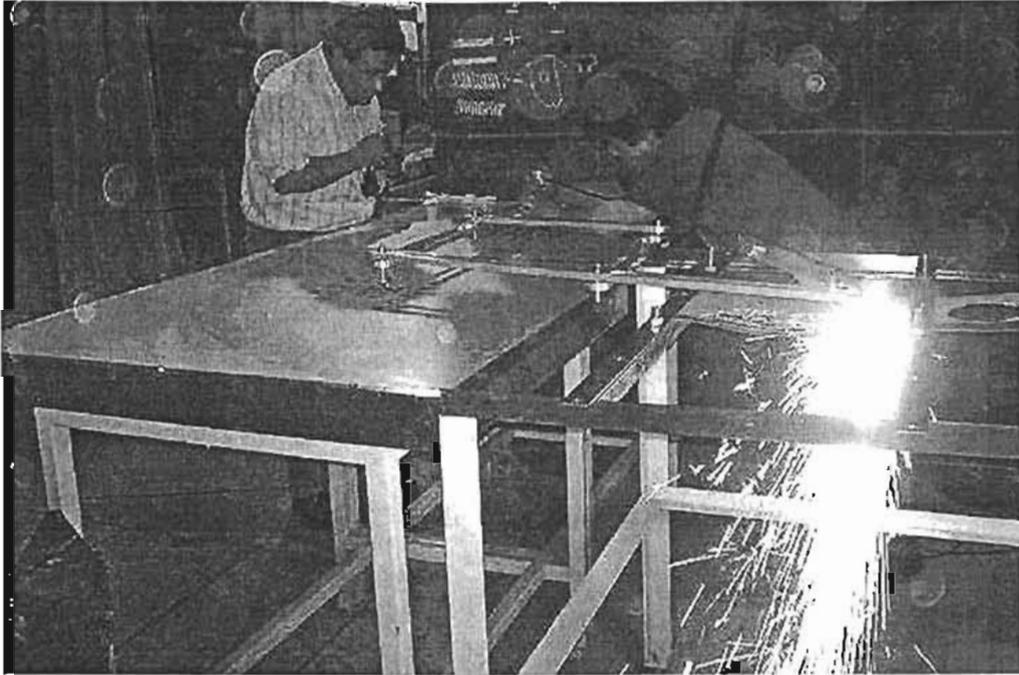


Figura 4.11

Sistema cortando

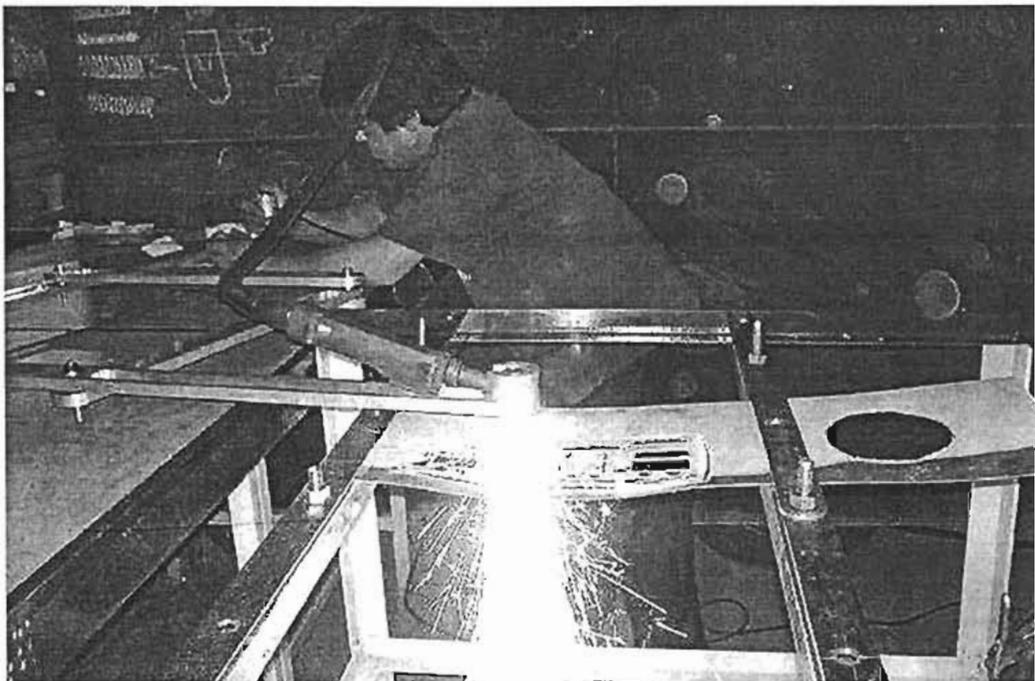


Figura 4.12

Realizando diferentes cortes

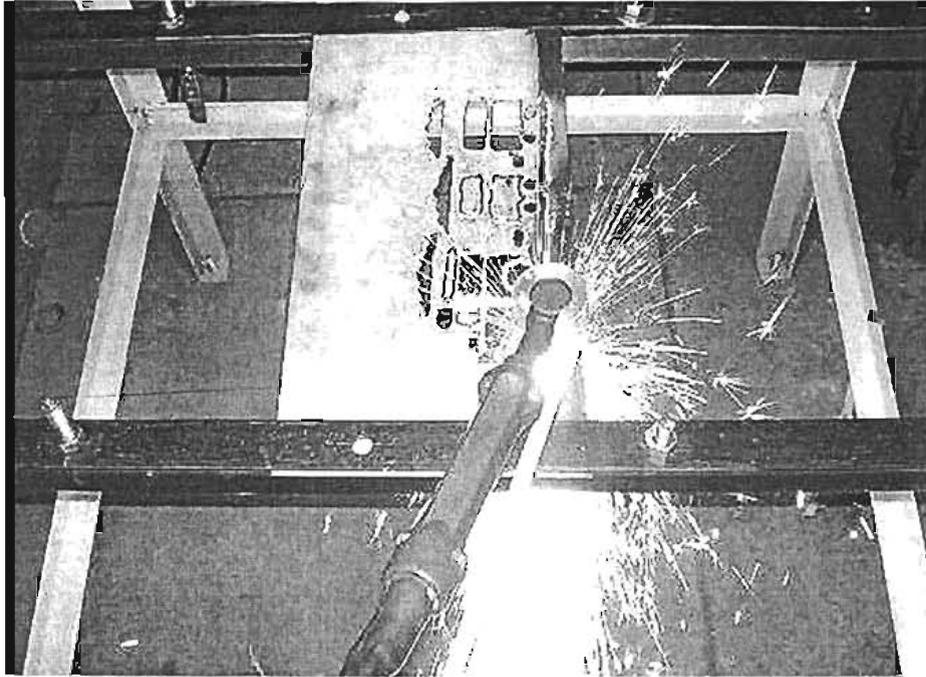


Figura 4.13

Corte final de la figura

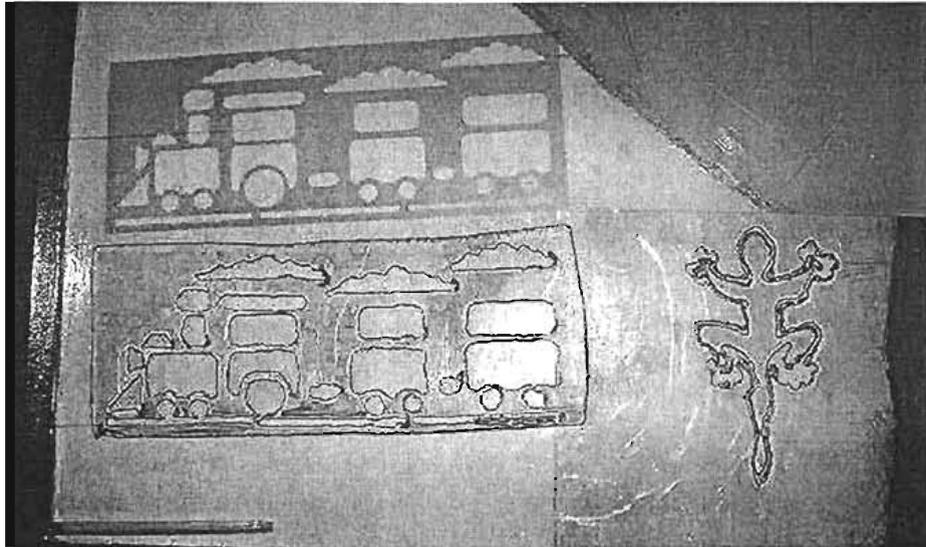


Figura 4.14

Corte final satisfactorio

Nota: El ancho del corte es de 1.0, 1.3, 1.5 y 1.8 mm, dependiendo de la boquilla que se utilice.

La secuencia anterior muestra cortes de geometrías pequeñas, pero el mecanismo tiene la capacidad de realizar cortes de dimensiones mayores y geometrías diferentes, siempre y cuando no excedan el área de trabajo.

En las figuras 4.15 a 4.17 siguientes se ilustra el corte de un círculo de 70 cm de diámetro en una placa de 1/2" de espesor.

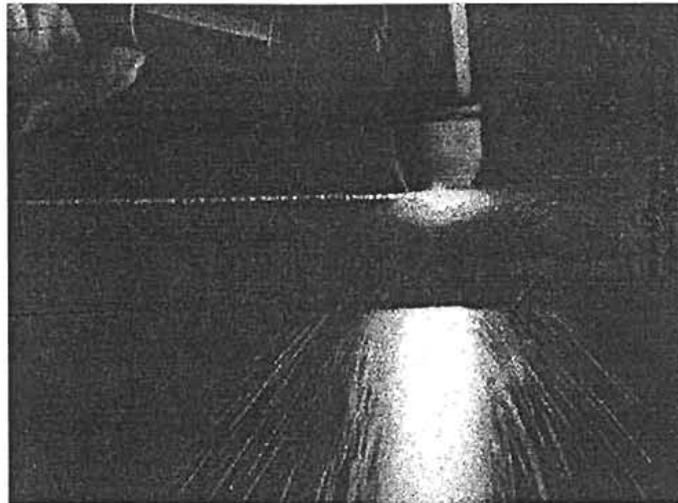


Figura 4.15  
Sistema cortando

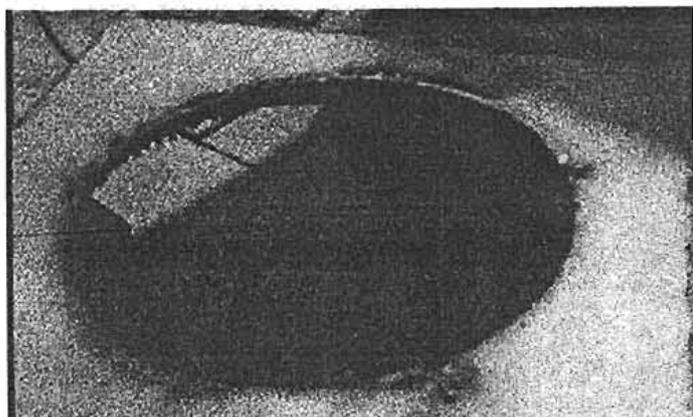


Figura 4.16  
Corte final

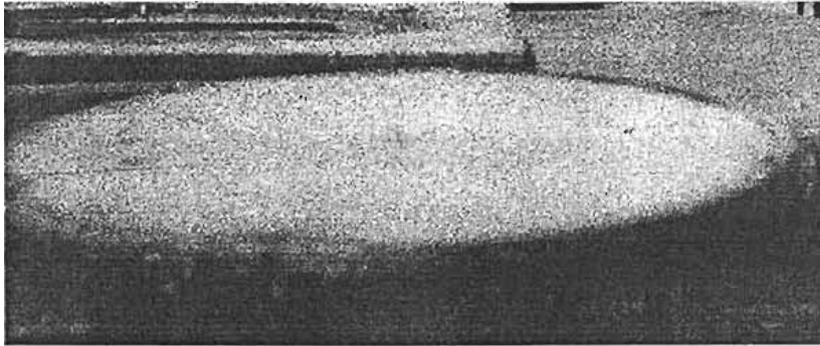


Figura 4.17  
Placa cortada

Una vez realizadas las pruebas de funcionamiento y solucionando los problemas presentados en el desarrollo de las mismas, se pudo verificar que:

- Las velocidades de corte para diferentes calibres varían según su espesor, las velocidades recomendadas se indican en la tabla A – 3.1 (anexo 3), las cuales están condicionadas a la habilidad y destreza del operador.
- El apoyo móvil evita la flexión de las articulaciones, manteniendo el paralelismo de las barras con respecto a la mesa para su óptimo funcionamiento.
- El trabajar con los 2 apoyos móviles nos permite hacer cortes continuos en geometrías pequeñas, evitando el problema debido a la presencia de escoria
- Un factor importante para el copiado y corte adecuado es el espesor de las plantillas, el cual debe ser de 2 mm y de material rígido.
- El maquinado de la ranura de las barras disminuyó el peso de las mismas en un 50%, evitando deformaciones considerables en su funcionamiento.
- La utilización de baleros para eje de bicicleta es la mejor opción porque evita el desplazamiento axial y radial de los ejes en las articulaciones.

