



POLITECNICA DEL LITORAL
BIBLIOTECA "GONZALO ZEVALLOS"
F.I.M.C.P.

Escuela Superior Politécnica del Litoral
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción



“Metodo de Fabricación para la
Producción de Bridas de Guias de
Onda”

TESIS DE GRADO

Previa a la Obtención del Título de:

INGENIERO MECANICO

Presentada por:

CARLOS LEONARDO MAYORGA GUALPA



Guayaquil - Ecuador

Año - 2001

DEDICATORIA

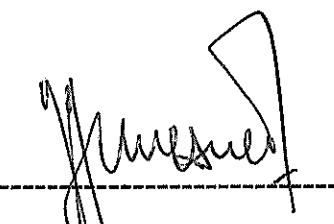
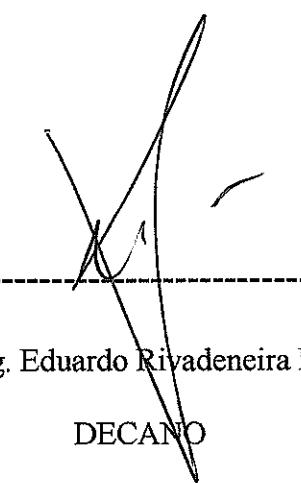
A Dios.

A mis Padres y hermanos

AGRADECIMIENTO

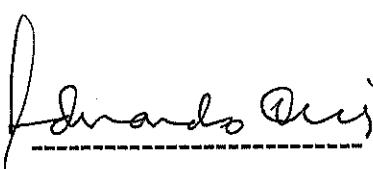
Al Ing. Ignacio Wiesner, Director de Tesis
y a todas las personas e instituciones que
hicieron posible la realización de este
proyecto.

TRIBUNAL DE GRADUACION



Ing. Eduardo Rivadeneira P.
DECANO

Ing. Ignacio Wiesner F.
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Eduardo Orcés P.

VOCAL



Ing. Edmundo Villacís M.

VOCAL

DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”.

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



A handwritten signature in blue ink, which appears to read "Carlos Mayorga Gualpa".

Carlos Mayorga Gualpa

RESUMEN

El presente trabajo tiene como finalidad determinar los procesos de maquinado mas adecuados para la fabricación de bridas de guías de onda de radar, primero con máquinas herramientas manuales, luego hacer una proyección de su producción en serie con máquinas de control numérico, finalmente realizar las pruebas correspondientes para su posterior evaluación.

Las guías de onda de radar son elementos constitutivos de los sistemas de radar a través de los cuales son transmitidas ondas electromagnéticas.

La realización del presente trabajo está orientada principalmente a la construcción de los acoplos mecánicos o bridas de las guías de onda para lo cual se inició haciendo una breve revisión de ciertos aspectos de transmisión de ondas a través de las guías, los tipos de bridas y sus características técnicas para de esta manera poder establecer un método de fabricación de las bridas considerando estos aspectos.

Luego se procederá a la construcción de estas bridas partiendo de la fundición del material en sí hasta llegar a los procesos de maquinado acabado final y maquinado por electroerosión. Paralelamente se hará una introducción al control numérico (CNC) y se estudiará la posibilidad de maquinado de estas bridas en este tipo de máquinas como una

alternativa para su producción en serie acompañado también del maquinado por electroerosión.

Finalmente se procederá a realizar las pruebas correspondientes a tramos de guías de onda en laboratorio con equipos electrónicos en donde se podrá determinar si estos elementos cumplen o no con los requerimientos de funcionamiento dentro de un rango determinado.

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	VI
INDICE GENERAL.....	VIII
ABREVIATURAS.....	X
SIMBOLOGIA.....	XII
INDICE DE FIGURAS.....	XIII
INDICE DE TABLAS.....	XV
INDICE DE PLANOS.....	XVI
INTRODUCCION.....	17
1. ANTECEDENTES Y PROBLEMA ACTUAL	19
1.1 Proyecto de fabricación de guías de onda.....	19
1.2 Aspectos de la transmisión de ondas relacionados con las bridas.....	23
1.3 Tipos de bridas de acuerdo al área o zona de guía.....	25
1.4 Problemática involucrada en la construcción de las bridas.....	27
2: FABRICACION DE BRIDAS	29
2.1 Características técnicas de las bridas de guías de onda.....	30

2.2 Identificación de procesos de construcción artesanal con tolerancias permisibles.....	32
2.3 Maquinado por control numérico.....	36
2.3.1 Programación con máquinas CNC.....	39
2.3.2 Producción con máquinas CNC.....	58
2.4 Maquinado por electroerosión.....	68
 3. EVALUACION DE TRAMOS DE GUIAS DE ONDA.....	80
 CONCLUSIONES.....	91
RECOMENDACIONES.....	93
APENDICES.....	98
BIBLIOGRAFIA.....	114

ABREVIATURAS

ASM	American Society of Metals
ASTM	American Society of Testing and Materials
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAM	Computer Aided Manufacturing
CNC	Computer Numerical Control
Cr	Cromo
Cu	Cobre
cm	centímetro
db	decibel
DIECAR	Dirección de Electrónica de la Armada
DINNAV	Dirección de Ingeniería Naval
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FALESA	Ferro-Aleaciones S.A.
FISA	Fundiciones Industriales S.A.
Fe	Hierro
fig	figura
g	gramo
GHz	Gigahertz

h	hora
Hz	hertz
HB	Dureza Brinell
hp	caballo de fuerza
INTRAMET	Industrias de Transformación Metalúrgica
kg	kilogramo
kW	kilovatio
m	metro
m³	metro cúbico
MHz	Megahertz
mm	milímetro
mm²	milímetro cuadrado
Mg	Magnesio
Mn	Manganeso
Mpa	Megapascal
N	newton
Ni	Níquel
Si	Silicio
SWR	Standing Wave Ratio
w	vatio
Zn	Zinc

SIMBOLOGIA

°C	grados Celsius
TE	Modo Transversal Eléctrico
λ	longitud de onda
F	velocidad de avance
G	comando de preparación
N	número de secuencia
M	comandos auxiliares
P	secuencia de inicio de bloque
Q	secuencia de terminación de bloque
R	radio
ρ	coeficiente de reflexión
S	velocidad de rotación
T	selección de herramienta
U	profundidad de corte
X,Y,Z	sistema de coordenadas
\pm	desviación máxima
>	mayor que
<	menor que

INDICE DE FIGURAS

FIG 1.1:	ACOPLE DE DOS BRIDAS CON SECCION DE CORTOCIRCUITO.....	24
FIG 2.1:	PROCESO DE FUNDICION DE Al 713.....	34
FIG 2.2:	ALUMINIO FUNDIDO PARA LA FABRICACION DE BRIDAS.....	35
FIG 2.3:	DESPLAZAMIENTOS DE LA HERRAMIENTA .- TORNO Y FRESADORA.....	43
FIG 2.4:	LABORATORIO DE CAE.....	65
FIG 2.5:	PROCESO DE TORNEADO DE UNA BRIDA.....	66
FIG 2.6:	PROCESO DE FRESADO DE UNA BRIDA.....	67
FIG. 2.7:	RELACIONES DE DESGASTE DE UN ELECTRODO.....	72
FIG 2.8:	MAQUINA DE ELECTROEROSION POR HILO.....	79
FIG 3.1:	ANALIZADOR DE RED.....	82
FIG 3.2:	VALORES DE SWR PARA UN TRAMO CON BORDE RECTANGULAR.....	83
FIG 3.3:	VALORES DE SWR PARA UN TRAMO CON BORDE CIRCULAR .- LADO 1.....	84
FIG 3.4:	VALORES DE SWR PARA UN TRAMO CON BORDE CIRCULAR .- LADO 2.....	85

FIG 3.5: VALORES DE RETURN LOSS PARA UN TRAMO CON BORDE RECTANGULAR.....	88
FIG 3.6: VALORES DE RETURN LOSS PARA UN TRAMO CON BORDE CIRCULAR.- LADO1.....	89
FIG 3.7: VALORES DE RETURN LOSS PARA UN TRAMO CON BORDE CIRCULAR.- LADO2.....	90

INDICE DE TABLAS

I	DIMENSIONES DE GUIAS DE ONDA RECTANGULAR.....	22
II	POLARIDAD DEL ELECTRODO SEGUN EL MATERIAL.....	70
III	VALORES DE SWR Y RETURN LOSS DE LOS RESPECTIVOS TRAMOS DE GUIAS DE ONDA.....	87

INDICE DE PLANOS

PLANO 1	DIMENSIONES DE UNA GUIA DE ONDA.....	94
PLANO 2	BRIDA REDONDA.....	95
PLANO 3	BRIDA REDONDA PLANA.....	96
PLANO 4	BRIDA RECTANGULAR.....	97

INTRODUCCION

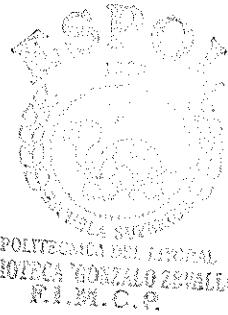
Hace aproximadamente un año se planteó realizar un proyecto de Investigación y Desarrollo entre la ESPOL y la Armada del Ecuador para la fabricación de una guía de onda de radar de la Corbeta Manabí. En ese entonces en coordinación con el DINNAV (Dirección de Ingeniería Naval) y luego de un arduo trabajo investigativo fue posible la construcción de una guía de onda.

La fabricación de esta guía de onda fue por el proceso de extrusión que se llevó a cabo en la instalaciones de la empresa FISA (Fundiciones Industriales S.A.) que se especializa en fabricar perfiles, tubos huecos de sección rectangular y cuadrada en aluminio. En esta parte que fue la inicial de dicho proyecto se logró producir 18m de tubo con una condición de precisión del orden del 95%.

Debido a la no existencia de ciertos elementos o acoples, no se pudo realizar la prueba de funcionamiento a la guía de onda construida. Por esta razón se debió continuar con este proyecto en una segunda etapa en la que el objetivo principal es fabricación de los acoplos que se requieren para poder evaluar electrónicamente una guía de onda de una longitud determinada y como se podrá observar posteriormente existen algunos tipos de acoplos también llamados *bridas* que tienen ciertas características de acuerdo al uso



que se dará a cada una. Se construirán dos tipos diferentes de estas bridas, en donde el maquinado se lo realizará mediante el uso de un software que controla a dos máquinas de control numérico (CNC) debido a las ventajas que representa el uso de este tipo de tecnología, y finalmente serán evaluadas por separado (a cada modelo) con lo que se determinará la factibilidad de su fabricación en nuestro medio.



CAPITULO I

ANTECEDENTES Y PROBLEMA ACTUAL

1.1 PROYECTO DE FABRICACION DE GUIAS DE ONDA

El proyecto de fabricación de guías de onda nace como consecuencia de un proyecto de Investigación y Desarrollo planteado por la ESPOL a el DINNAV (Dirección de Ingeniería Naval) de la Armada del Ecuador para la fabricación de una guía de onda de radar de la Corbeta Manabí, perteniente al Cuerpo de Corbetas de las Fuerzas Armadas del Ecuador.

Las guías de onda de radar son elementos que forman parte de los sistemas de radar, que en definitiva no son mas que cavidades de sección rectangular, en las que, por su interior se conducen ondas electromagnéticas.

Un sistema de radar es un sistema de detección y medida de distancias mediante ondas electromagnéticas (Radio Detection and Ranging) diseñado y construído para

determinar el rango de posición y dirección de objetos tales como barcos y aviones .Los radares trabajan por lo general en longitudes de onda comprendidas entre 100m (ondas cortas) o mayores, y 10^{-7} m (ultravioleta) o más cortas.

Los componentes de un sistema de radar son: antena, transmisor, receptor y procesador de señal, y la parte de instrumentación.

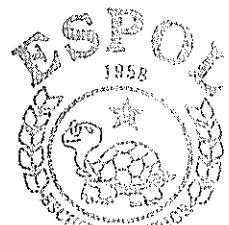
Su operación se inicia mediante un sincronizador que controla las secuencias de tiempos de transmisión, puertas de recepción y ajuste de la ganancia, tratamiento o proceso de la señal y presentación visual. Cuando el sincronizador lo determina, el modular aplica un impulso de alta tensión al amplificador de radio frecuencia simultáneamente con una señal de mando de radio frecuencia procedente del exitador. El impulso de radiación de alta potencia resultante se aplica a la antena a través de una línea de transmisión o guía de onda y duplexer para su radiación al espacio libre. Cuando la señal de eco se refleja en un blanco, ésta vuelve a la antena, que ha sido conectada al receptor preamplificador o mezclador mediante el duplexer.

El transmisor de radar, la antena y el receptor están todos ellos conectados mediante líneas de transmisión de radio frecuencia o mediante duplexer que actúa como un conmutador que conecta el transmisor con la antena durante el período de emisión y el receptor con la antena durante el período de recepción de los ecos.

Para transmitir la señal del alimentador de una antena giratoria con el transmisor o con el receptor son necesarios elementos tales como tramos flexibles de guías de onda, tramos rígidos de guías de onda, codos de guías de onda y juntas de acople giratorias (bridas).

Los tramos rígidos de guías de onda ya fueron construidos en la primera parte de este proyecto aunque debido a la falta de los acoples o bridás no fue posible hacer las respectivas pruebas en dichos tramos. Las dimensiones principales de una guía de onda de sección rectangular son precisamente las de su sección transversal con una relación de ancho por altura de alrededor de 2:1, estas dimensiones están dadas de acuerdo a la banda de operación y frecuencia como se ve en la tabla I ; su longitud depende únicamente del lugar en donde se va instalar dicho tramo de guía, las guías de onda que hacemos referencia en este proyecto trabajan en la banda S y sus dimensiones las podemos observar en el pano No. 1.

Para este caso en particular vamos a dedicarnos específicamente a estudiar los procesos de manufactura mas apropiados que se involucran en la fabricación de las juntas de acople giratorias o bridás y posteriormente poder determinar una metodología para su producción.



POLITECNICA DEL LITORAL
BIBLIOTECA "GONZALO ZEVALLOS"
F.I.M.C.P.

TABLA I DIMENSIONES DE GUIAS DE ONDA RECTANGULAR

Banda	Rango de frecuencia (GHz)	Dimensión ancho x alto (cm)
L	1.12 - 2.7	11.0 X 5.5
S	2.6 - 3.95	7.2 X 3.5
G	3.95 - 5.85	4.8 X 2.2
J	5.85 - 8.2	3.5 X 1.6
X	8.2 - 12.4	2.3 X 1.0
P	12.4 - 18.0	1.6 X 0.8
K	18.0 - 26.0	1.07 X 0.43
R	26.0 - 40.0	0.71 X 0.36

FUENTE: ELECTRONIC FUNDAMENTALS FOR TECHNICIANS, SHRADER R

1.2 ASPECTOS DE LA TRANSMISION DE ONDAS RELACIONADOS CON LAS BRIDAS

El modo de propagación de las ondas en este caso es modo TE_{10} (transversal eléctrico), esto significa que el campo eléctrico es siempre perpendicular al eje de las abscisas y no tiene componente en esa dirección de la guía; el campo magnético asociado puede tener una componente en la dirección de las abscisas. El subíndice 1 indica que la distribución del campo eléctrico es en la dirección del lado mayor de la guía de onda; el subíndice 0 indica que no hay variación de campo de fuerza ya sea éste eléctrico o magnético en la dirección del lado corto de la guía.

Las guías de onda pueden ser de varias longitudes, pueden ser tramos rectos o curvados en una dirección y ángulo deseados. Las bridas que acoplan un tramo de guía de onda con el siguiente pueden ser planas, pero para que exista el mínimo de pérdidas en la unión una de ellas debe ser una brida de choque como se muestra en la figura 1.1, esto con el fin de obtener una sección de cortocircuito.

Las propiedades de una sección de cortocircuito se pueden usar para provocar un cortocircuito eléctrico, sin que haya contacto mecánico sólido en el punto de cortocircuito. este principio es incorporado en el diseño de algunos tipos de bridas usados para acoplar secciones de guías de onda.

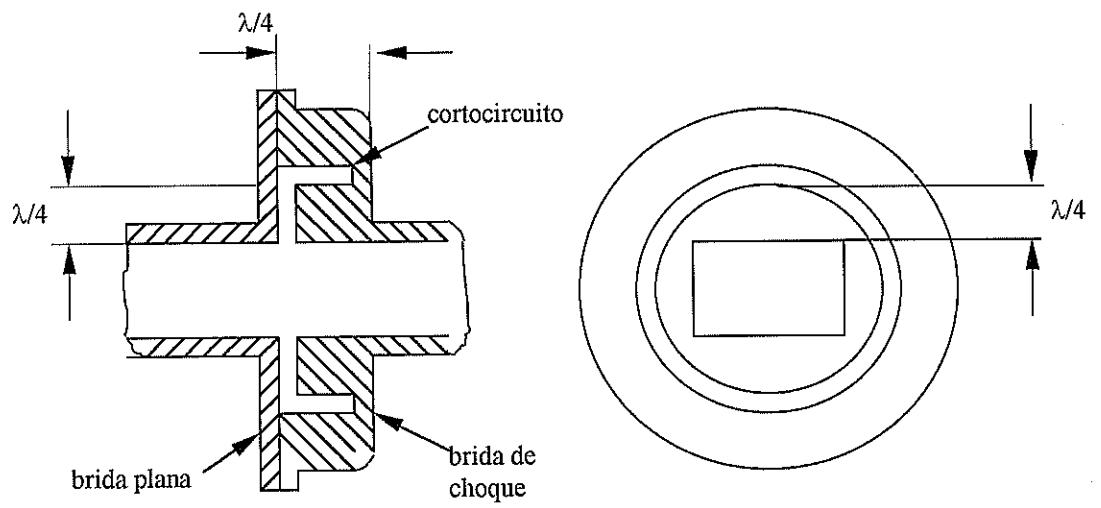


FIG 1.1: ACOPLE DE DOS BRIDAS CON SECCION DE CORTOCIRCUITO

En este tipo de bridas hay dos secciones de $\lambda/4$ que están claramente identificadas en la figura antes citada : en la primera sección, hay una unión casi perfecta en la parte superior produciéndose un punto de alta impedancia; y en la segunda sección tiene lugar una función de circuito abierto en donde se produce el retorno del cortocircuito al punto de entrada. En otras palabras la potencia desviada retorna a la guía.

1.3 TIPOS DE BRIDAS DE ACUERDO AL AREA O ZONA DE GUIA.

Al hablar de los tipos de bridas que se utilizan en la transmisión de ondas electromagnéticas básicamente estamos de los modelos de éstas y en qué casos se utiliza cada uno de acuerdo a la aplicación que se da a una línea de guías de onda que puede ser transmisión o recepción de señales.

Existen tres tipos o modelos de bridas de guías de onda que son los más utilizados además de los codos, los detalles de estos tipos de bridas los podemos observar en los planos No. 2 y 3, que corresponden a bridas circulares o redondas y el plano No. 4 que corresponde al tipo de brida rectangular.

Las bridas redondas se utilizan en sistemas de transmisión y recepción, la razón de su forma circular se debe principalmente a que en el momento de la transmisión o emisión de ondas electromagnéticas, éstas señales son amplificadas por lo que estarían

trasmitiendo también potencias elevadas de hasta 2.5 kW; si en el momento de la unión de dos tramos de guía de onda, ésta no estuviere bien sellada se tendría pérdidas en la potencia transmitida lo que produciría daños en otros equipos ya que hablamos de una señal amplificada. Para evitar estas pérdidas se utilizan este tipo de bridas en la unión de los tramos de guías, de esta manera; se forzaría el efecto de cortocircuito mencionado anteriormente lo que haría que la potencia desviada retorno la interior de la guía, como se pudo observar esta unión siempre debe hacerse con una brida plana y una brida de choque que serían los tipos de brida de los planos No. 2 y 3.

En el caso de las bridas rectangulares, éstas se utilizan solamente cuando las líneas de guías de onda corresponden a sistemas de recepción de señales ya que estas son de baja potencia y solo se amplifican al final, donde son procesadas y vistas en pantalla. Este tipo de brida corresponde al plano No. 4.

Como se pudo observar, de acuerdo a la utilización que se dará a una línea de transmisión de ondas es el tipo de brida que se utiliza; ya sea ésta redonda o rectangular, pero se debe indicar además que en ambos casos estamos hablando del mismo sistema de radar ,es decir el RAN 10S cuyas características técnicas (que mencionaremos en un capítulo posterior) son las mismas, es por esta razón que la medida del rectángulo interior es la misma para los tres tipos de brida independientemente de que si se usa la línea como transmisora o receptora .

1.4 PROBLEMATICA INVOLUCRADA EN LA CONSTRUCCION DE LAS BRIDAS

La construcción de las bridas y la unión con las guías de onda nos llevan a tomar ciertas consideraciones para la selección de los materiales y sobre todo el procedimiento de fabricación adecuado para un óptimo funcionamiento y una mayor durabilidad de estos elementos. En lo que al material se refiere podemos decir que éste debe ser de bajo peso específico, fácil de maquinar y sobre todo debe tener buena resistencia a la corrosión ya que como se dijo anteriormente, estos elementos están expuestos a ambientes salinos y húmedos.

En subcapítulos anteriores se observó que las dimensiones interiores tanto de las guías de onda como de la bridas están en función de la longitud de onda λ de ahí la importancia de la precisión en sus medidas interiores sobre todo para las bridas en las que estas medidas son muy importantes en especial para el efecto de cortocircuito tal como se indicó anteriormente; por otra parte el acabado superficial interno también tiene gran importancia en la transmisión de ondas ya que un mal acabado puede manifestarse como una disminución en la potencia transmitida y en el barrido de la señal en el monitor debido a que se produciría un mal choque de las ondas en las paredes interiores de las guías; finalmente, un mal acoplamiento en la unión del tubo (guía de onda) con la brida puede traer como consecuencia una discontinuidad en la transmisión de las ondas lo que se manifiestaría como pérdida de potencia que luego se disipa al ambiente. Por esta

razón para la fabricación de las bridas se deben tomar ciertas consideraciones en lo referente al material, maquinado, acabado final y unión de tubo

CAPITULO II

FABRICACION DE BRIDAS

En este capítulo vamos a hacer énfasis principalmente a todos los procesos de manufactura que están involucrados en la fabricación de las bridas de las guías de onda, es decir fundición, maquinado de corte y electroerosión. Pero también debemos mencionar brevemente el proceso de extrusión, donde el metal es forzado a fluir a través de una matriz; ya que este proceso fue utilizado en la primera parte de este proyecto en donde se construyó el cuerpo de la guía de onda.