- El sistema de encendido automático de la antorcha nos permite que la operación de corte . copiado sea realizada por una sola persona.
- La disposición de las barras permite hacer copias en escala 1:1.
- Es el principio de funcionamiento de los pantógrafos con tecnología avanzada.
- Ilustra el principio de operación de arco – plasma.
- El sistema presenta un montaje y desmontaje sencillo.
- Es funcional en su operación al cortar.
- Es factible en la implementación de prácticas de corte para materiales metálicos (ferrosos y no ferrosos).
- Éste proyecto fue diseñado y fabricado con fines didácticos, para uso de la Facultad de Ingeniería

## 4.2 Conclusiones

Una vez realizadas las pruebas de funcionamiento y solucionando los problemas presentados, se concluye lo siguiente:

- Se cumplió con el objetivo planteado inicialmente, logrando la integración del pantógrafo a la máquina de corte con plasma (Harris 65J) debido a que el sistema corta figuras de diferentes geometrías obteniéndose la copia precisa de la plantilla en dos dimensiones.
- Un factor importante fue la utilización de un mecanismo tipo pantógrafo de cuatro barras articuladas, al cual se le dio una aplicación práctica que nos permite cortar piezas geométricas en círculos de hasta 70 cm de diámetro, cuadrados de 60 cm, rectángulos de 80 cm x 35 cm y figuras que no excedan dichas áreas. El mecanismo fabricado, supera en gran medida las dimensiones y las formas de corte de los pantógrafos comerciales (manuales).
- Éste proyecto ofrece la ventaja de cortar figuras de cualquier geometría con una operación sencilla y con un costo mucho menor en comparación con los que se ofrecen en el mercado.
- En la elaboración de este proyecto se aplicaron los conocimientos de las diferentes asignaturas cursadas en la carrera, como: dibujos, mecanismos,

materiales, diseño y procesos de manufactura entre otras; comprobando con ello la importancia en el ámbito laboral y profesional de los ingenieros.

- Debido al poco conocimiento de los alumnos en el proceso de corte con arco – plasma, este proyecto presenta una alternativa de integración al proceso enseñanza aprendizaje mediante la realización de prácticas de corte de materiales ferrosos y no ferrosos.

Es importante mencionar que generalmente se realizan prácticas de corte con materiales ferrosos.

- Dentro de las expectativas de éste proyecto, está la posibilidad de que el pantógrafo se puede automatizar realizando las adaptaciones pertinentes, pudiendo ser un tema de tesis posteriores.
- En el desarrollo de este trabajo, se justifica la importancia de los conocimientos adquiridos a lo largo de nuestra formación académica en la Facultad de Ingeniería, ya que en la realización del mismo nos vimos en la necesidad de aplicarlos en diferentes etapas del diseño, fabricación e integración del mecanismo.

# BIBLIOGRAFÍA

- Enciclopedia universal ilustrada euro-americana, Editorial Espasa – Calpe s.a., Madrid, tomo XLI, pp 885 – 886
- Mabie Hamilton H., Ocvirk Fred W., Mecanismos y Dinámica de Maquinaria, Ed. Limusa, México 1978, pp 48-49
- Guillet, Cinemática de las Máquinas, Compañía Editorial continental, S.A. de C.V., México pp. 299-300
- Bruce I. Harding Standardized System for Notation and Clasification of the four bar linkage ASME paper 57 –28
- Shigley J. Edward, Análisis Cinemático de Mecanismos, pp. 183 - 187
- Instructivo de operación Pantógrafo Alba, México D.F.
- Imágenes de pantógrafos Capítulo II obtenidas de:  
<http://www.dinastia.com.mx>
- DeGarmo e. Paul, Materiales y procesos de fabricación, Editorial Reverte S.A., Segunda edición, México, pp 1013 – 1022
- <http://www.thermal-dynamics.com>
- Gere – Timoshenko, Resistencia Mecánica de Materiales, Segunda Edición, Ed. Iberoamericana, 1986, pp 794-798
- Jensen, C.H., Dibujo y diseño de ingeniería, traducción: Adolfo gómez Danies, Editorial Mc Graw – Hill, México, 1993, pp 78 – 81

- Estanislao García Juan Carlos, Tesis "Diseño y construcción de herramienta para corte con arco – plasma", Director M.I. Ubaldo E. Márquez Amador, Facultad de Ingeniería, U.N.A.M. Ciudad Universitaria, 200, capítulo 3, pp 108
- Manual de operación, Sistema de corte de metales PCA 60J y 65J, plasma aire
- Metales Díaz S.A. de C.V., Manual del Fabricante, Ermita Iztapalapa #139, México D.F
- Hamilton H. Mabie, Mecanismos y dinámica de maquinaria
- Harris air plasma. Cutting system, the new "state of the art", system 65. air plasma cutting outfit, Sanco, Soldaduras especiales, form No. Hcp65 – 338

**ANEXO 1**  
**AJUSTES**

## A1.1 Clasificación de los ajustes

Los ajustes se dividen en forma general en:

- 1) Ajustes de rotación libre y corredizos
- 2) Ajustes con juego para ubicación de piezas
- 3) Ajustes de transición
- 4) Ajustes con interferencia para ubicar piezas
- 5) Ajustes forzados o por contracción

En cada una de las barras del mecanismo, se colocaron 2 tazas encontradas, que contendrán las partes del eje de bicicleta (balero y cono), estas piezas se insertaron mediante un ajuste forzado con interferencia.

### Ajuste forzado con interferencia

Los ajustes forzados con interferencia se utilizan cuando la precisión de la fijación es de primera importancia, para piezas que requieran rigidez y alineamiento, sin exigencias especiales con respecto a la presión sobre el agujero. Estos ajustes se clasifican en:

LN1 y LN2. estos son ajustes ligeramente apretados, con una interferencia mínima muy pequeña para montar piezas tales como espigas, las cuales se ensamblan con la ayuda de una prensa mecánica en piezas de acero, hierro

fundido, aluminio o bronce, las piezas se pueden montar y desmontar repetidamente, ya que la interferencia probablemente no forzará demasiado las piezas, pero por otra parte la interferencia es demasiado pequeña para lograr ajustes satisfactorios en materiales elásticos o aleaciones livianas.

LN3. este se emplea como ajuste de alta presión en acero y bronce o como ajuste de baja presión en materiales más elásticos y aleaciones livianas tales como el aluminio.

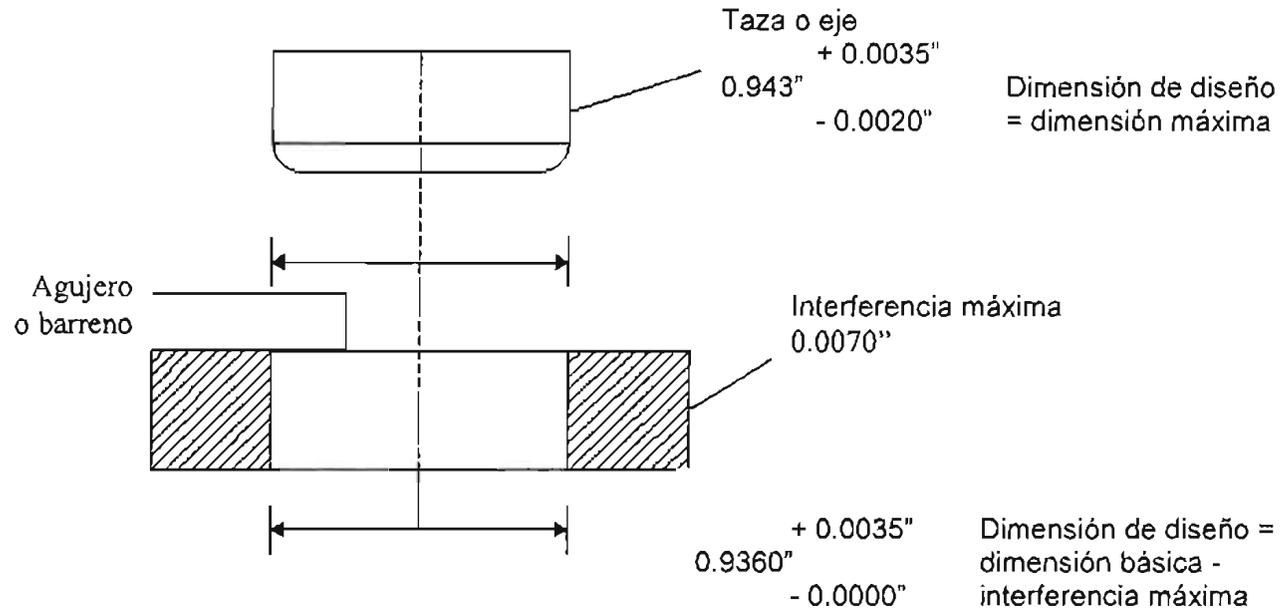
LN4 a LN6. aún cuando el ajuste LN4 se puede utilizar, estos ajustes se emplean principalmente como ajustes de presión para materiales más elásticos o blandos, tales como aleaciones livianas y materiales plásticos muy rígidos.

## **A1.2 Ajuste de las tazas en las barras**

Tomando como base el diámetro de la taza del balero de bicicleta, el cual mide 0.943", de acuerdo a tablas<sup>12</sup>, para solucionar el ajuste correcto, considerando que la pieza debe quedar permanentemente fija se estableció que debe ser un ajuste forzado.

Tomando como dimensión básica el diámetro de la taza y considerando las características de los diferentes tipos de ajuste forzado, se determinó que el correcto para nuestros fines es el ajuste forzado con interferencia clase LN6<sup>12</sup>.

Del diámetro de la taza y datos de la tabla se establece lo siguiente:



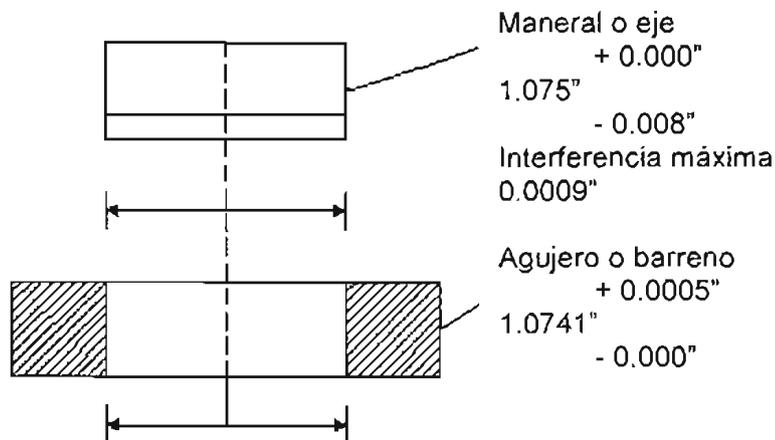
Del valor obtenido del barreno que se debe realizar se concluye que la broca a utilizar es de 15/16" (0.9375")

### A1.3 Ajuste del maneral con la barra

#### Ajuste forzado suave de presión

Debido a que el maneral se colocará y se quitará en la pieza acoplado a la barra para la sujeción del maneral, se debe contemplar un ajuste forzado suave LN1 mencionado anteriormente.

Del diámetro del maneral y de la tabla 19, pag. 700<sup>12</sup> se estableció lo siguiente:



Por lo anterior se determina que el barreno de la pieza y la barra acoplados debe ser de 1.074.<sup>12</sup>

<sup>12</sup> Jensen C. H., Dibujo y Diseño de Ingeniería, Traducción por Adolfo Gómez Donics, Ed. Mc Graw Hill, México D.F., 1993, pp. 78-81

**ANEXO 2**

**EQUIPO Y ACCESORIOS DEL**

**PROCESO DE CORTE CON**

**ARCO - PLASMA HARRIS**

**(65J)**

ANEXO 2 – EQUIPO Y ACCESIRIOS DEL PROCESO DE CORTE CON ARCO –  
PLASMA HARRIS (65J)

En éste anexo conoceremos detalladamente los elementos que integran el sistema de corte con arco – plasma de la máquina Harris 65J.

La figura A2.1 muestra una máquina para corte con arco – plasma PCA 60, 65 – J.

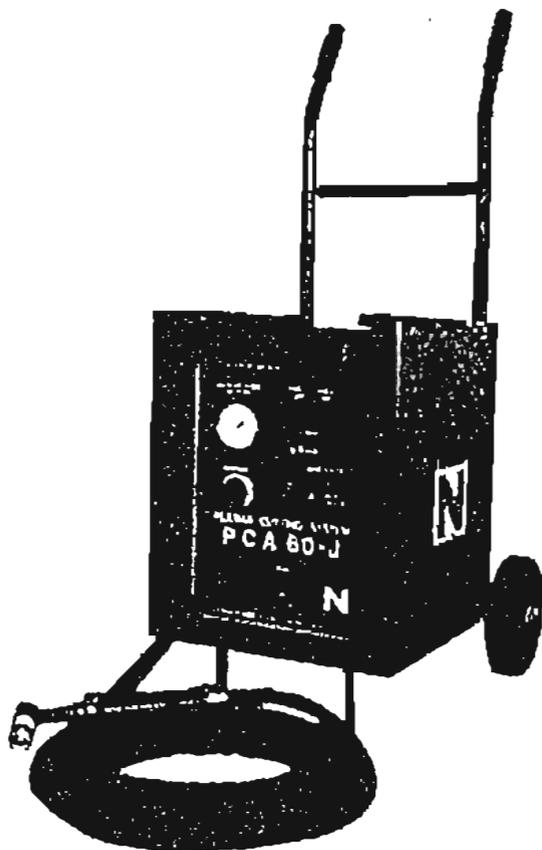


Figura A2.1  
Máquina para corte con  
arco-plasma PCA 60, 65J

## A2.1 Introducción

### Corte con fusión con chorro de Plasma

Este procedimiento permite cortar metales ferrosos y no ferrosos tales como aluminio, cobre, níquel y otros más a gran velocidad y con buen aspecto de corte.