La extrusión del tubo de sección rectangular que es en sí el cuerpo de la guía de onda se realizó en las instalaciones de la empresa FISA (Fundiciones Industriales S.A.), especializada en la fabricación de perfiles de aluminio con norma ASTM 6060, se utilizó una temperatura de extrusión de 815 °F (435 °C) luego de haber realizado un trabajo de rectificado de la matriz macho para alcanzar las medidas interiores requeridas de 34 x 72.1mm. (plano No. 1) con un espesor de 2mm de pared considerando los valores de contracción por aumento que es de 1 % del valor deseado; es decir, que tomando en cuenta la contracción del aluminio al enfriarse las dimensiones de la matriz macho fueron de 34.34 x 72.8 mm.

2.1 CARACTERISTICAS TECNICAS DE LAS BRIDAS DE GUIAS DE ONDA.

Para la fabricación de las bridas se utilizará una aleación especial de aluminio conocida como *Tenzaloy* de norma ASTM B26 ZC81A de fundición en molde de arena o ASTM B108 ZC81B de fundición en molde permanente. Este tipo de aleación se utiliza por lo general en piezas que soportan grandes esfuerzos sin tratamiento térmico, es de buena maquinabilidad y características de pulido por su baja resistencia al desprendimiento de viruta, además de una buena estabilidad dimensional.

Este aluminio tiene las siguientes propiedades y características de fabricación:

Dureza aproximada:	145 HB
Densidad:	2810 Kg/m ³
Módulo de elasticidad:	71000 N/nm ²
Esfuerzo de fluencia:	150 Mpa.
Temperatura de fusión:	de 595 a 640 °C aproximadamente

La composición química de esta aleación se indica a continuación:

Zinc	(Zn)	7.0 a 8.0%
Magnesio	(Mg)	0.2 a 0.5%
Manganeso	(Mn)	0.6% máx.
Silicio	(Si)	0.25% máx.
Hierro	(Fe)	1.1% máx.
Cromo	(Cr)	0.35% máx.
Níquel	(Ni)	0.15% máx.
Cobre	(Cu)	0.4 a 1.0%

Cabe señalar que además de las propiedades indicadas anteriormente, esta aleación ofrece buenas propiedades químicas; siendo la más importante su buena resistencia a la corrosión, equivalente a las aleaciones de aluminio-silicón. Una prueba de corrosión típica de este material es la no pérdida de sus propiedades mecánicas después de sumergirlo por 90 días en una solución de agua 3% salina. Como es de nuestro conocimiento, los elementos fabricados (bridas) con este material están expuestos a la intemperie en ambientes salinos que son los principales causantes de la corrosión y posterior falla de operación de los mismos, de ahí la importancia de esta propiedad química.

Las dimensiones y la forma de una brida varían de acuerdo al modelo de cada una de ésta (planos No 2, 3, y 4), excepto en las medidas del orificio rectangular que tiene

las mismas medidas interiores de una guía de onda rectangular (plano No. 1) ya que por esta cavidad es por donde las ondas electromagnéticas son transmitidas.

2.2 IDENTIFICACION DE PROCESOS DE CONSTRUCCION ARTESANAL CON TOLERANCIAS PERMISIBLES.

El proceso de fabricación de las bridas se inicia primeramente con la obtención de la aleación de aluminio que se mencionó anteriormente para lo cual se fundió el metal con sus componentes en los porcentajes indicados.

Actualmente, la fundición de aleaciones de aluminio se produce en cintas de composiciones por todos los procesos comerciales de fundición que incluyen el moldeo en arena verde, arena seca, molde permanente, fundición en molde a presión, etc. Los procesos de fundición se dividen por lo general en dos categorías: procesos con molde consumible como por ejemplo el moldeo en arena verde o en arena seca y los procesos en los que las fundiciones son producidas repetitivamente en mecanismos sencillos de vida prolongada como por ejemplo las fundiciones en matrices o moldes permanentes. Las aleaciones también se dividen en dos grupos: aquellos en los que el proceso de fundición más apropiado es por gravedad (cuando la selección de la aleación requiere una consideración especial, el proceso requiere del uso de un molde permanente); y el segundo grupo de aleaciones es aquel en el que la fundición se hace en molde a presión.

La amplia aplicabilidad de procesos de fundición y variación de estos procesos en la producción de composiciones en base de aluminio requiere un entendimiento de las características de los procesos. La selección del método de fundición se basa en la capacidad de cada proceso en lo relativo al diseño y requerimientos especificados para cada parte. En mayoría de los casos, las fundiciones pueden ser producidas fácilmente por mas de una técnica, en esos casos la economía basada en los volúmenes de producción dictan la selección del proceso; y en otros casos las especificaciones de calidad o requerimientos de ingeniería limitan la selección del proceso.

Como sabemos nuestra aleación de aluminio tiene como elemento aleante principal al zinc. Con la adición de este elemento al aluminio no se obtienen significativos beneficios, pero acompañado adicionalmente de cobre y magnesio además de los otros aleantes secundarios mencionados anteriormente el resultado es un metal que nos ofrece un acabado superficial brillante, resistente a la corrosión, buena resistencia mecánica y puede ser tratado térmicamente.

Debido a que la temperatura de fusión del aluminio no sobrepasa los 660 °C ,se utilizó para este trabajo un horno de crisol con una capacidad de 10 Kg. en las instalaciones de la empresa INTRAMET; y se obtuvo el material en bruto fundiendo sus componentes y colándolos en un molde permanente (fig 2.1) .

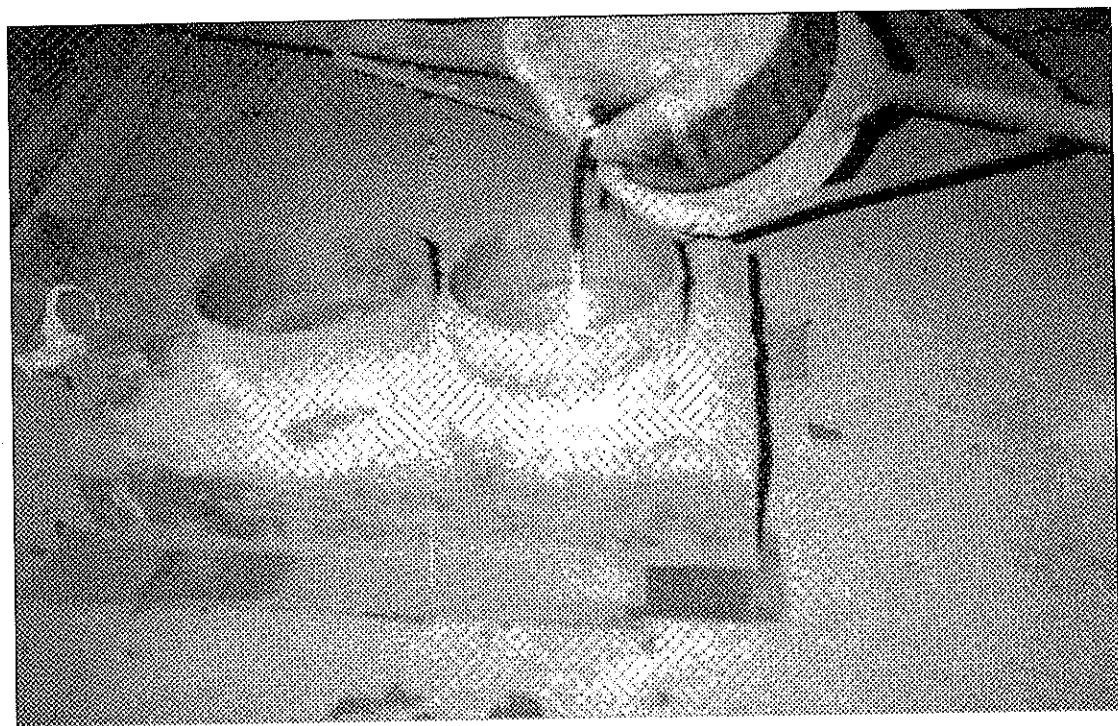


FIG 2.1: PROCESO DE FUNDICION DE Al 713. FOTO INTRAMET



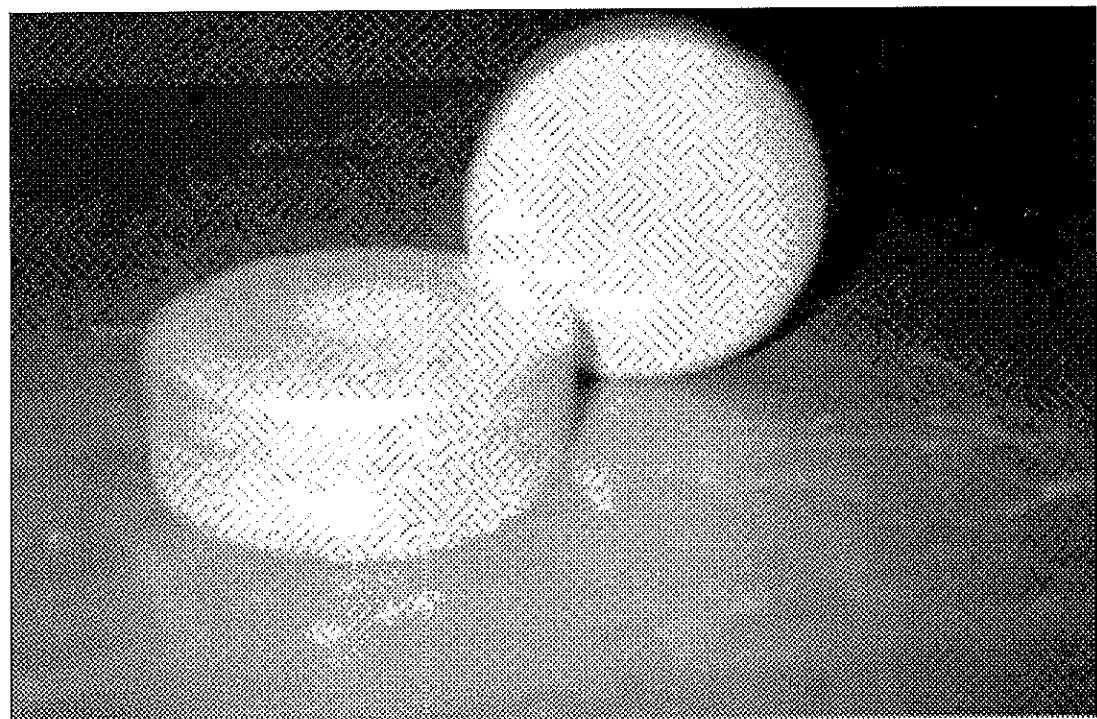


FIG 2.2: ALUMINIO FUNDIDO PARA LA FABRICACION DE LAS BRIDAS. FOTO
INTRAMET

Una vez obtenido el material en bruto se procedió a maquinarlo con herramientas de corte (torno y fresadora) para darle la forma y dimensiones deseadas con una tolerancia de ± 0.02 mm., todas sus medidas excepto las del orificio rectangular que fueron maquinadas a sobremedida y su acabado se hizo por el proceso de maquinado por electroerosión debido a que por esta sección se transmiten las ondas electromagnéticas, razón por la cual se necesita un mejor acabado superficial como se explicó en el capítulo anterior.

Después del maquinado de las bridas, se pudo observar que de manera artesanal no se llegó a los niveles de tolerancia requeridos ya que de acuerdo a las mediciones hechas a las primeras piezas solamente se alcanzaron valores de tolerancias del orden de ± 0.1 mm. que para nuestro fin este valor no es aceptable tomando en cuenta además que se fabricarían estas piezas en grandes cantidades , por esta razón se ha considerado también el maquinado de estas piezas mediante el sistema de CAD/CAM en máquinas de control numérico lo que veremos más adelante.

2.3 MAQUINADO POR CONTROL NUMÉRICO

Debido al grado de precisión y dificultad de maquinado de las bridas, se optará por el maquinado en máquinas de control numérico ya que como se mencionó

anteriormente por medio de procesos artesanales no se pudo llegar a los valores de tolerancia requeridos . El acabado final interno se lo realizará por el proceso de electroerosión.

Para poder determinar el maquinado por control numérico, primeramente vamos a hacer una introducción a lo que es en sí el control numérico y la programación de máquinas CNC, posteriormente se realizará la ejecución de los programas necesarios para el maquinado de las bridas.

El control numérico se puede definir como “todo dispositivo normalmente electrónico, capaz de dirigir posicionamientos de uno o varios órganos mecánicos móviles, de forma que las órdenes relativas a sus desplazamientos son elaboradas, en forma totalmente automática, a partir de informaciones numéricas y simbólicas definidas por intermedio de un programa”. Su aplicación mas universalmente conocida es como ayuda en la manufactura. Posteriormente sus técnicas se han aplicado a otras áreas que van desde la automatización total del proceso de fabricación al gobierno de mecanismos de cualquier tipo. La evolución del control numérico ha venido como consecuencia de su aplicación más conocida, la mecanización de piezas impuesta por diversas razones:

1.- Necesidad de fabricar productos que no se podían conseguir en cantidad y con calidad suficiente, sin recurrir a la automatización del proceso.

2.- Necesidad de obtener productos hasta entonces de muy difícil fabricación o incluso imposibles, por requerir procesos excesivamente complejos para ser controlados por un operador humano.

3.- Necesidad de fabricar productos a precios suficientemente bajos.

Como se dijo anteriormente, la aplicación más conocida y extendida del control numérico es la mecanización de piezas. Hoy en día con la utilización de los microprocesadores y siempre que las series y su complejidad estén dentro ciertos márgenes, el control numérico representa la solución ideal por las ventajas que se deducen de su utilidad:

1.- Posibilidad de fabricación de piezas imposibles o muy difíciles.

2.- Seguridad.

3.-Precisión elevada y constante.

4.-Aumento de la productividad de las máquinas.

5.-Reducción de controles y desechos, debido a la precisión y repetitividad de una máquina – herramienta con control numérico.

6.-Flexibilidad para modificar rápidamente los programas.

2.3.1 PROGRAMACION DE LAS MAQUINAS CNC

La programación de las máquinas CNC con las que cuenta el laboratorio de C.A.E. (Ingeniería Asistida por Computadora) es en base a un programa llamado Denford. El Denford es un programa ideal para aprender a programar máquinas herramientas de control numérico, porque permiten probar la ejecutabilidad de los programas por medio de simulación y luego maquinar la pieza. A nivel industrial el Denford es un programa adecuado para la producción por ser muy simple

A continuación vamos a explicar los comandos de programación del torno y la fresadora CNC, para ambos casos los comandos son parecidos. El objetivo de la programación en control numérico es la de llevar a cabo la producción de una pieza. La programación se lleva a cabo por medio de bloques de sentencias que indican a la máquina lo que debe ejecutar según los comandos que ella dispone.

Estos comandos de programación o sentencias consisten de una letra que indica el tipo de comando que es, seguida de números que la especifican.

Las letras que se usan en los comandos son: N, G, X, U, Y, V, Z, W, R, F, S, T, M. Cada una se usa para dar un orden determinado y en lo posible deben ser usadas en el orden anterior cuando se escriban los bloques, aunque no es indispensable.

N : NUMERO DE SECUENCIA

Se usa solo para nombrar cada bloque del programa con un número, y consiste en colocar la “N” seguida de un número de hasta cuatro dígitos. El objetivo de este comando es solo ayudar a ordenar el programa, y no tiene ninguna influencia en la ejecución del mismo incluso puede ser excluido si se lo desea.

Ejemplo:

N10 G21

[BILLET X115 Y85 Z30

N15 G40 G49 G80

X, Y, Z, : COORDENADAS EN LAS QUE SE MUEVE LA MAQUINA

La fresadora CNC al igual que cualquier fresadora convencional tiene tres grados de libertad, es decir; movimientos en cualquiera de los ejes. Los comandos "X, Y, Z" seguidos de una cifra indicarán el movimiento que se desea en el eje especificado. se puede considerar a estos comandos como complementarios en programación puesto que ayudan a definir los movimientos indicados por los comandos preparatorios "G". Estos comandos se pueden acompañar con cifras positivas o negativas, según se quiera ir en uno o en otro sentido.

Ejemplo:

N30 G00 X0 Y12 Z8

N40 M03 S800

N50 G01 X10 Y20 Z30

Para el caso del torno solo se pueden manejar las coordenadas "X, Z", que seguidos de una cifra indicarán el movimiento deseado: radial para "X", y axial para "Z".

Ejemplo:

N600 G00 X62 Z0

N610 G01 X0 F0.1

En la figura 2.3 se muestran las direcciones positivas y negativas del desplazamiento de la herramienta tanto para el torno como para la fresadora:

R : RADIO

Se usa para indicar el radio en los comandos “G02, G03” , se considera como un comando complementario porque funciona con los comandos “G”.

Ejemplo:

N40 G01 Z-10

N50 G02 X30 Y10 R20 } CIRCULO DE RADIO 20 MILIMETROS

N60 Z20

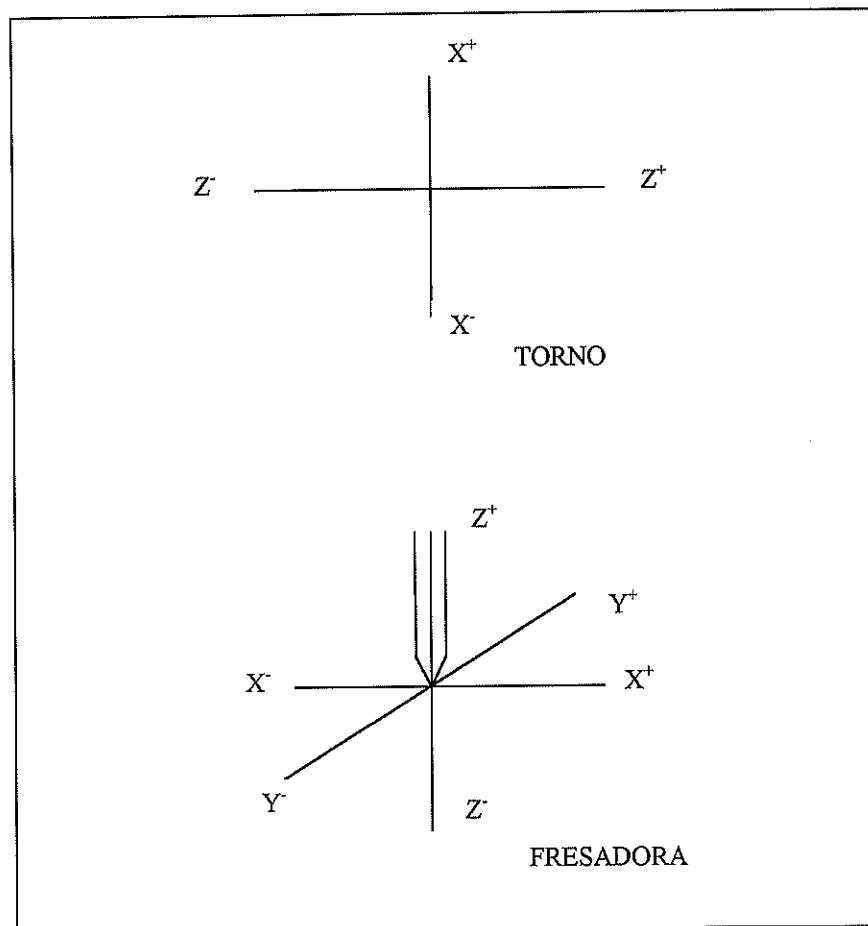


FIG 2.3: DESPLAZAMIENTO DE LA HERRAMIENTA.- TORNO Y FRESADORA

T : HERRAMIENTAS

Las máquinas herramientas CNC tienen la ventaja de permitir el cambio automático de las herramientas, en el caso del torno y la fresadora de la ESPOL tiene la posibilidad de cambiar de entre 6 herramientas. El comando "T" se usa para llamar o nombrar las herramientas de la máquina con la que queremos operar

Ejemplo:

N10 M06 T01

S : VELOCIDAD DE ROTACION

La fresadora tiene un motor con una potencia fija que activa el movimiento de la fresa, esta potencia no debe excederse y por tanto se debe escoger un torque y velocidad adecuada para no sobrepasar el límite del motor. Este comando nos permite indicar a control la velocidad que deseamos para cada operación. Es también un comando complementario.

En el caso del torno, este comando activa el movimiento de rotación de la pieza de trabajo; al igual que en el caso de la fresadora, se debe escoger un torque y velocidad adecuados para no sobrepasar el límite del motor.

Ejemplo:

N10 G00 X10 Z35

N20 M03 S1000 } SE INDICA UNA VELOCIDAD DE 1000 RPM

N30 G01 Z-5

F : VELOCIDAD DE AVANCE

La cantidad de material que la fresa o la cuchilla del torno van arrancando está directamente relacionada con la velocidad que avanzan la fresa o la cuchilla y las velocidades de giro. Este comando nos permite especificar la velocidad de avance de la fresa para el caso de la fresadora y la velocidad de avance de la cuchilla de corte para el caso del torno. Estas velocidades están por configuración inicial en milímetros por minuto o pulgadas por minuto según se trabaje en el sistema internacional o en el sistema inglés.

Ejemplo:



N10 G00 X10 Y20 Z30

N20 G01 Z10 F100

G : COMANDOS DE PREPARACION

Estos comandos indican al control la ejecución de operación determinada, van acompañados de complementarios que especifican los detalles de la operación, como la posición, velocidad de corte y mas. Son los de mayor importancia en la programación. Consisten de la letra "G" seguida de dos cifras. Están divididos en grupos según la operación que indican. Si se ha especificado un comando en un bloque determinado, se mantendrá activa la orden hasta que se coloque otro comando del mismo grupo. A continuación se dará las especificaciones de los comandos más utilizados en la programación de la fresadora y el torno.