Mientras que en el oxicorte, el oxígeno quema el metal generando calor, en el corte con chorro de plasma, el metal no se quema porque no hay aporte de oxígeno, sino que se funde a consecuencia de la elevadísima temperatura generada por el plasma (hasta 30,000 °C) y es proyectado al exterior de la ranura por la elevada energía cinética de éste.

El plasma, que ha existido desde siempre (el sol es una inmensa masa de plasma) es producido por el hombre elevando a muy alta temperatura gases monoatómicos o biatómicos de manera que las moléculas se disocian o los átomos se ionizan.

Se calienta un gas con un arco eléctrico de forma que sus átomos se ionizan, los electrones libres y los iones positivos generados producen plasma eléctricamente neutro.

En el curso de su calentamiento en una cámara cerrada, el gas se dilata considerablemente y escapa por una boquilla a muy alta velocidad.

ANEXO 2 – EQUIPO Y ACCESIRIOS DEL PROCESO DE CORTE CON ARCO –  
PLASMA HARRIS (65J)

Para el corte se emplea un soplete de plasma de arco transferido, en el cual el circuito eléctrico que produce el arco está conectado al soplete (electrodo que constituye el cátodo) y la pieza (que constituye el ánodo). El calor muy concentrado, se obtiene a la vez por el arco, es decir, para impedir una descarga entre el electrodo y la boquilla, se emplea el procedimiento de estabilización por gas, en el cual un potente torbellino de gas envuelve el arco por todas partes. De esta manera el arco mantenido en el eje de la boquilla se encuentra aislado de las paredes de esta, como se ilustra en la figura A2.2.

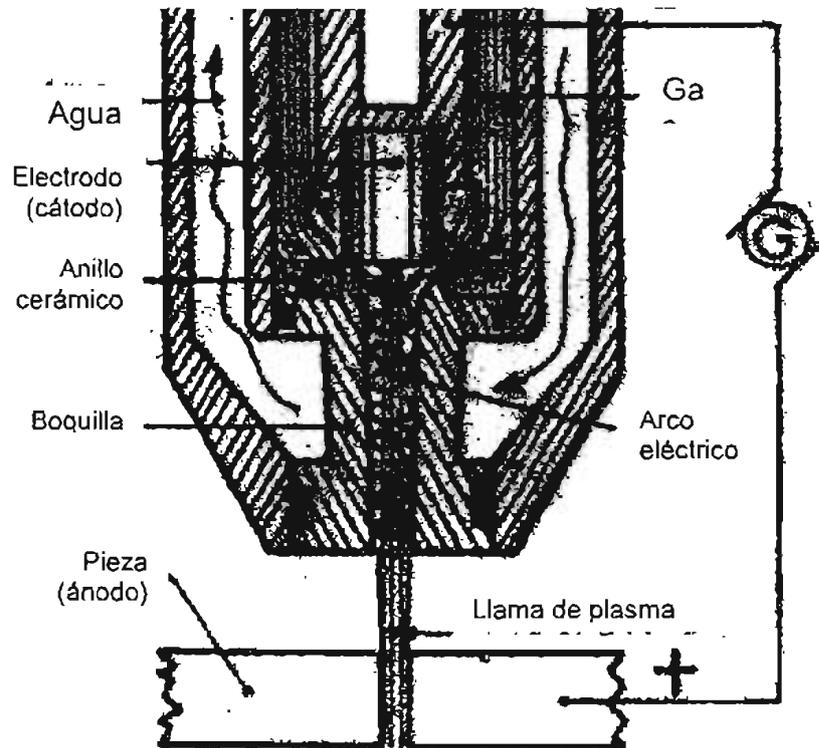


Figura A2.2  
Corte con arco-plasma en modo transferido

## **A2.2 Teoría de operación básica en un equipo de corte con arco-plasma**

### **Funcionamiento del soplete**

La corriente de mando, accionada por un pulsador, pone en marcha el arco eléctrico de encendido de alta frecuencia. Éste ioniza la columna de aire comprendida entre el cátodo y el ánodo.

El gas generador de plasma comienza a fluir, formando remolinos en el anillo cerámico. En ese mismo momento, se hace saltar el arco eléctrico principal en la columna de gas que se ha vuelto conductora de la electricidad. El arco eléctrico calienta el gas, disociándose e ionizándole parcialmente. El plasma eléctricamente neutro que resulta de este proceso escapa por la boquilla a una temperatura aproximada a 30,000 °C y a una velocidad del orden de 6 km/s.

Las boquillas pueden cambiarse fácilmente para adaptarla al espesor a cortar. El electrodo de tungsteno, altamente refrigerado y de un diámetro de 10 mm es capaz de absorber elevadas intensidades.

La fuente de energía eléctrica debe estar constituida por uno o varios equipos de corriente continua o rectificadas, conectados entre sí, capaces de proporcionar una intensidad de corriente de 100 a 750 A, con una tensión de vacío de 130 a 400 V y una tensión de trabajo de 60 a 200 V.

Los sopletes manuales funcionan con una potencia máxima de 50 KW, mientras que los automáticos funcionan normalmente con una potencia de 200 KW (altas velocidades de corte).

### **Gases utilizables para el corte**

Los gases destinados a ser transformados en plasma por el arco eléctrico deben estar exentos de oxígeno y de vapor de agua ya que el oxígeno destruiría rápidamente el soplete a causa de las altas temperaturas generadas.

Se utilizan gases inertes: argón, gas monoatómico, nitrógeno y gas biatómico. Sin embargo, se ha comprobado que resulta ventajoso un cierto contenido en hidrógeno (como máximo, 20 volúmenes en porcentaje de mezcla con el nitrógeno), ya que la elevada conductibilidad térmica y la aptitud de los átomos de hidrógeno para reasociarse más rápidamente que los de nitrógeno, aseguran una mejor transmisión del calor que utilizando nitrógeno solo.

### **Ventajas del procedimiento**

Además de la posibilidad de cortar todos los metales y aleaciones, incluso las refractarias, la deformación de las piezas es muy pequeña gracias a las velocidades de corte elevadas y a la concentración intensa del calor.

Al producirse la transformación de energía en el punto de impacto del chorro de plasma sobre el material, esta energía disminuye muy rápidamente con el

alejamiento de ese punto. Por esta razón, el espesor de corte está limitado a unos 100 mm para el acero inoxidable y a 120 mm para las aleaciones ligeras.

### **Desventajas del procedimiento**

La ranura alrededor de un 50% más ancha que la realizada por oxicorte, es más ancha en la parte superior que en la base.

Los cortes no resultan perfectamente a escuadra y este defecto aumenta con el espesor.

En caso de utilización intensiva:

- El porta electrodo debe estar rodeado de una pantalla que limite los rayos ultravioletas
- El operador debe llevar un aparato protector de oídos, ya que este procedimiento se caracteriza por la emisión de ruidos de frecuencia muy elevada
- Si el recinto es poco espacioso, se requiere ventilación para evacuar los óxidos de nitrógeno y los humos metálicos.

El oxícorte en serie puede realizarse simultáneamente con varios sopletes en una sola máquina, en cambio cada antorcha de plasma ha de poseer una fuente de energía y un dispositivo de mando propios, así como los cables y tubos individuales necesarios para su funcionamiento.

Estas son las características generales del equipo de corte con arco – plasma. A continuación se describen las características específicas del equipo de corte con plasma con que cuenta el Laboratorio de Corte de la Facultad de Ingeniería (U.N.A.M.).

### **A2.3 Descripción del equipo Harris 65J**

El sistema de corte con arco - plasma – aire Harris 65J consta de las siguientes partes:

- Una máquina mod. RCS65J
- Una antorcha mod. NPT-4, con cable de 5.5 m
- Una pinza para tierra con cable y conector rápido, 3.1 m
- Un cable de alimentación de uso rudo
- Una fuente de energía eléctrica trifásica de 220 V a 60 ciclos
- Una toma de aire

#### **A2.3.1 Máquina modelo PCA65J**

Ésta máquina ha sido diseñada para el corte de materiales conductores de la electricidad por medio de corriente directa y aire filtrado a presión. La máquina opera con una fuente de energía eléctrica trifásica de 220 V a 60 ciclos y una presión de aire de 5.6 Kg/cm<sup>2</sup>.

ANEXO 2 – EQUIPO Y ACCESIRIOS DEL PROCESO DE CORTE CON ARCO –  
PLASMA HARRIS (65J)

La regulación de la corriente se lleva a cabo por medio de un interruptor con tres posiciones, una de 30 A, otra de 45 A y otra de 65 A.

Esta máquina tiene aplicaciones para corte de metales hasta espesores de 12.3 mm (1/2") en acero al carbón y acero inoxidable, y hasta 11 mm en aluminio.

Las especificaciones de ésta máquina son las siguientes:

PRIMARIO

Voltaje de entrada	220 / 1 / 60
Corriente de entrada	65 A
KVA	14.3

SECUNDARIO

Corriente máxima	30, 45 y 60 A
Voltaje de corte	

Enfriamiento de aire forzado por ventilador

Peso	82 Kg
Dimensiones	330 mm x 580 mm x 450 mm

El aire comprimido debe ser filtrado de posible presencia de agua y aceite en las líneas de aire.

Encendido de arco piloto.	Estándar
---------------------------	----------

### A2.3.2 Antorcha NPT-4 con cable de 5.5 m, sus partes, conexión y operación

La explicación de las partes de la antorcha de la máquina se da en la figura

#### A2.3

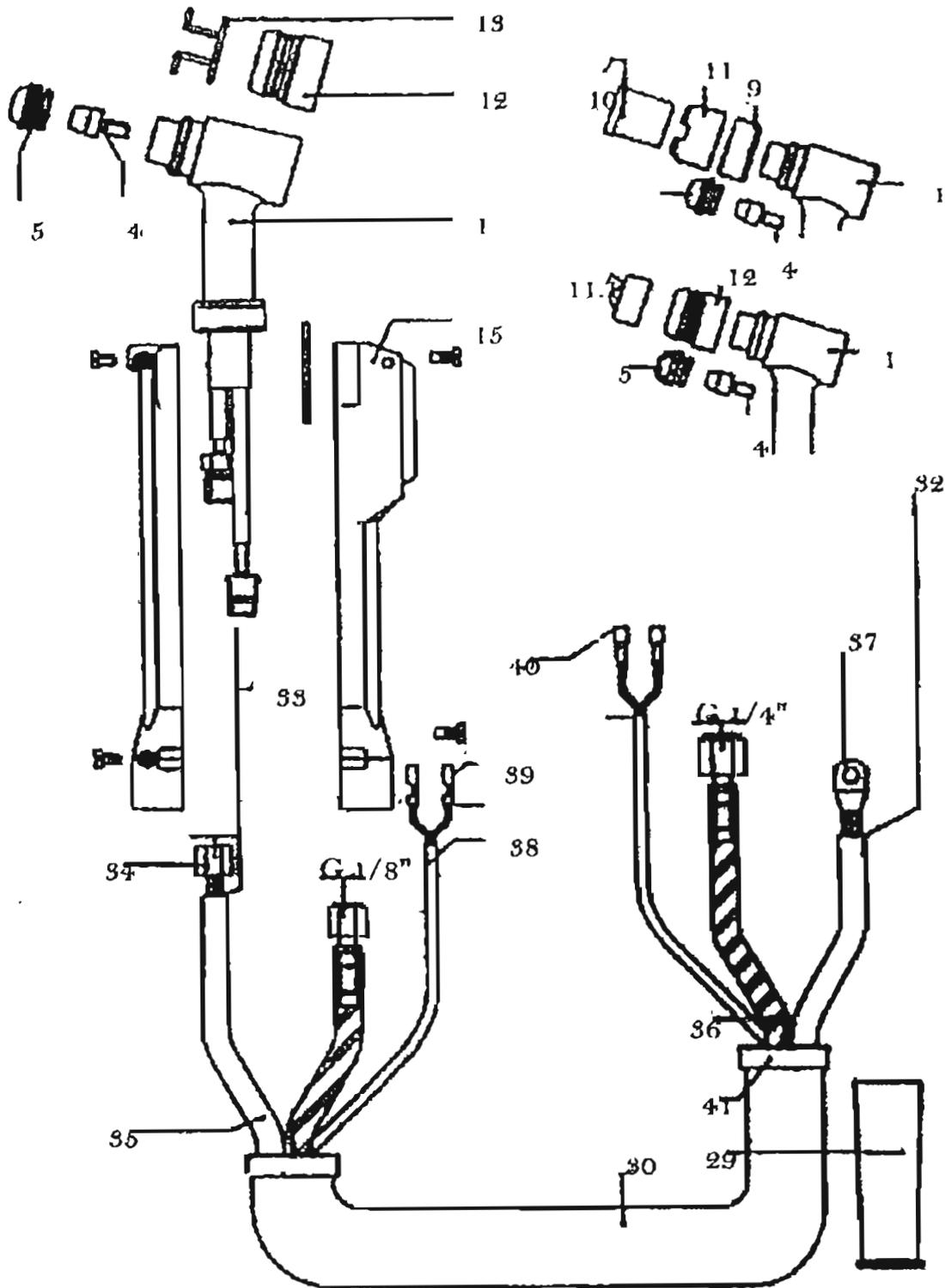
#### Lista de partes para antorcha NPT-4

No.	Descripción
1	Antorcha NPT-4 de 5.5 m
1	Cabeza NPT-4 c/aisladores
4	Electrodo aire
4.1	Electrodo Hidrógeno
5	Boquilla 1.0 mm
	Boquilla 1.3 mm
	Boquilla 1.5 mm
	Boquilla 1.8 mm
9	Espaciador
10	Anillo separador
11	Guía distanciadora de 8 patas
11.1	Guía distanciadora de 2 patas
12	Aislador soporte
13	Guía distanciadora de resorte

ANEXO 2 – EQUIPO Y ACCESORIOS DEL PROCESO DE CORTE CON ARCO –  
PLASMA HARRIS (65J)

- 15 Mango completo
- 29 Soporte de cable
- 34 Ensamble del cable de 5.5 m
- 35 Cable de fuerza R/ 3/8" 8.8 m
- 36 Cable fuerza R/ 1/4" 5.5 m
- 37 Manguera de gas de 5.5 m
- 38 Cable de control remoto de 5.5 m
- 39 Terminales
- 41 Forro del conjunto de cable 5.5 m

ANEXO 2 - EQUIPO Y ACCESORIOS DEL PROCESO DE CORTE CON ARCO -  
 PLASMA HARRIS (65J)



NPT-4

Figura A2.3  
 Partes de la antorcha NPT-4

### **A2.3.3 Instalación eléctrica**

Esta máquina de corte es una unidad trifásica y deberá conectarse a una línea de tensión de corriente alterna. el circuito en donde se conecta la máquina debe estar protegido con fusibles de 60 A.