G00 : MOVIMIENTO TRANSVERSAL RAPIDO

Este comando se usa para mover la herramienta a una posición determinada rápidamente, utiliza la máxima velocidad de la máquina y se debe usar con cuidado para evitar choques de la herramienta.

Ejemplo:

N10 G00 X10 Y20 Z30

G01: INTERPOLACION LINEAL

Este comando se usa para cortar la pieza, e instruye a la máquina para que desplace a la herramienta en trayectorias rectilíneas. Es probablemente el comando más usado en la programación de máquinas CNC.

Ejemplo:

N10 G00 X10 Y10 Z10

N20 G92 X0 Y0 Z0

N30 G01 Z-10 } SE ENTRA EL COMANDO G01 Y SE VA DANDO
LA TRAYECTORIA QUE SE DESEADA

N40 X20 Y30

N50 X40 Y60

G02 : INTERPOLACION CIRCULAR EN SENTIDO HORARIO

Este comando se usa para cortar la pieza dando trayectorias circulares en sentido horario, en el caso de la fresadora las trayectorias circulares son solo posibles en el plano “XY” ; en el caso del torno se pueden generar curvaturas o arcos en el plano “XZ”.

Ejemplo:

N10 G00 X50 Y50 Z10

N20 G92 X0 Y0 Z0

N30 G01 Z-5

N40 G02 X30 Y10 R10

N50 G01 X70 Y0

G03 : INTERPOLACION CIRCULAR EN SENTIDO ANTIHORARIO

Este comando cumple exactamente la misma función que el comando “G02” con la única diferencia que la trayectoria circular que describe es en sentido contrario a las manecillas del reloj.

G04 : PAUSA



Este comando nos permite especificar una pausa dentro de la ejecución de la producción, para labores como control de medidas, cambios de herramientas, limpieza, etc. El comando funciona de manera que se coloca "G04" y "X" seguida del tiempo en segundos que se requiere.

Ejemplo:

N10 G00 X10 Y20 Z40

N20 G04 X30 } NOS PERMITE 30 SEGUNDOS PARA VERIFICAR
LA POSICION ANTES DE TOMARLA COMO
PUNTO DE REFERENCIA.

N30 G92 X0 Y0 Z10

G28 : PUNTO DE REFERENCIA

Este comando nos permite indicar a la máquina que se dirija a un punto de referencia. Dentro de la máquina herramienta existe ya establecido un punto de referencia, este punto de referencia puede ser cambiado con "G28". Este comando acompañado de unas coordenadas indicará a la máquina que debe dirigirse a las coordenadas señaladas, y luego al punto de referencia de la máquina. se debe

tomar muy en cuenta la referencia que se ponga porque, al regresar lo hace a alta velocidad y es muy posible que se de un choque entre la pieza y la herramienta.

Ejemplo:

N10 G00 X12 Z35

N20 G92 X0 Y0 Z0

N25 G28 Z30 } SE CAMBIA LA POSICION DE REFERENCIA Y SE
REALIZA EL MOVIMIENTO

N30 G01 Z-10

G40 : CANCELA COMPENSACION

La trayectoria que se programa para la herramienta considera que esta no tiene diámetro en el caso de la fresadora, y por tanto está en base al centro de la misma. Dentro de las posibilidades que nos da la programación en Denford está la compensación, que consiste en la consideración de que la herramienta tiene un diámetro. Este comando cancela todo tipo de compensación para las herramientas, y es conveniente que se use siempre al comenzar un programa.

G90 : PROGRAMACION ABSOLUTA

Este comando nos sirve para indicar que se va a trabajar en coordenadas absolutas, es decir en coordenadas que tienen como punto de referencia (0, 0, 0), el cero de la máquina o el indicado con “G92”.

G91 : PROGRAMACION INCREMENTAL

Este comando indica que se va a trabajar con coordenadas incrementales, es decir que las coordenadas “X, Y, Z” toman como punto de referencia (0, 0, 0) al último punto programado.

G92 : PUNTO DE REFERENCIA

Este comando se usa para especificar el punto de referencia, es decir para efectos de maquinado se puede cambiar el punto “X0, Y0, Z0” de la máquina a un punto específico de acuerdo a las dimensiones iniciales de la pieza de trabajo. El cambio del punto de referencia “X0, Y0, Z0” de la máquina se lo hace para dar facilidad en la programación de la producción.. El comando transforma las coordenadas “X, Y” que se encuentran después de “G92” en la posición que se

indique pero con valor negativo, y resta al último valor de la coordenada "Z" el número que se coloque en "Z" después de "G92".

Ejemplo:

N10 G40 M03 S500

N20 G00 X100 Y100 Z150

N30 G92 X0 Y0 Z0 } TRANSFORMA DE AQUI EN ADELANTE EL
PUNTO X100,Y100,Z150 (ULTIMO PUNTO
PROGRAMADO) EN X0, Y0, Z150

G50 : PUNTO DE REFERENCIA

Este comando es el equivalente al "G92" pero para el caso del torno. Básicamente este comando traslada el punto "X0, Z0" a una coordenada indicada para facilitar la programación de la producción. El comando transforma a las coordenadas "X, Z" que se encuentran después de "G50" en el nuevo punto "X0,Z0".

Ejemplo:

N10 G40 G28

M03 S1000

M06 T01

G50 X65.4 Z98 } EL PUNTO “X65.4, Z98” ES DESDE AHORA EL
PUNTO “X0, Z0”

G00 X25 Z1

G71 : CICLO DE CILINDRADO

Dentro de la programación en Denford para facilitar ciertas operaciones que se repiten con frecuencia, existen comandos que nos permiten realizar todo un proceso con un solo bloque de instrucciones. El comando “G71” se utiliza exclusivamente en el torno y es usado cuando la mayor dirección de corte está en el eje “X” (cilindrado).

Se especifica:

U: Profundidad de corte

R: Nivel de referencia de la herramienta

- P: Número de secuencia donde se inicia el bloque
Q: Número de secuencia donde termina el bloque
U: Sobremedida en X para el acabado final
W: Sobremedida en Z para el acabado final
F: Velocidad de avance de la herramienta durante el ciclo

Ejemplo:

N50 G00 X24 Z2

N55 G71 U1.5 R1

N60 G71 P70 Q110 U1 W1 F70

N70 G00 X10

N80 G01 Z-5

N90 X15 Z-12

N100 X20 Z-15

N110 Z-27

G72 : CICLO DE REFRENTADO

Este comando al igual que el “G71” es de utilización exclusiva del torno y es usado cuando la mayor dirección del corte es la del eje “Z”.

Se especifica:

W: profundidad de corte

R :Nivel de referencia de la herramienta

P: Número de secuencia donde se inicia el bloque

Q: Número de secuencia donde termina el bloque

U: Sobremedida en X para el acabado final

W: Sobremedida en Z para el acabado final

F: Velocidad de avance de la herramienta durante el ciclo

Ejemplo:

N50 G00 X42 Z2

N55 G72 W1 R1

N60 G72 P70 Q80 U0.1 W1 F50

N70 G00 Z-10

N80 G01 X10

G70 : CICLO DE ACABADO FINAL

Para este comando se hace el cambio de herramineta de cuchilla de corte normal a cuchilla de acabado final y corta la cantidad de material que se indicó con los comandos “G71” y “G72” como se indica en el ejemplo anterior.

M : COMANDOS AUXILIARES

M00: FIN DEL PROGRAMA

Da por terminado el programa, sin importar lo que se haya escrito a continuación.

M01: PARADA OPCIONAL

Se usa para detener el programa por tiempo indefinido, para continuar con la ejecución del mismo se debe presionar “ENTER”. Como ya se dijo no tiene límites de tiempo.

M03: GIRO DEL MOTOR EN SENTIDO HORARIO

En el caso de la fresadora indica que la herramienta debe comenzar a girar en dirección de las manecillas del reloj, tiene un rango de velocidad entre 100 y

3000 RPM. Para el caso del torno este comando hace girar la pieza de trabajo también en sentido horario, tiene un rango de velocidad entre 100 y 5000 RPM.

Ejemplo:

N10 M03 S700

N20 G00 X100 25

M04: GIRO DEL MOTOR EN SENTIDO ANTIHORARIO

Este comando es exactamente igual al comando “M03” con la diferencia que indica que el giro de la fresa o pieza de trabajo según sea el caso debe ser en sentido contrario a las manecillas del reloj.

M05: PARADA DEL MOTOR

Este comando indica a la máquina que la herramienta debe detener su giro en el caso de la fresadora; en el caso del torno se detiene el giro de la pieza de trabajo.

M06: CAMBIO DE HERRAMIENTA

Este comando indica que la máquina debe cambiar de herramienta. Se debe indicar para cualquier caso el número de la herramienta que se desea usar.

Ejemplo:

N5 M06 T04

N10 G40 M03 S500

N20 G00 X10 Y20 Z50

2.3.2 PRODUCCION CON MAQUINAS CNC

Al hablar de producción nos referimos a todo un proceso que se debe seguir para transformar un pedazo de metal en una pieza maquinada.

El proceso de producción de una pieza con máquinas CNC comienza con la planeación, esta es la primera fase; es decir, donde se decidirá lo que se debe hacer para lograr el maquinado de una pieza. En esta primera etapa se debe contar con un dibujo detallado de la pieza a trabajar para poder determinar la posibilidad de maquinado, las máquinas herramientas a utilizar, el orden de maquinado (cilindrado acanalado, planeado, taladrado, etc.) ya sea en torno o fresa. Aquí

también se definen las paradas necesarias para verificar medidas, limpiar virutas y más. Para determinar las velocidades de corte (rotación y avance) se debe tomar en cuenta las tablas de los fabricantes que están hechas en función del tipo de material, su rigidez y tipo de herramienta que pueden ser cuchillas de corte o fresas comunes, de carburo, de acero rápido, etc. Las profundades de corte y desbaste se hacen en base a la potencia de la máquina y rigidez de la pieza. Finalmente se escoge las herramientas y las velocidades de corte para obtener los acabados requeridos.

El segundo paso en la producción de una pieza maquinada consiste en transmitir todo lo planificado al inicio a la máquina CNC a través de un lenguaje comprensible, es decir se comenzará a escribir el programa tomando en cuenta las distancias, pendientes, radios y más detalles como por ejemplo el orden en que se van a usar las herramientas en el maquinado.

Una vez programada la máquina, la producción entra en proceso de pruebas para verificar la ejecutabilidad o no de la producción, esto se comprueba por medio de la opción de simulación del maquinado en el computador y si existen errores éstos deben ser corregidos. Es también recomendable verificar el programa completo sin que se realice el corte alguno, es decir hacer trabajar a la máquina sin haber antes montado la pieza de trabajo.

A continuación vamos a describir las máquinas herramientas CNC con las que cuenta la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción de la ESPOL para luego citar los programas utilizados para la fabricación de las bridas de guías de onda que fue el objetivo de este subcapítulo.

La ESPOL cuenta con dos máquinas herramientas controladas por computadora: un torno horizontal y una fresadora vertical, estas máquinas fueron diseñadas con fines didácticos por lo que son ligeras y no están adaptadas para el trabajo continuo. Cuentan con la mayoría de aditamentos de una máquina de trabajo industrial y pueden ser de gran utilidad para la producción de piezas en pequeño número o para piezas de precisión.

Las dos máquinas cuentan con un sistema de cambio automático de herramientas, sistema de protección (cubierta con interruptor de desconexión), botón de parada de emergencia, finales de carrera y más aditamentos que hacen muy operativas las máquinas. A continuación se enunciará las características del torno y la fresadora.

CARACTERISTICAS DEL TORNO

DIMENSIONES DE LA MAQUINA

Largo:	1000 mm
Ancho:	900 mm
Alto:	620 mm

DIMENSIONES DE TRABAJO

Largo máximo de la pieza:	180 mm
Diámetro máximo de la pieza:	160 mm
Máximo desplazamiento en "X":	85 mm
Máximo desplazamiento en "Z":	200 mm

Motores

MOTOR PRINCIPAL (GIRO DE LA PIEZA)

Tipo:	SD 2 Stepper driver
Rango de velocidad:	0 – 5000 rpm
Potencia:	1 hp
Voltaje:	240

MOTOR DE AVANCE

Configuración: 45º de inclinación
Características: Stepper motor 200 paso/revolución

CARRUSEL DE HERRAMIENTAS

No. de estaciones: 6

CARACTERISTICAS DE LA FRESADORA**DIMENSIONES DE LA MAQUINA**

Longitud: 1100 mm
Ancho: 620 mm
Alto: 1000 mm
Peso: 240 kg

DIMENSIONES DE TRABAJO

Largo máximo alcanzado (X): 290 mm
Ancho máximo alcanzado (Y): 170 mm
Alto máximo alcanzado (Z): 230 mm

MESA DE TRABAJO

Longitud de la mesa:	500 mm
Ancho de la mesa:	160 mm
Superficie de trabajo:	500 mm x 160 mm

MOTORES

MOTOR PRINCIPAL (GIRO DE HERRAMIENTA)

Tipo:	Velocidad variable
Potencia:	1 hp
Velocidad:	0 – 4000 rpm programable, solo alcanza 2500 rpm

MOTORES DE AVANCE

Tipo:	200 pasos/revolución
Velocidad máxima:	0 – 1500 mm/min

Los programas utilizados en el proceso de producción de las bridas de guía de onda para cada caso los podremos observar más adelante en los apéndices. Como se indicó anteriormente hay dos modelos de bridas, el modelo 1 que corresponde al plano No.4 que es el más sencillo y el modelo 2 que

corresponde al plano No. 2 que es el más complicado por así decirlo. El primer modelo de brida; es decir, la brida rectangular solamente se maquinó en la fresadora y para éste se utilizó un solo programa que consta de dos etapas, la primera en el que se maquinó su contorno y la segunda en el que se hicieron los agujeros como se muestra en el apéndice A.

El segundo modelo de brida o brida redonda se tuvo que maquinar primeramente en el torno haciendo el uso de dos programas por separado, uno para la cara superior (Apéndice B) y otro para la cara inferior (Apéndice C) luego se hizo el planeado de la cara superior en la fresadora y los agujeros también en la fresadora como se indica en los Apéndices D y E.

Es importante indicar que en ambos casos el maquinado de la parte interna,es decir el agujero rectangular en el centro de las bridas se realizará por el proceso de electroerosión que lo veremos posteriormente.

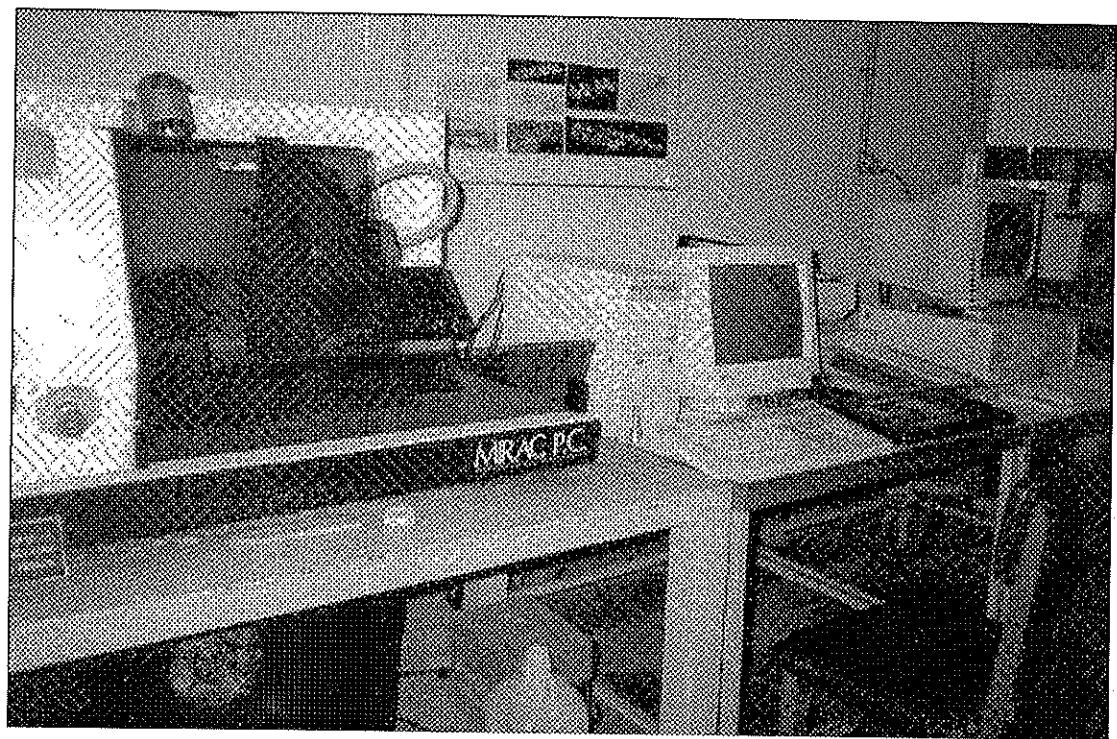


FIG 2.4: LABORATORIO DE CAE. FOTO ESPOL

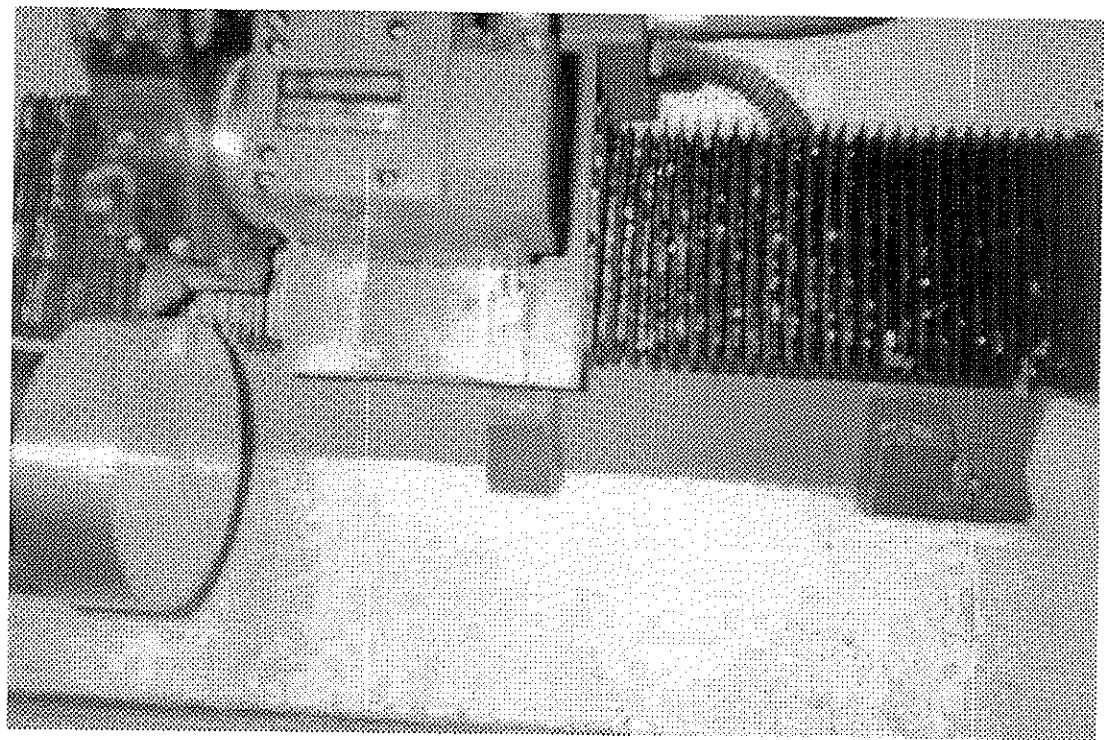


FIG 2.5: PROCESO DE TORNEADO DE UNA BRIDA. FOTO ESPOL

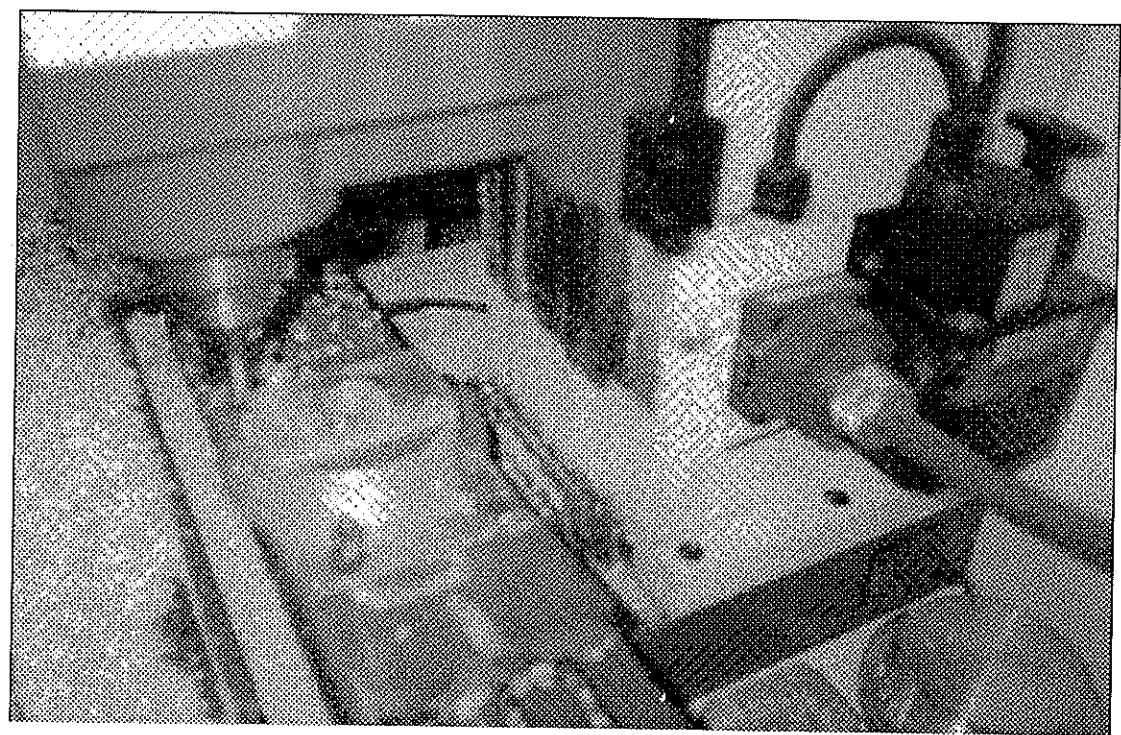


FIG 2.6: PROCESO DE FRESADO DE UNA BRIDA. FOTO ESPOL

2.4 MAQUINADO POR ELECTROEROSION

El maquinado por electroerosión es un proceso de desprendimiento de metal mediante una chispa o descarga eléctrica producida por dos electrodos sin que se produzca contacto alguno entre ellos; el primero de éstos constituye la herramienta de trabajo que por lo general es de grafito o cobre y el segundo está constituido por la pieza que se va a trabajar o maquinar. La chispa viaja a través de un fluido dieléctrico (generalmente un aceite liviano) a una distancia controlada. El electrodo y la pieza de trabajo deben ser conductores eléctricos. Las ventajas de maquinado por electroerosión son:

1. Se puede obtener cavidades con paredes delgadas y películas finas ya que no existe contacto entre el electrodo y la pieza de trabajo.
2. Es posible maquinar formas de geometría dificultosa en general.
3. Aunque el porcentaje de remoción está relacionado con el punto de fusión del metal a ser maquinado, este proceso no afecta la dureza de la pieza de trabajo. Materiales de poca maquinabilidad se pueden maquinar con este proceso.
4. El maquinado por electroerosión no deja bordes ásperos.