Las puntas del cable de alimentación son 3: azul, roja y amarilla – verde.

Por precaución para evitar descargas eléctricas, ya que estas pueden ser mortales, no se debe conectar el conductor amarillo – verde a la línea de alimentación eléctrica, sólo conéctese a la tierra física.

### **A2.3.4 Conexión de aire**

La PCA 65J ha sido diseñada para utilizar aire comprimido limpio y seco, tanto para el enfriamiento de la antorcha y para el corte. El aire debe estar libre de agua y aceite, ya que reducirá sensiblemente la vida del electrodo y de la boquilla de corte, también perjudica la calidad del corte.

La máquina posee un circuito sensor de seguridad de doble función; una es evitar iniciar el corte cuando la presión y el volumen del aire son insuficientes y cuando se excede el ciclo de trabajo de la máquina.

Cuando la luz roja se enciende indica que la presión del aire no es la adecuada de acuerdo a lo especificado ( $5.6 \text{ Kg/cm}^2$ ), ya que se ha activado el switch termomagnético que evita un sobrecalentamiento en las partes internas de la máquina.

Para que la filtración del aire sea más adecuada, se debe instalar un filtro externo de capacidad filtrante de 0.5 de micra, y así poder también alargar la vida del filtro integrado a la máquina, del electrodo y de la boquilla de corte.

El aire es suministrado por un compresor que alimenta las diferentes áreas de los laboratorios de la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M.

### **A2.3.5 Prueba de funcionamiento**

Con la máquina apagada y después de colocar las partes correspondientes en la antorcha (electrodo, boquilla de corte, resorte y aislador), conecte el cable de tierra a la máquina, ajuste la presión del aire (65 Lb) y encienda la máquina, siguiendo los siguientes pasos:

1. Coloque el selector de corriente en el rango deseado: 30, 45 y 60 A
2. Se encenderá la luz verde, indicando que se puede iniciar el corte
3. Presione el gatillo de la antorcha para hacer salir el aire de enfriamiento, presione nuevamente para producir el arco piloto y se encenderá la luz

ámbar. Soltando el gatillo se extinguirá el arco piloto y el aire seguirá saliendo durante un minuto para el enfriamiento de la antorcha (la duración de la salida del aire para el enfriamiento es fijo y no se puede acortar o alargar), terminado el tiempo de enfriamiento de la antorcha, se puede reiniciar el arco nuevamente apretando el gatillo, ésta operación se ilustra en la figura A2.4.

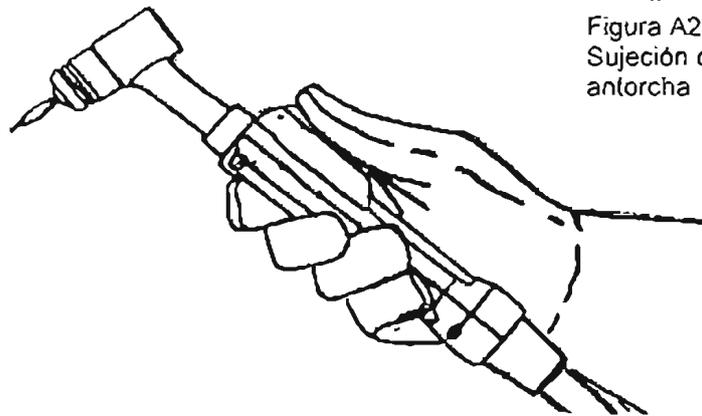


Figura A2.4  
Sujeción correcta de la  
antorcha

**Precaución:**

Como en otros sistemas para cortar metales, el metal en fusión y el chisporroteo pueden incendiar materiales inflamables, picar vidrios, cristales y quemar pintura que pueden producir gases tóxicos; por ello es conveniente trabajar en espacios abiertos y lejos de materiales de fácil ignición.

- Nunca obstruya la boquilla
- Mantenga la antorcha lejos de usted y de otros

Severas quemaduras y posible descarga eléctrica puede ocurrir si se opera la máquina sin el debido cuidado.

### A2.3.6 Operación de la máquina

1. Repita los pasos descritos anteriormente, coloque el selector de corriente en el rango deseado (30, 45, 60 A o fuera)
2. Conecte la pinza de tierra lo más cerca posible del lugar de corte
3. Coloque la antorcha perpendicularmente tomando en cuenta que el orificio de la boquilla esté en el comienzo de la pieza a cortar
4. Presione el gatillo para iniciar el arco piloto y una vez ya establecido este, deslice la antorcha en el sentido en que desee hacer el corte, como lo ilustra la figura A2.5.

Figura A2.5  
Posición correcta de la antorcha y sentido de deslizamiento al iniciar el corte



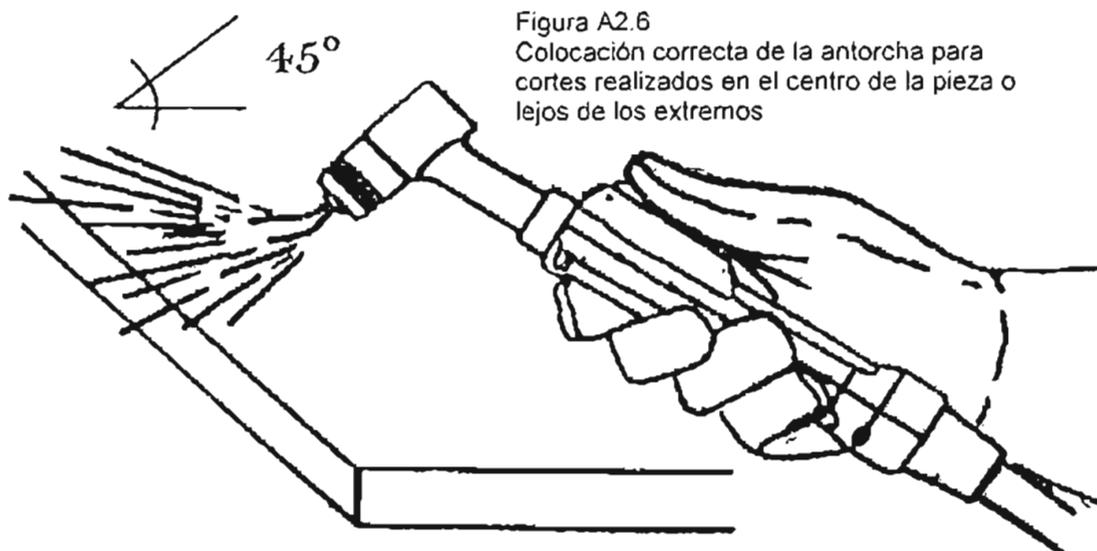
5. Una vez ya iniciado el corte, este se puede interrumpir por las siguientes causas:
  - Soltar el gatillo

- Que la presión del aire sea menor en el momento de corte activando el circuito de seguridad
- Exceder el ciclo de trabajo (el ciclo de trabajo de la máquina está basado en un periodo de 10 minutos, en este modelo es del 100% a 30 A, en el cual se puede operar continuamente sin que sufra un calentamiento excesivo. Todos los modelos PCA son diseñados con diferentes ciclos de trabajo de acuerdo a las necesidades de corte y velocidad).
- Exceder la altura entre la boquilla y la pieza de más de 5 mm

### **A2.3.7 Cortes lejos de los extremos de la pieza**

Algunos cortes requieren que sean realizados en el centro de la pieza o lejos de los extremos y se procede de la siguiente manera:

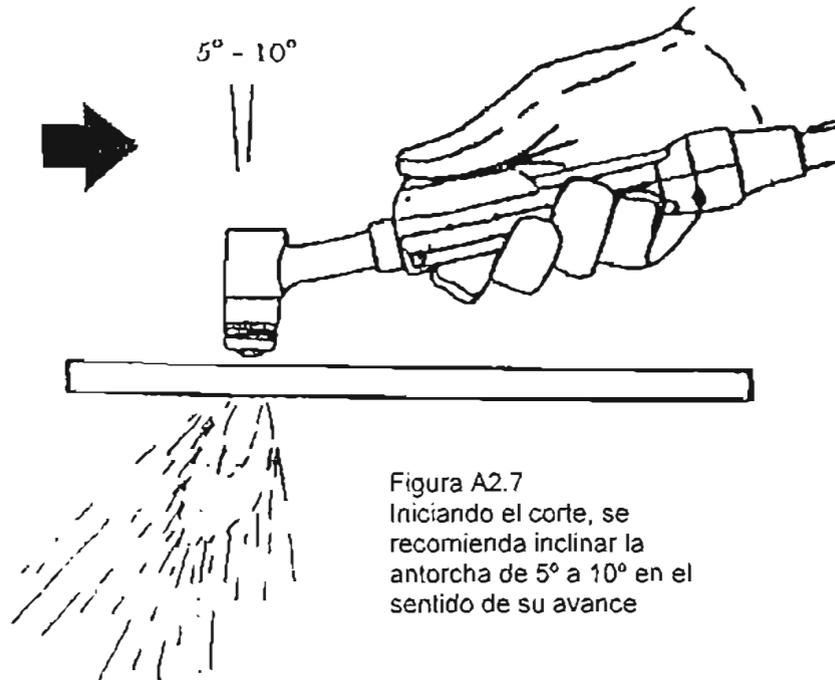
- Es necesario colocar la antorcha en un ángulo de 45°, con respecto a la pieza, para evitar que el metal removido se acumule en la boquilla de corte y que el espesor a perforar no exceda de 13 mm como ilustra la figura A2.6.



#### A2.3.8 Recomendaciones para hacer mejores cortes

1. Para cortes largos y rectos se puede hacer uso de una regla metálica fijada a la pieza a cortar.
2. Cuando corte espesores gruesos (15.9 mm) inicie el corte en el extremo de la pieza para evitar que el metal sea removido bruscamente y lanzado hacia arriba.
3. Cuando haga reparaciones de metal que tenga oxidación es posible colocar la nueva sección sobre la anterior y cortarlas al mismo tiempo para que ambas tengan las mismas dimensiones.
4. las chispas lanzadas pueden quemar la pintura, picar vidrios y cristales debiendo también mantener lejos del lugar cualquier material inflamable.
5. Para tener una buena velocidad de corte una vez iniciado éste, inclinar la antorcha de 5° a 10° en el sentido de su avance. La velocidad de corte

depende del espesor DEL MATERIAL y así también la HABILIDAD del operador, como se muestra en la figura A2.7.



### Servicio y mantenimiento

Siempre desconecte la máquina antes de llevar a cabo cualquier servicio tales como:

- Sopietee regularmente con aire seco al interior de la máquina removiendo el polvo y otras partículas
- Reemplace la boquilla y el electrodo antes de un excesivo desgaste y asegúrese que estén bien apretados
- Limpie la boquilla y el difusor – aislador del metal fundido que se haya adherido
- Verifique frecuentemente que el aire esté libre de aceite y agua

Fallas de corte y sus posibles correcciones

a) Insuficiente penetración

1. Velocidad de corte excesiva
2. Ajuste la corriente de acuerdo al espesor
3. Conexión de la pinza de tierra al trabajo muy lejos o incorrecta

b) El arco se extingue

1. Velocidad de corte muy lenta
2. La distancia de la boquilla de corte más de 5 mm
3. Excesiva erosión del electrodo, no debe ser mayor de 1.6 mm

c) Excesiva formación de escoria

1. Baja presión de aire
2. Velocidad de corte muy lenta
3. Orificio de la boquilla erosionado
4. Distancia de la boquilla menor a 1.6 mm

d) Boquillas y electrodos quemados

1. Excesiva corriente, use el tamaño adecuado de las boquillas de acuerdo a la corriente

Corriente	Boquilla
30 – 40 A	1.0 mm
60 – 80 A	1.3 mm 1.5 mm

2. Perforado de material con espesor mayor de 13 mm

3. suministro de aire contaminado con agua y aceite (instale el filtro de aire recomendado)
4. Excesiva erosión del electrodo
5. Velocidad de corte muy lenta

e) Arco intermitente

1. Presión de aire insuficiente
2. Aire contaminado con agua y aceite (instale el filtro de aire recomendado)
3. El voltaje de alimentación no sea el adecuado<sup>13</sup>.

---

<sup>13</sup> Manual de Operación, Sistema de Corte de Metales Harris PCA 60 y 65J, plasma - aire

A2.4 Representación simplificada del circuito electroneumático de la máquina Harris 65J

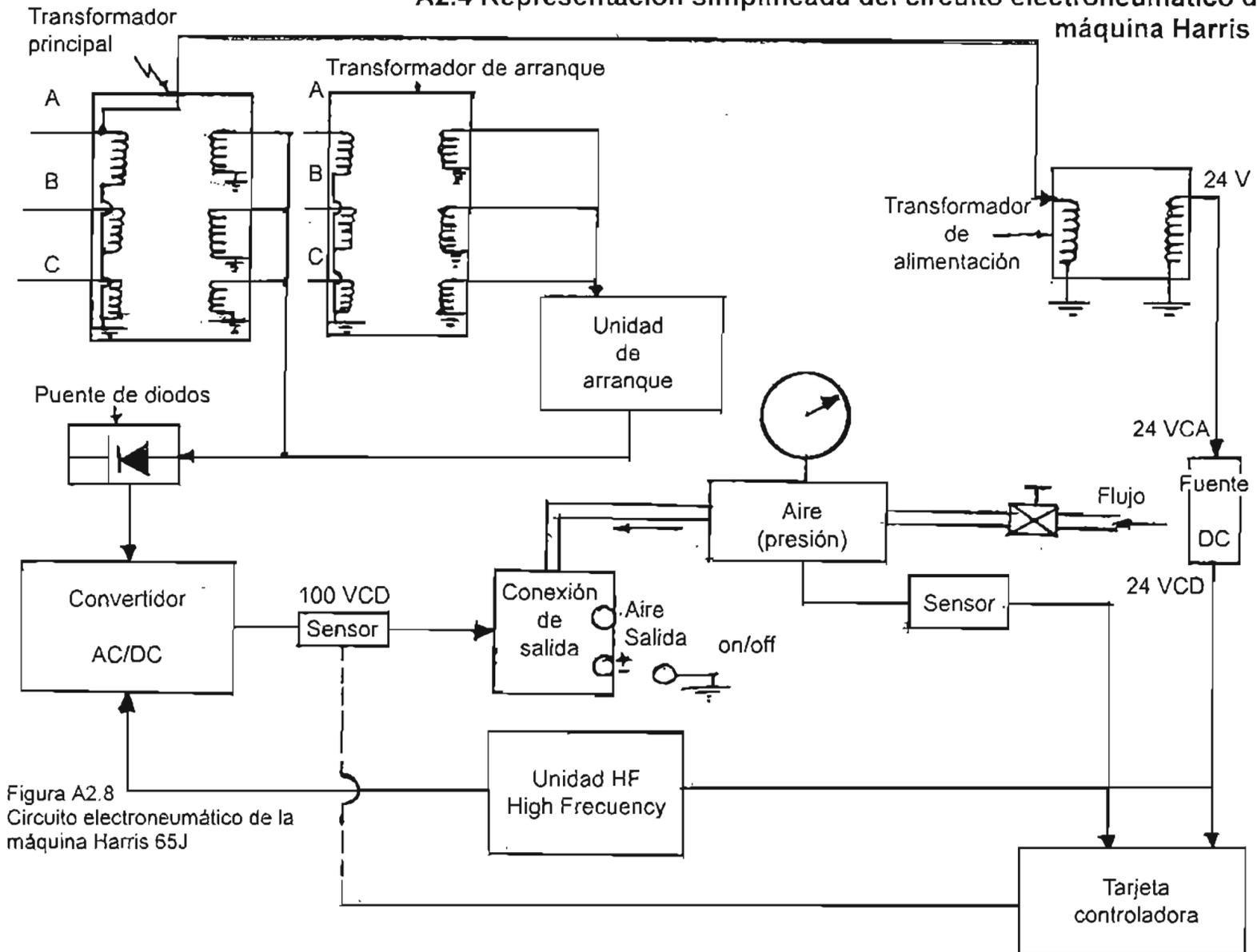


Figura A2.8  
Circuito electroneumático de la máquina Harris 65J

**ANEXO 3**

**INSTRUCTIVO DE**

**OPERACIÓN DEL**

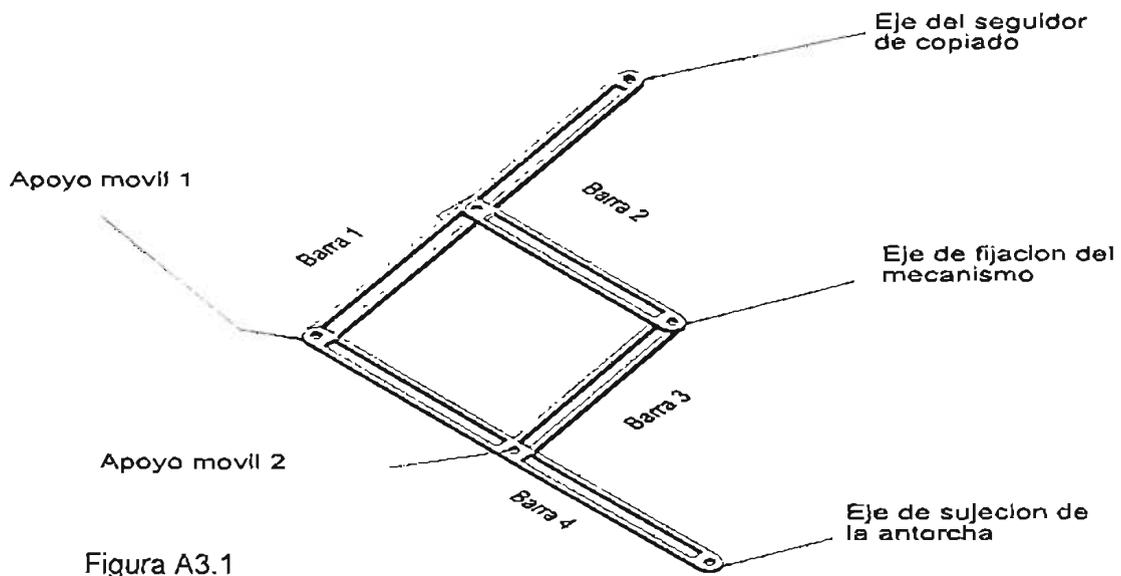
**SISTEMA**

### A3.1 Procedimiento de operación del sistema

Los pasos a seguir para una correcta operación del sistema son:

1. Fijar el mecanismo en el lugar correspondiente, ver figura 3.50 (pág. 89).
2. Validar la correcta colocación de las barras como se muestra en la figura A 2.1.
3. Verificar el ajuste preciso de las articulaciones (evitar el juego en el acoplamiento).
4. Colocar el apoyo 1 en la articulación de las barras (figura A3.1).
5. Colocar sobre la mesa de trazo, un papel con dimensiones iguales o mayores que los de la plantilla, fijar la plantilla y el papel con adhesivo masking tape. Si la plantilla de la geometría a cortar no excede las dimensiones de área señalada con rojo, colocar el apoyo 2 en la articulación de las barras (eliminando el separador de la antorcha).
6. Colocar el maneral en el lugar correspondiente del mecanismo (figura A 3.1).
7. Simular el trazo de la figura a cortar para la correcta ubicación y sujeción de los soportes donde se coloca el material a trabajar (área de corte).
8. Colocar la perilla con el interruptor pushbutton en el eje del trazador.
9. Conectar el plug del cable del pushbutton en el jack de la máquina.
10. Verificar la presión del aire en el flujómetro siendo de  $5.6 \text{ Kg/cm}^2$ .
11. El operador deberá utilizar el equipo de protección correspondiente (gafas oscuras, guantes y bata)

12. Encender la máquina (220 V) correctamente y seleccionar el rango de espesores de corte de acuerdo al espesor del material a cortar, colocar la tierra correctamente para cerrar el circuito.
13. Realizar la operación de corte oprimiendo el pushbutton simultáneamente siguiendo la geometría de la plantilla. Una vez terminada la operación apagar la máquina.
14. La velocidad de corte está en función del espesor del material, y el operador debe verificar la realización del mismo (tabla A3.1), la velocidad y precisión de corte también depende de la habilidad y destreza del operador.
15. Si se desea cortar otra pieza, repetir el procedimiento de los puntos 5, 7, 12, 13 y 14.



Una vez realizados todos los cortes, apagar la máquina, desconectar todos los cables, cerrar la alimentación de aire, bajar el switch, desmontar el mecanismo y entregarlo al almacén así como el quipo utilizado.

### A3.2 Tabla de velocidades de corte

En la siguiente tabla se muestra la relación de operación del sistema Harris 65, la cual se refiere a la velocidad de corte con respecto al espesor y al tipo de material en proceso.

Tabla A 3.1 – Velocidades recomendadas para diferentes materiales.<sup>14</sup>

Material	Espesor in-mm	Velocidad in/min.	Velocidad m/min.
Acero Suave	5/8" – 15.8 mm	10	0.25
	1/2" – 12.7 mm	20	0.50
	3/8" – 9.52 mm	40	1.0
	1/4" – 6.35 mm	60	1.5
	1/8" – 3.17 mm	120	3.0
	1/16" – 1.5 mm	180	4.5
	Calibre 24	320	8.1
	Calibre 28	400	10.1
Acero Inoxidable	5/8" – 15.8 mm	8	0.20
	1/2" – 12.7 mm	16	0.40
	3/8" – 9.52 mm	36	0.9

<sup>14</sup> Estanislao García Juan Carlos, Tesis: Diseño y Construcción de Herramiental para Corte con arco – plasma, director M. I. Marquez Amador Ubaldo E., Facultad de Ingeniería, U.N.A.M., C. Universitaria, México D.F., pag 104.

ANEXO 3 – INSTRUCTIVO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA

	1/4" – 6.35 mm	50	1.2
	1/8" – 3.17 mm	80	2.0
	1/16" – 1.5 mm	100	2.5
	Calibre 24	180	4.5
	Calibre 28	280	7.1
Acero	1/16" – 1.5 mm	180	4.5
Suave	Calibre 24	320	8.1
Galvanizado	Calibre 28	400	10.1
Aluminio	5/8" – 15.8 mm	6	0.15
	1/2" – 12.7 mm	12	0.30
	3/8" – 9.52 mm	17	0.4
	1/4" – 6.35 mm	40	1.0
	1/8" – 3.17 mm	105	2.6
	1/16" – 1.5 mm	220	5.5
	1/32" – 0.75 mm	240	6.0

Otros metales y aleaciones que pueden ser cortados con el sistema Harris 65J son: cobre, bronce, lámina galvanizada, acero tratado, titanio, níquel, latón, hierro fundido y metales blandos.

**ANEXO 4**

**PLANOS DE**

**FABRICACIÓN**

## A4.1 Propiedades del aluminio aleaciones 6061T-6 y 6063T-5

TABLA A4 - 1 - PROPIEDADES DEL ALUMINIO<sup>15</sup>

6061 T – 6 / Barra cilíndrica							
Esfuerzo Ksi		Elongación % en 2"		Dureza Brinell Carga 500 Kg bola 10 mm	Esfuerzo cortante Ksi	Límite de resistencia a la fatiga Ksi	Módulo de elasticidad
Último	Cedencia	1/16 in espesor de muestra	1/2 in diámetro de muestra				
45	40	12	17	95	30	14	10.0

6063 T – 5 / Solera					
Esfuerzo Ksi		Elongación % en 2"	Dureza Brinell Carga 500 Kg bola 10 mm	Esfuerzo cortante Ksi	Límite de resistencia a la fatiga Ksi
Último	Cedencia				
27	21	12	60	17	10

<sup>15</sup> Metales Díaz S.A. de C.V., Manual del Fabricante, Ermita IztaPalapa #139, México D.F.