Este proceso se aplica generalmente para maquinar moldes y matrices de diferentes formas. Moldes para inyección de plásticos, matrices para extrusión, matrices

para forja, matrices para fundición son ejemplos que muestran la versatilidad de este método, que puede ser también usado en procesos de producción.

El desprendimiento del metal se produce al suministrar pulsos de corriente directa similares a una onda cuadrada, con cada pulso se crea una chispa que erosiona la superficie de interface entre el electrodo y la pieza de trabajo.

La chispa se produce a una distancia de 0.01 a 0.4 mm en donde el material es removido por vaporización y disolución. La capa superficial afectada por el maquinado por electroerosión es bastante delgada, de 0.13 mm para superficies rugosas y hasta 0.01 mm para acabados finales.

Aunque en principio, cualquier material conductor puede ser usado en ambos polos de una máquina de electroerosión, la experiencia demuestra que el volumen erosionado por una descarga varía según el tipo de material de la pieza de trabajo, según el material del electrodo herramienta y también la polaridad que ellos tengan.

Dependiendo de la combinación de los materiales se elige la polaridad a usarse para obtener un óptimo funcionamiento. En la tabla II se indica la polaridad que se debe usar dependiendo precisamente de ambos materiales.

TABLA II: POLARIDAD DEL ELECTRODO SEGUN EL MATERIAL

PIEZA A EROSIONAR	ELECTRODO	POLARIDAD DEL ELECTRODO	OBSERVACIONES
ACERO	COBRE	+	
ACERO	GRAFITO	+	
HIERRO FUNDIDO	COBRE	+	
COBRE	GRAFITO	-	
METAL DURO	COBRE		SEGUN COMPOSICION DEL METAL DURO
ACERO	ACERO		COMBINADO PERIODICAMENTE
ALUMINIO LATON	COBRE	+	
ACERO	ESPARCAL	+	

FUENTE: MAQUINAS DE ELECTROEROSION. TESIS,ESPOL

El electrodo debe ser de un material de buena conductividad eléctrica, fácil de fabricar, debe tener un alto punto de fusión, y lo suficientemente fuerte para mantenerse bajo un maquinado convencional sin deformarse. La duración del electrodo está relacionado directamente con su punto de fusión, esto significa que el electrodo se desgastará menos cuando más alto sea su punto de fusión. Las relaciones de desgaste con respecto a la pieza de trabajo se definen como desgaste frontal, desgaste lateral, desgaste en las esquinas desgaste volumétrico (ver fig.2.7).

Para la elección del electrodo se deben tomar en cuenta las propiedades físicas y mecánicas principalmente, sumado a esto debemos tomar en cuenta otros factores como la forma a realizar, el número de electrodos a mecanizar, las dimensiones del electrodo, etc. Será también importante su costo y factibilidad de adquisición en el mercado. Se puede mencionar los siguientes:

Grafito.- Es el material más comúnmente utilizado para electrodo por su buena maquinabilidad y duración en el maquinado por electroerosión. La naturaleza y propiedades de las materias primas y la granulometría de las mismas, así como la técnica empleada en el proceso de fabricación, tiene gran influencia sobre las propiedades físicas y el rendimiento del grafito durante el proceso erosivo .



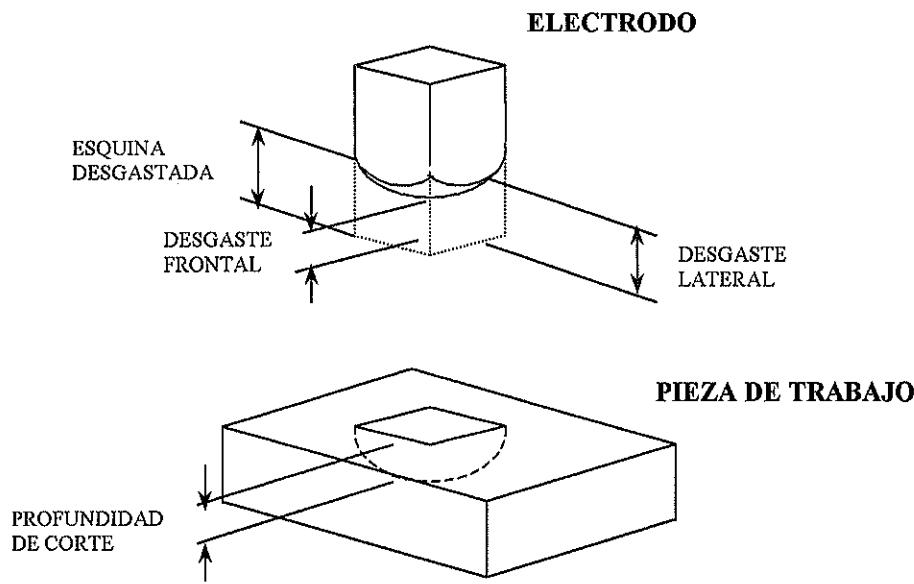


FIG 2.7:RELACIONES DE DESGASTE DE UN ELECTRODO

Las propiedades físicas del grafito son:

Temperatura de sublimación: 3600 – 3700 °C (alta).

Resistividad eléctrica: $(1.2 - 1.6) \times 10^{-5} \Omega\text{m}$.

Sus propiedades mecánicas son:

Es muy fácil de maquinar.

Coeficiente de dilatación térmica: $3 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Peso específico bajo: $1750 - 1850 \text{ Kg/m}^3$ por lo que sirve para fabricar electrodos de gran volumen. Tiene gran estabilidad dimensional.

Los electrodos de grafito solo pueden ser obtenidos por mecanización en máquinas-herramientas aunque con altas velocidades de mecanizado.

Cobre electrolítico.- Es tal vez el material más empleado en electroerosión para fabricar electrodos, tiene buena conductividad y es económico aunque no es tan fácil de maquinar como en el caso del grafito.

Sus propiedades físicas son:

Temperatura de fusión: $1084.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Resistividad eléctrica: $1.7 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$.

En cuanto a sus propiedades mecánicas se puede decir que:

No es fácilmente mecanizable.

Tiene un coeficiente de dilatación térmica de $16.6 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ que puede ser considerado alto con respecto al grafito, pero suficiente para el empleo en electroerosión.

Su peso específico es de 8950 Kg/m³.

Cobre al plomo.-La aleación de cobre con una pequeña cantidad de plomo, cromo o telurio (1 o 2%), tiene como finalidad mejorar mucho la maquinabilidad del cobre. No obstante baja el rendimiento, subiendo el desgaste y bajando el arranque.

Cuprotugsteno.- Es muy interesante para realizar piezas de gran precisión, empleándose en la erosión de microorificios en la industria de aviación, y en general en aquellos casos en que se han de hacer orificios profundos.

Aleaciones de Aluminio.-Se utilizan solamente en casos de electrodos muy grandes que se han de fabricar por fundición. Da como resultado superficies muy rugosas, grandes desgastes y pequeños arranques de material.

Latón.-Se utiliza en pocas ocasiones, tiene muy buena maquinabilidad, pero da muy bajos rendimientos, es decir; altos desgastes y bajos arranques de material.

Aceros.- Se utiliza solamente en casos límites, pues presenta baja relación arranque-desgaste, altos desgastes y rugosidades muy altas. Además tiene un alto peso específico (7750 Kg/m³) y muy poca estabilidad dimensional.

Líquidos Dieléctricos.-El líquido dieléctrico cumple las siguientes funciones, actúa como refrigerante para la pieza de trabajo y el electrod; además de esto debe tener ciertas características como:

1. Debe tener baja viscosidad y baja tensión superficial, con el fin de penetrar bien hasta el último rincón del entrehierro y reconstituir allí las condiciones normales de aislamiento. Además debe poder pasar por espacios pequeños menores a 0.01 mm para poder efectuar el arrastre de los residuos de la erosión.
2. Debe ser químicamente neutros con el fin de no atacar el electrodo y la pieza de trabajo ni las partes de la máquina con las que se ha de poner en contacto.
3. Dada la gran superficie de contacto entre el líquido y el aire, su volatilidad debe ser baja, para evitar pérdidas.
4. Su punto de inflamación debe ser lo suficientemente alto como para evitar el peligro de incendio, siempre y cuando se hayan observado las medidas normales de seguridad.
5. No debe desprender olores nocivos, ni tampoco debe producir irritaciones en la piel, ni tener ningún otro riesgo.
6. Debe tener las características térmicas adecuadas para poder enfriar superficies erosionadas y evitar posibles variaciones dimensionales que originan las altas temperaturas que se dan en ambos electrodos.
7. Debe presentar una mínima formación de lodos (residuos del cracking) en las peores condiciones de mecanizado.

Los dieléctricos que mejor cumplen estas características son los hidrocarburos: los aceites y el kérrex, siendo los primeros los dieléctricos más usados.

Otra forma de maquinado por electroerosión es mediante el corte con hilo, en este caso el electrodo es un alambre continuo de material conductor. La pieza de trabajo es cortada por el cable debido a que ésta se mueve por una mesa controlada numéricamente, el resultado es un rompecabezas de precisión. Este tipo de máquinas tienen por lo menos dos ejes controlados (x y y), la mayoría de las máquinas pueden inclinar el cable para lo cual utilizan dos ejes auxiliares (u y v). También hay máquinas que controlan los ejes vertical rotacionalmente. El servocontrol de estas máquinas es similar al de las máquinas de control numérico (CNC).

Por lo general el corte se inicia luego de hacer un agujero en la pieza de trabajo para poder pasar el alambre cuando el corte es interno. Si se empieza cortando desde afuera, se tendría una esquina no unida y los esfuerzos internos causarían distorsión durante el corte dando como resultado la pérdida de precisión.