1

2

3

4

5

6

A

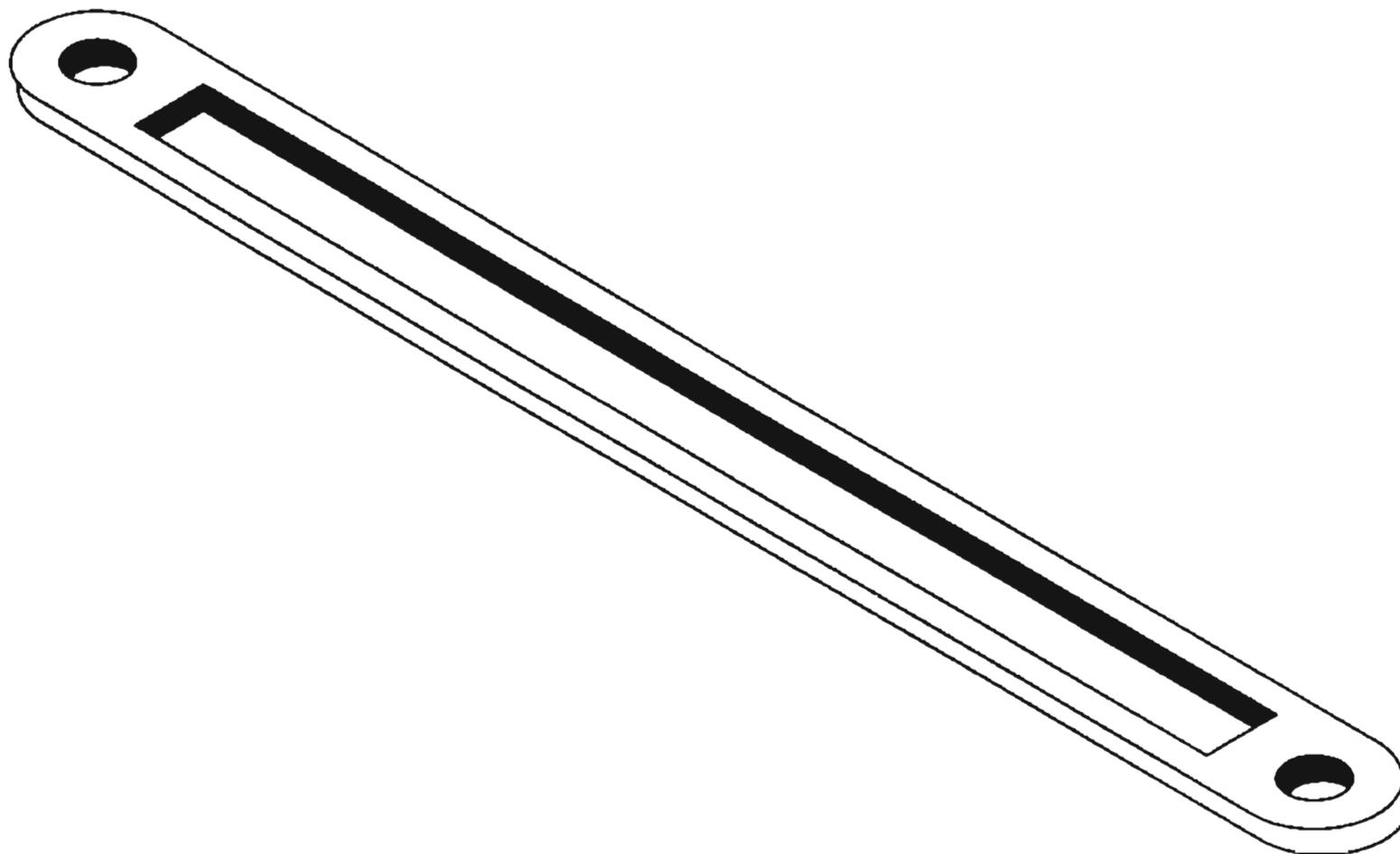
A

B

B

C

C



MATERIAL:

ALUMINIO 6063 T-5

ESC: S/E

ACOT: mm



DIBUJO: RUBEN AGUILAR ROSEY  
JORGE PALACIOS MARTINEZ

PROYECTO: DISEÑO Y FABRICACION DE UN PANTOGRAFO  
BIDIMENSIONAL PARA CORTE CON PLASMA

PIEZA:

BARRA CORTA

TESIS

REVISO  
JRL

PLANO  
No. 1

D

D

1

2

3

4

5

6

1

2

3

4

5

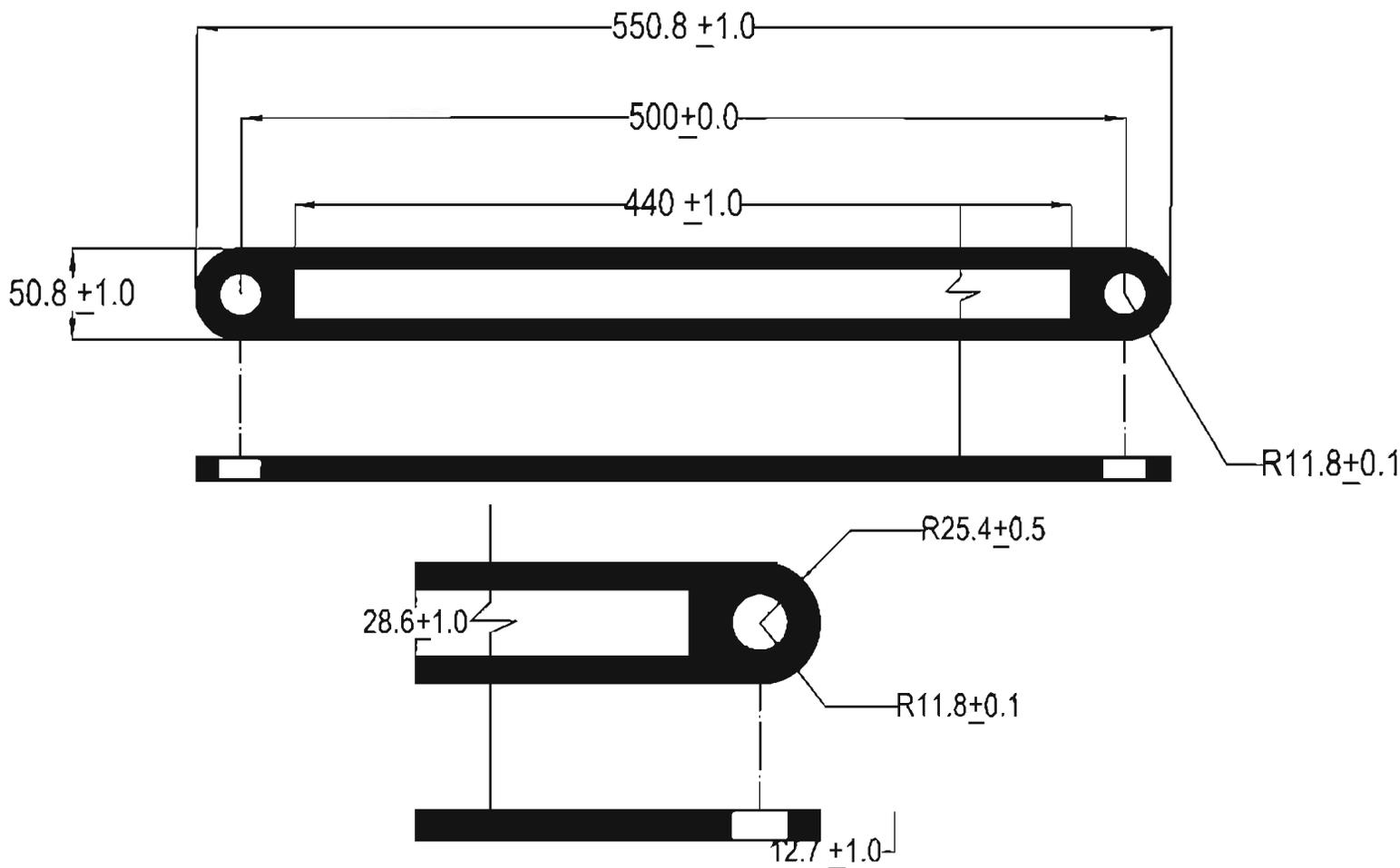
6

A

B

C

D



MATERIAL:

ALUMINIO 6063 T-5

ESC: S/E

ACOT: mm



DIBUJO: RUBEN AGUILAR ROSEY  
JORGE PALACIOS MARTINEZ

PROYECTO: DISEÑO Y FABRICACION DE UN PANTOGRAFO  
BIDIMENSIONAL PARA CORTE CON PLASMA

PIEZA: **BARRA CORTA**

**TESIS**

REVISOR  
JRL

PLANO  
No. 2

1

2

3

4

5

6

1

2

3

4

5

6

A

A

B

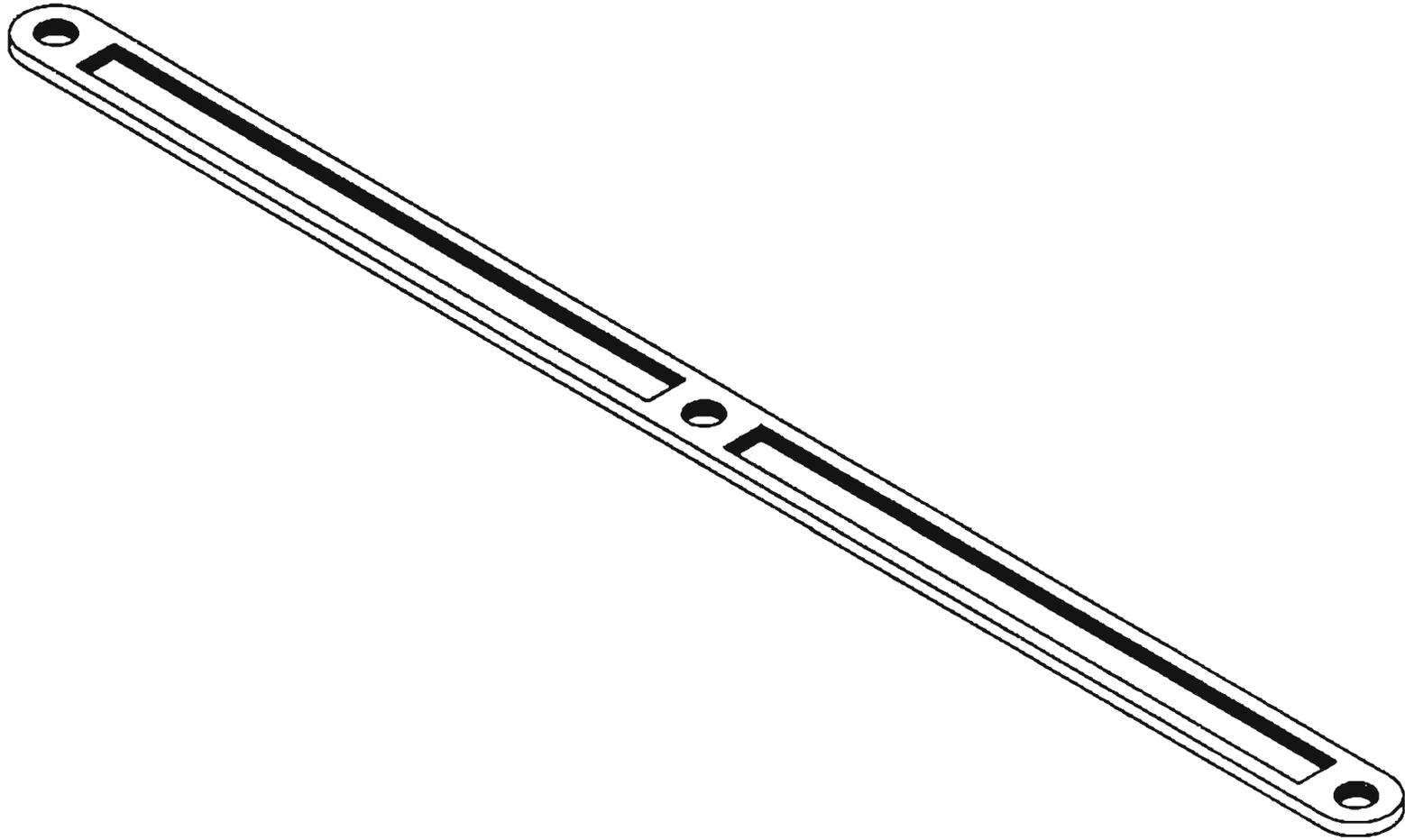
B

C

C

D

D



MATERIAL:

ALUMINIO 6063 T-5

ESC: S/E

ACOT: mm



DIBUJO: RUBEN AGUILAR ROSEY  
JORGE PALACIOS MARTINEZ

PROYECTO: DISEÑO Y FABRICACION DE UN PANTOGRAFO  
BIDIMENSIONAL PARA CORTE CON PLASMA

PIEZA: **BARRA LARGA**

**TESIS**

REVISO  
JRL

PLANO  
No. 3

1

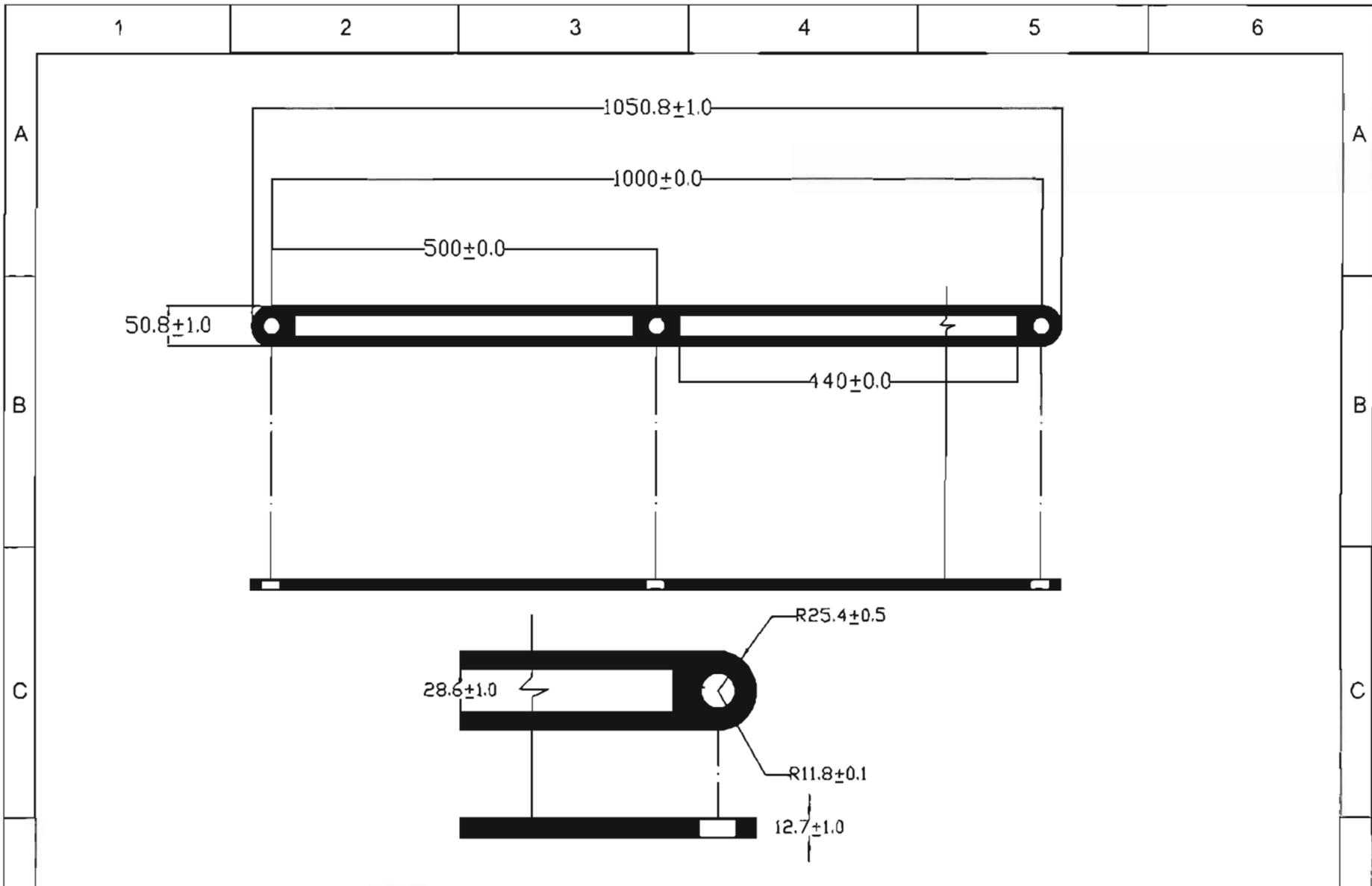
2

3

4

5

6



MATERIAL:

ALUMINIO 6063 T-5

ESC: S/E

ACOT: mm



DIBUJO: RUBEN AGUILAR ROSEY  
JORGE PALACIOS MARTINEZ

PROYECTO: DISEÑO Y FABRICACION DE UN PANTOGRAFO  
BIDIMENSIONAL PARA CORTE CON PLASMA

PIEZA:  
**BARRA LARGA**

**TESIS**

REVISOR  
JRL

PLANO  
No. 4

1

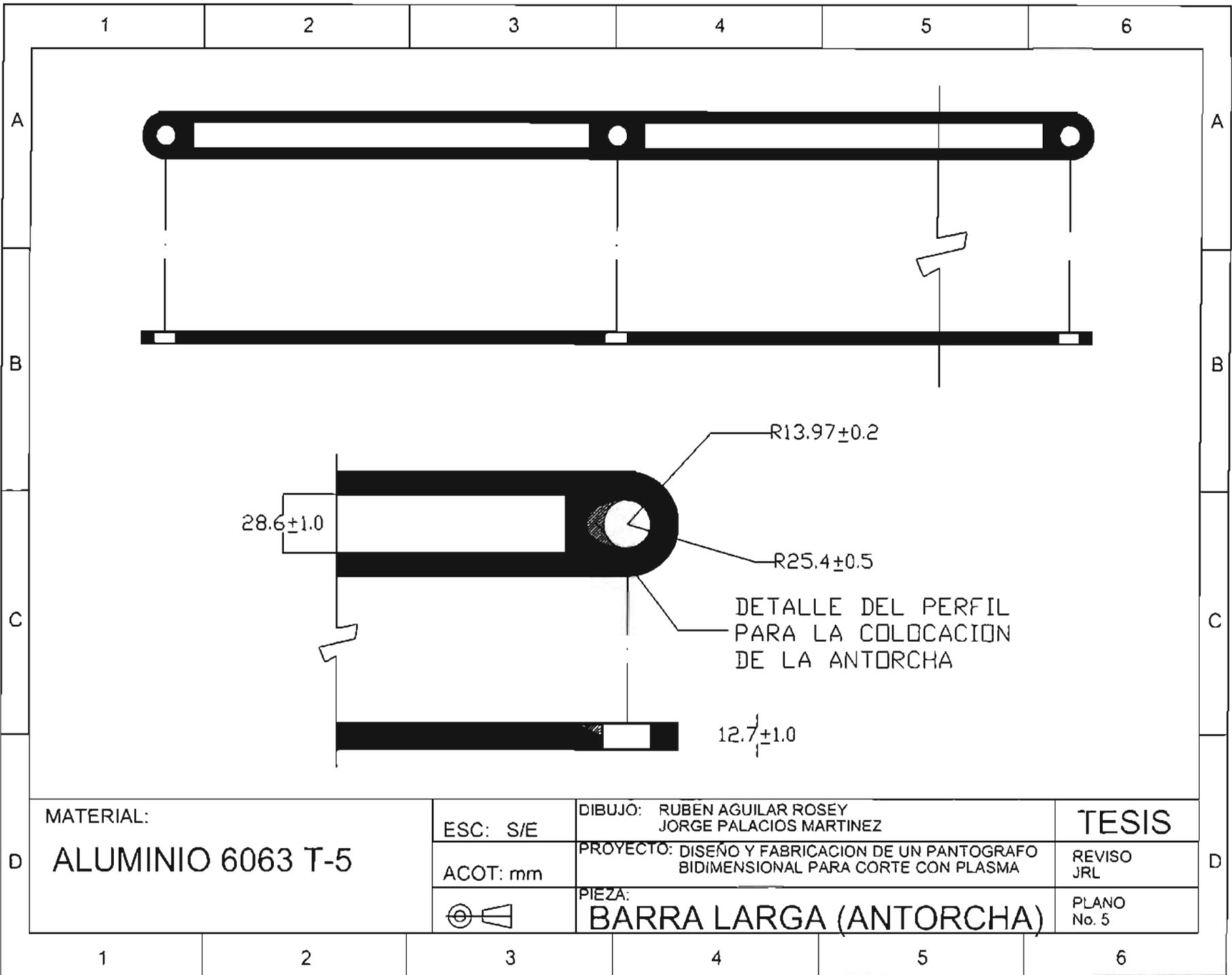
2

3

4

5

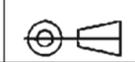
6



MATERIAL:  
**ALUMINIO 6063 T-5**

ESC: S/E

ACOT: mm



DIBUJO: RUBEN AGUILAR ROSEY  
 JORGE PALACIOS MARTINEZ

PROYECTO: DISEÑO Y FABRICACION DE UN PANTOGRAFO  
 BIDIMENSIONAL PARA CORTE CON PLASMA

PIEZA:  
**BARRA LARGA (ANTORCHA)**

**TESIS**

REVISOR  
 JRL

PLANO  
 No. 5

1

2

3

4

5

6

1

2

3

4

5

6

A

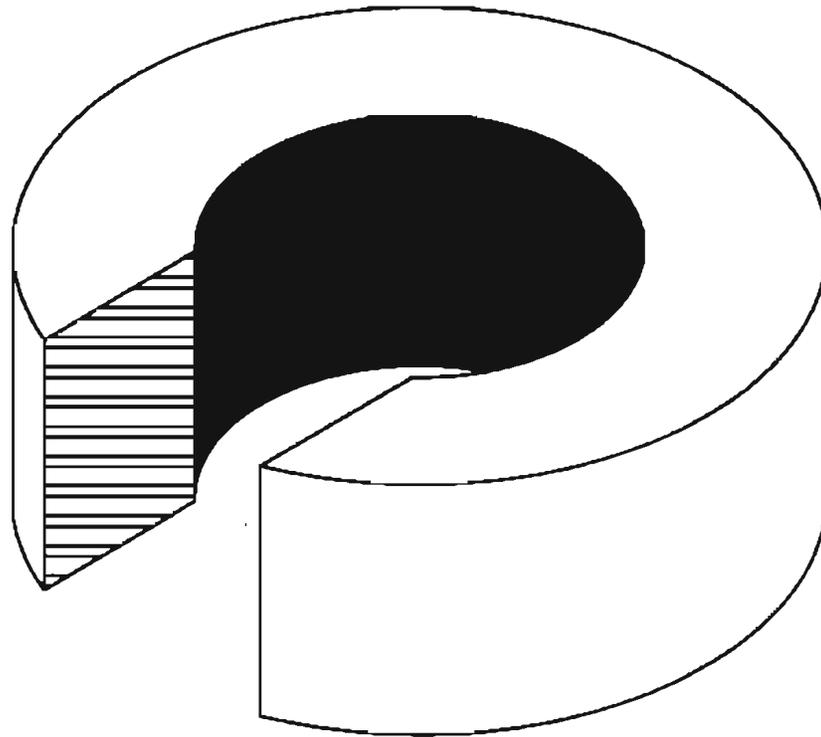
A

B

B

C

C

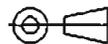


MATERIAL:

ALUMINIO 6061 T-6

ESC: S/E

ACOT: mm



DIBUJO: RUBEN AGUILAR ROSEY  
JORGE PALACIOS MARTINEZ

PROYECTO: DISEÑO Y FABRICACION DE UN PANTOGRAFO  
BIDIMENSIONAL PARA CORTE CON PLASMA

PIEZA:

SUJETADOR DE MANERAL

TESIS

REVISO  
JRL

PLANO  
No. 6

1

2

3

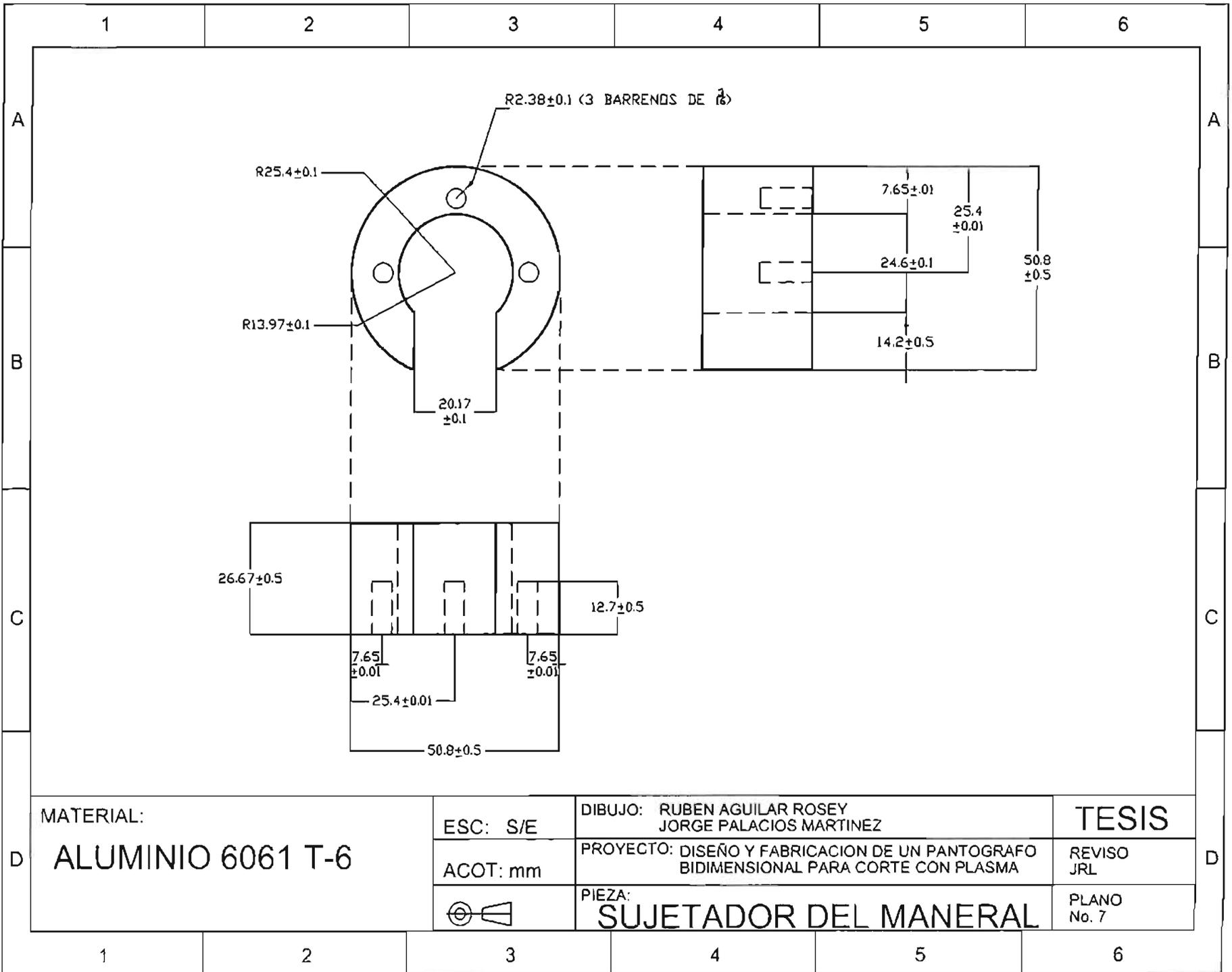
4

5

6

D

D

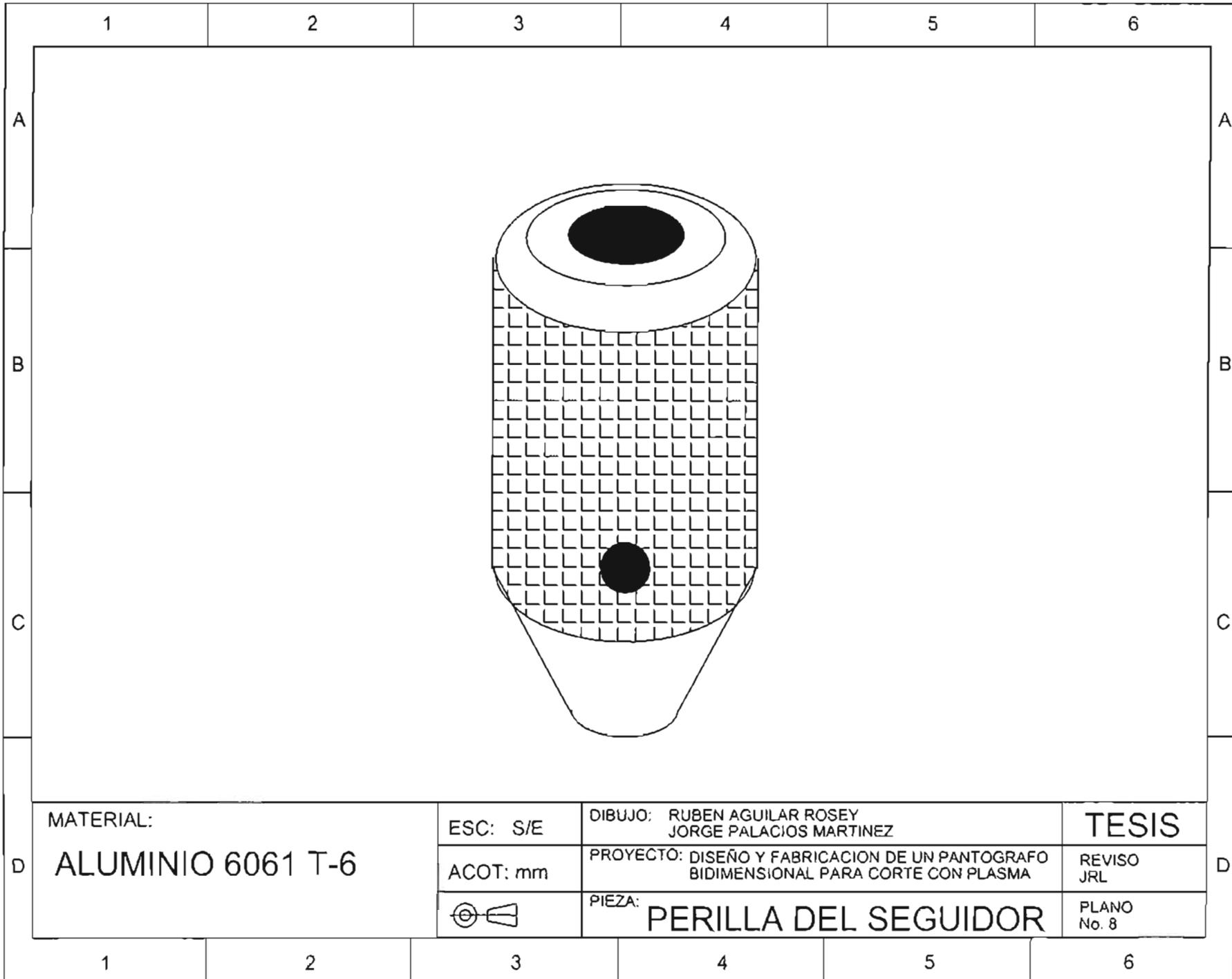


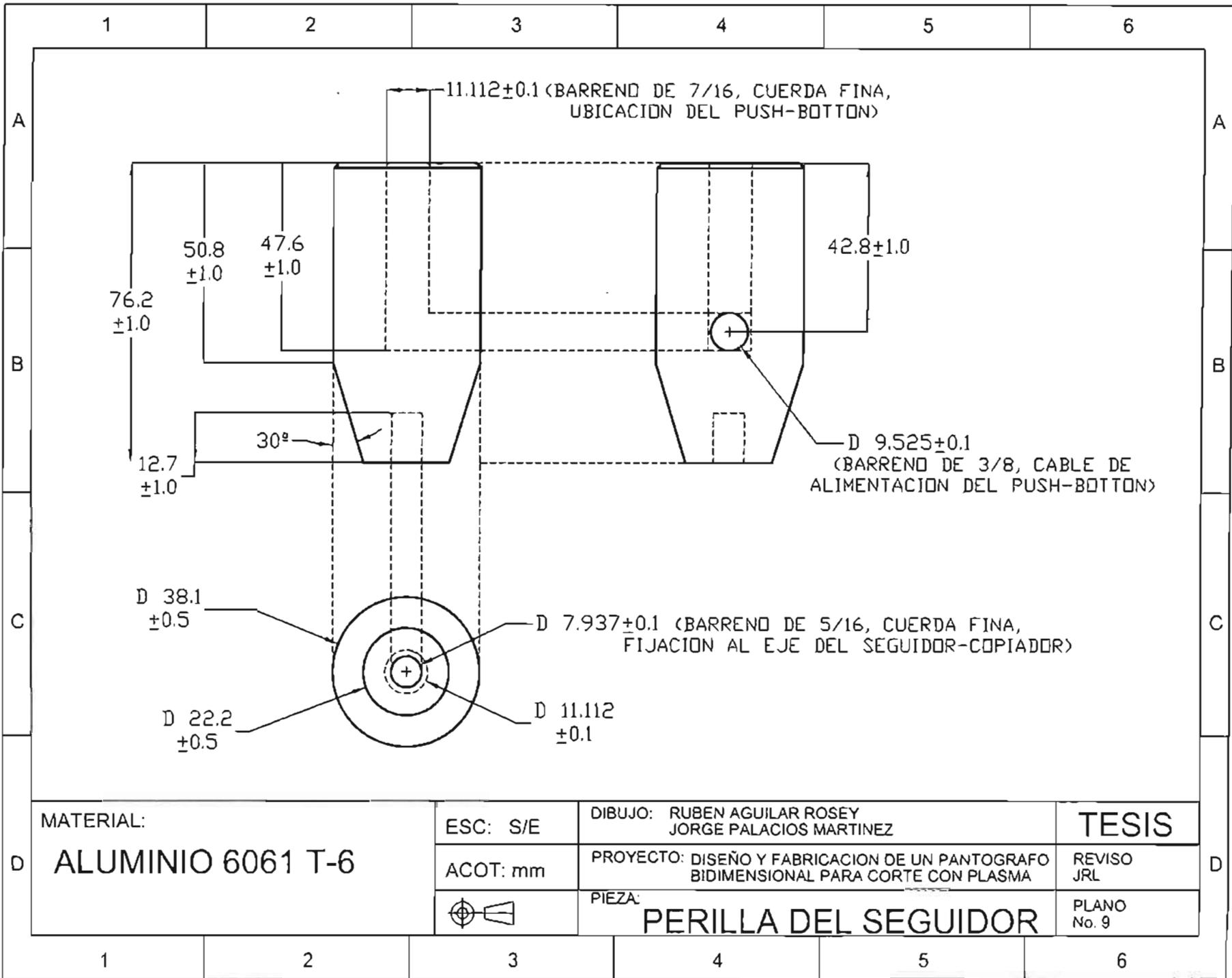
MATERIAL:  
**ALUMINIO 6061 T-6**

ESC: S/E  
 ACOT: mm  

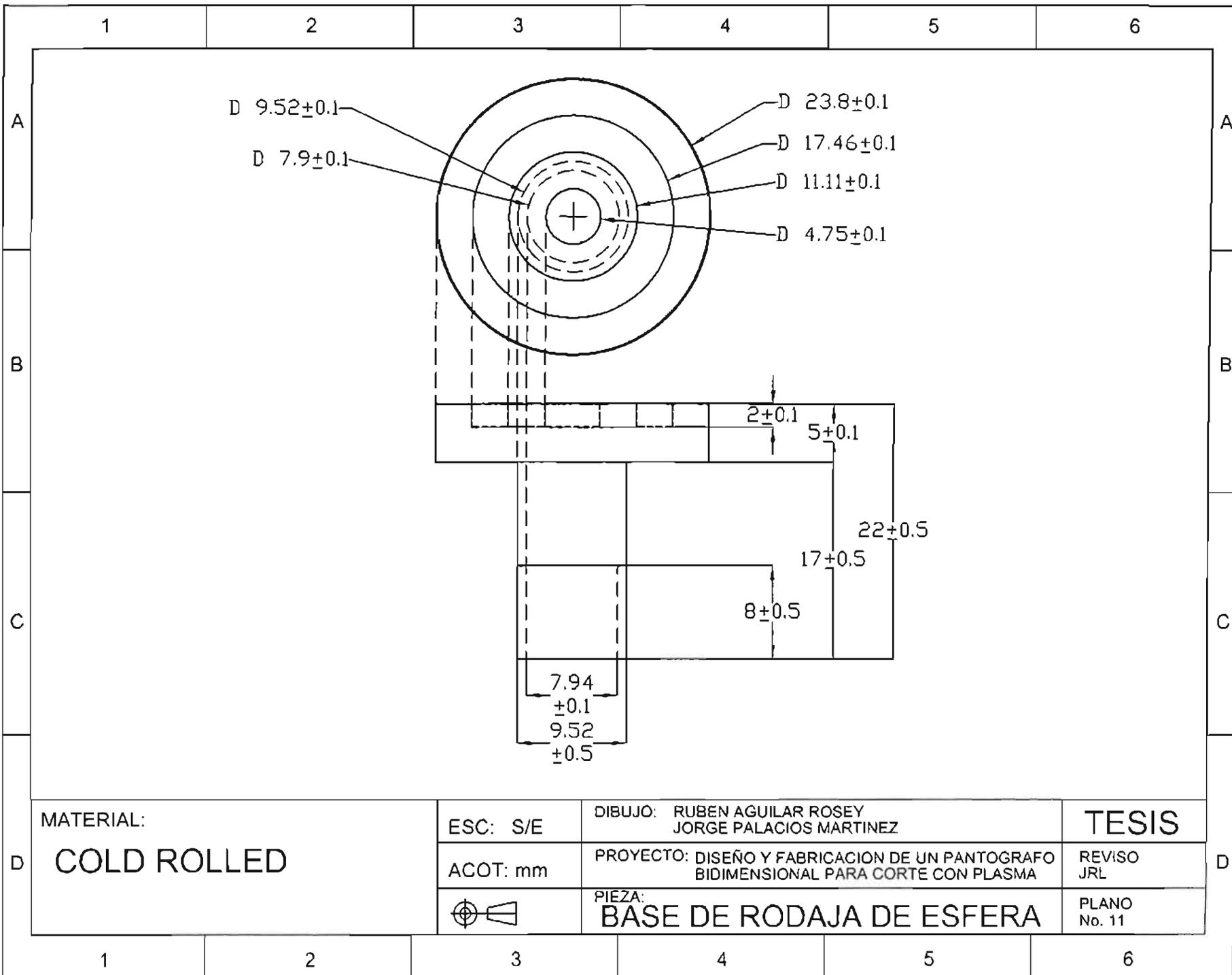

DIBUJO: RUBEN AGUILAR ROSEY  
 JORGE PALACIOS MARTINEZ  
 PROYECTO: DISEÑO Y FABRICACION DE UN PANTOGRAFO  
 BIDIMENSIONAL PARA CORTE CON PLASMA  
 PIEZA:  
**SUJETADOR DEL MANERAL**

**TESIS**  
 REVISOR  
 JRL  
 PLANO  
 No. 7





	1	2	3	4	5	6	
A							A
B							B
C							C
D	MATERIAL: <b>COLD ROLLED</b>		ESC: S/E ACOT: mm 	DIBUJO: RUBEN AGUILAR ROSEY JORGE PALACIOS MARTINEZ PROYECTO: DISEÑO Y FABRICACION DE UN PANTOGRAFO BIDIMENSIONAL PARA CORTE CON PLASMA PIEZA: <b>BASE DE RODAJA DE ESFERA</b>		<b>TESIS</b> REVISOR JRL PLANO No. 10	D
	1	2	3	4	5	6	



MATERIAL:  
**COLD ROLLED**

ESC: S/E  
 ACOT: mm  


DIBUJO: RUBEN AGUILAR ROSEY  
 JORGE PALACIOS MARTINEZ  
 PROYECTO: DISEÑO Y FABRICACION DE UN PANTOGRAFO  
 BIDIMENSIONAL PARA CORTE CON PLASMA  
 PIEZA:  
**BASE DE RODAJA DE ESFERA**

**TESIS**  
 REVISO  
 JRL  
 PLANO  
 No. 11