Alambre.- El más utilizado es el de bronce, tiene la mayoría de las cualidades que necesita el cable EDM (Electrical Discharge Machine) como una alta resistencia a la tracción, alta conductividad eléctrica y buena habilidad para cerrar tolerancia. La investigación de nuevos tipos de alambres es activa, la tendencia es hacia cables en capas

de diferentes materiales para diferentes funciones; por ejemplo un alambre de acero en el centro para resistir tensiones mayores, una capa de cobre para la conductividad, y una capa exterior de grafito para velocidad. Actualmente se utilizan el alambres de bronce o de acero cuyos diámetros van desde 0.05 a 0.3 mm.

Velocidad de Corte.- Generalmente la velocidad de corte se expresa en términos de mm^2/h de superficie de corte. Las primeras máquinas cortaban a $1300 \text{ mm}^2/\text{h}$, esa velocidad ha aumentado hasta mas de 10 veces en las máquinas actuales como resultado de las mejoras en los suministros de energía y mejores propiedades de los líquidos dieléctricos.

Programación.- La geometría de la pieza a ser cortada está definida en términos de puntos, líneas y círculos, la trayectoria para el corte se define a manera de códigos comprendidos por la máquina herramienta. La programación es hecha con respecto a la línea central del alambre introduciendo la compensación de su diámetro , las curvas definidas matemáticamente se generan por una secuencia de puntos con interpolación lineal o circular, las curvas que no están definidas matemáticamente (arte por ejemplo) se pueden definir por medio de un digitalizador.

La mejor aplicación que se ha dado a este método de electroerosión por corte de hilo es el maquinado de moldes o matrices de formas complejas que se utilizan en el



proceso de extrusión y en nuestro caso el maquinado del orificio interior de forma rectangular de las bridas de guías de onda debido a que la profundidad de corte es considerable y al hacerlo por penetración sería mucho mas demoroso y no se mantendrían las dimensiones requeridas hasta el final ya que el electrodo también sufre desgaste aunque muy pequeño. El proceso de corte se lo realizó en la empresa FALESIA (Ferroaleaciones S.A.) , se utilizó alambre de acero de 0.14 mm de diámetro a una velocidad de corte de 0.4 mm/min.



FIG 2.8: MAQUINA DE ELECTROEROSION POR HILO. FOTO FALESÁ

CAPITULO III

EVALUACION DE TRAMOS DE GUIAS DE ONDA

En este capítulo se van a evaluar tramos de guía de onda terminados, es decir; tubo y brida unidos en un solo cuerpo, para lo cual nos dirigimos a la Armada del Ecuador, concretamente al Nivel III que es un departamento del DIECAR (Dirección de Electrónica de la Armada). Este departamento posee equipos electrónicos sofisticados que nos ayudarán a determinar si una guía de onda cumple con los requisitos para un buen funcionamiento.

La evaluación de los tramos de guías de onda se la hará utilizando un analizador de red (NETWORD ANAYZER) o analizador de parámetros “S” modelo HEWLETT PACKARD 8510C. Este dispositivo (Fig3.1) trabaja en un rango de frecuencias de 5 Hz a 20 GHz por lo que se puede usar para evaluar los tramos nuestras guías de onda que como sabemos corresponden a un radar AO-3 RAN 10S, es decir; es un radar de 10 cm de longitud de onda con un rango de frecuencia de operación de 3.1 a 3.4 GHz .Se hicieron dos tipos de prueba a dos tramos diferentes de guías de onda por separado, para el primero se utilizaron acoples o bridas rectangulares que se describen en el plano No.4 y para el segundo tramo se utilizaron como acoples las bridas redondas que se describen en el plano No.2. Las dos pruebas consisten en generar ondas electromagnéticas en un

extremo o puerto 1, la señal enviada es medida en el otro extremo del tramo de la guía de onda o puerto 2.

La primera prueba consiste en medir el SWR (Standing Wave Ratio) o Relación de Onda Estacionaria. Aquí se medirá la potencia transmitida, el valor de SWR es un número adimensional igual a 1 cuando la transmisión es perfecta, es decir; cuando no hay pérdidas de potencia .Este valor se lo obtiene de la fórmula:

$$swr = \frac{1 + \rho}{1 - \rho}$$

donde ρ es el coeficiente de reflexión.

El valor de ρ varía entre cero y uno; es cero cuando la trasmisión es total, por lo que el SWR es igual a 1; y es igual a uno cuando no hay trasmisión de potencia , entonces el valor del SWR sería infinito. Un valor aceptable en la medición del SWR es cuando éste valor es menor a 1.58. Los gráficos de las fig. 3.2, 3.3 y 3.4 nos muestran los resultados de las mediciones de SWR realizadas a los tramos de guías de onda con bridás rectangulares y con bridás redondas. Aquí se observa que ninguno de los valores es mayor que 1.58 de donde se puede concluir que ambos tramos están dentro del rango permitido.

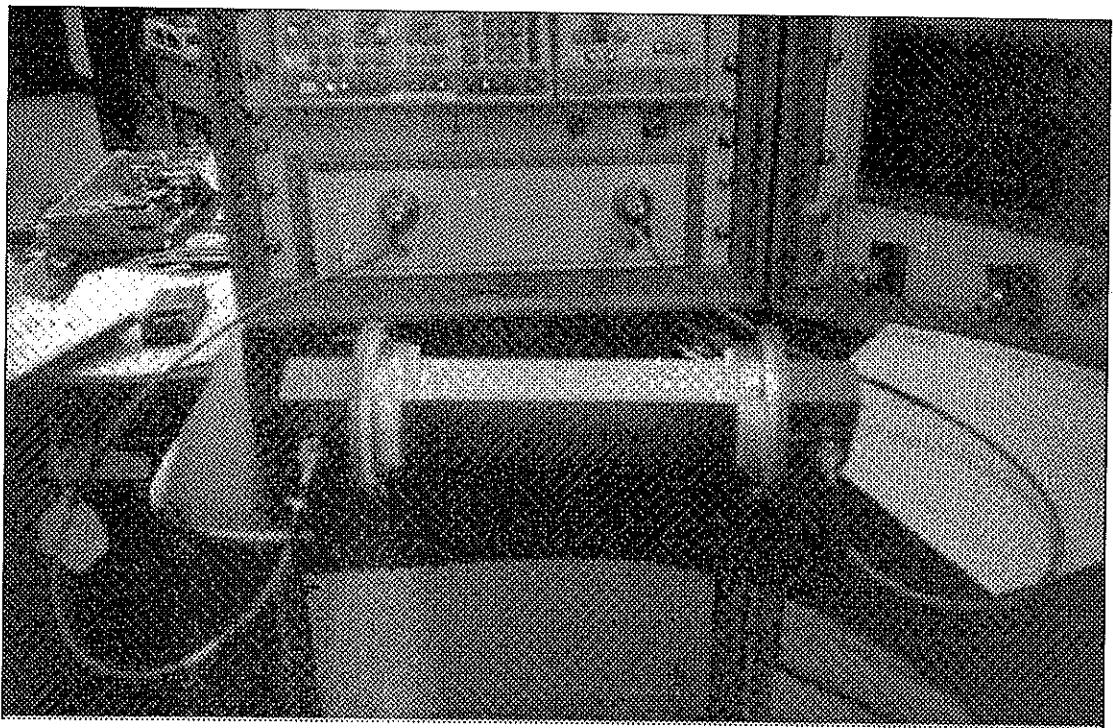


FIG 3.1: ANALIZADOR DE RED. FOTO DIECAR

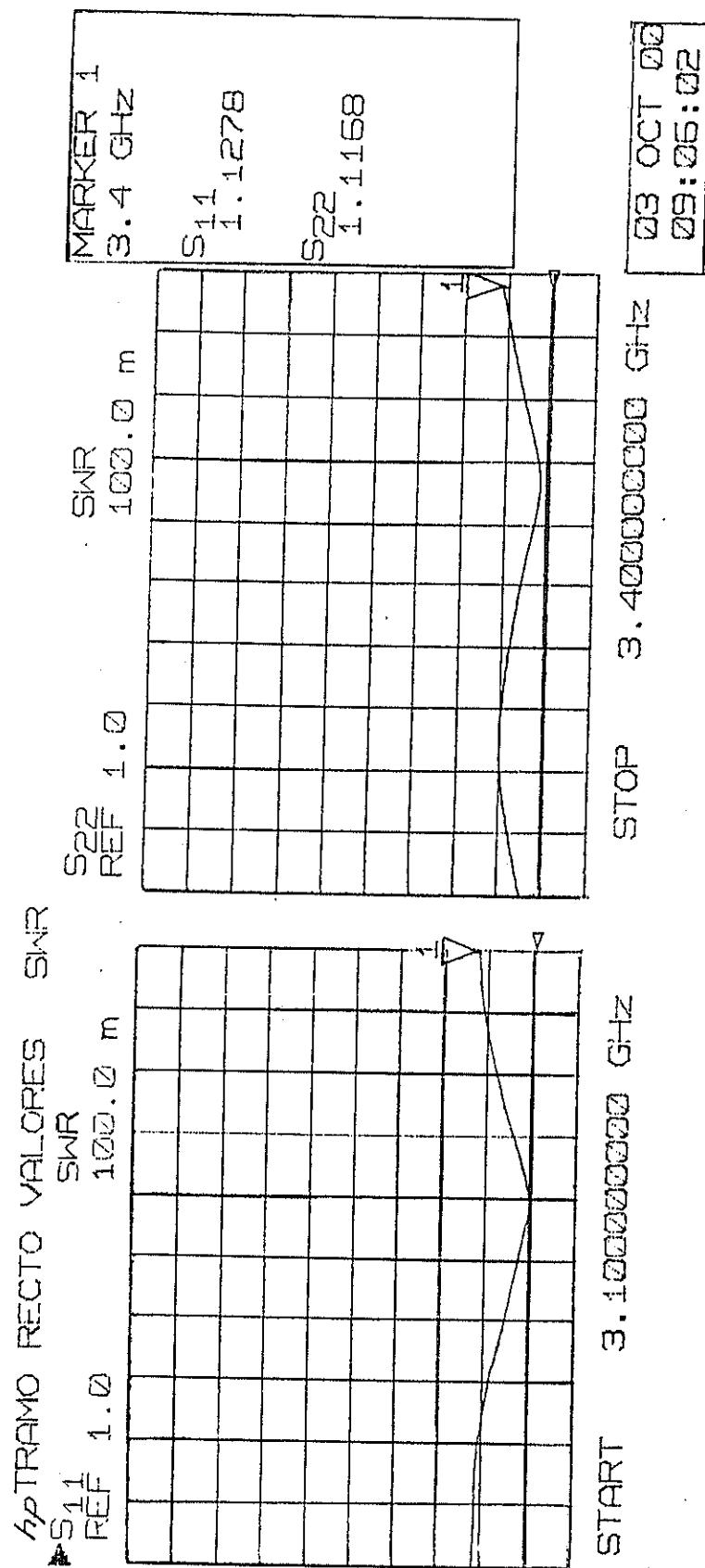


FIG 3.2: VALORES DE SWR PARA UN TRAMO CON BORDE RECTANGULAR

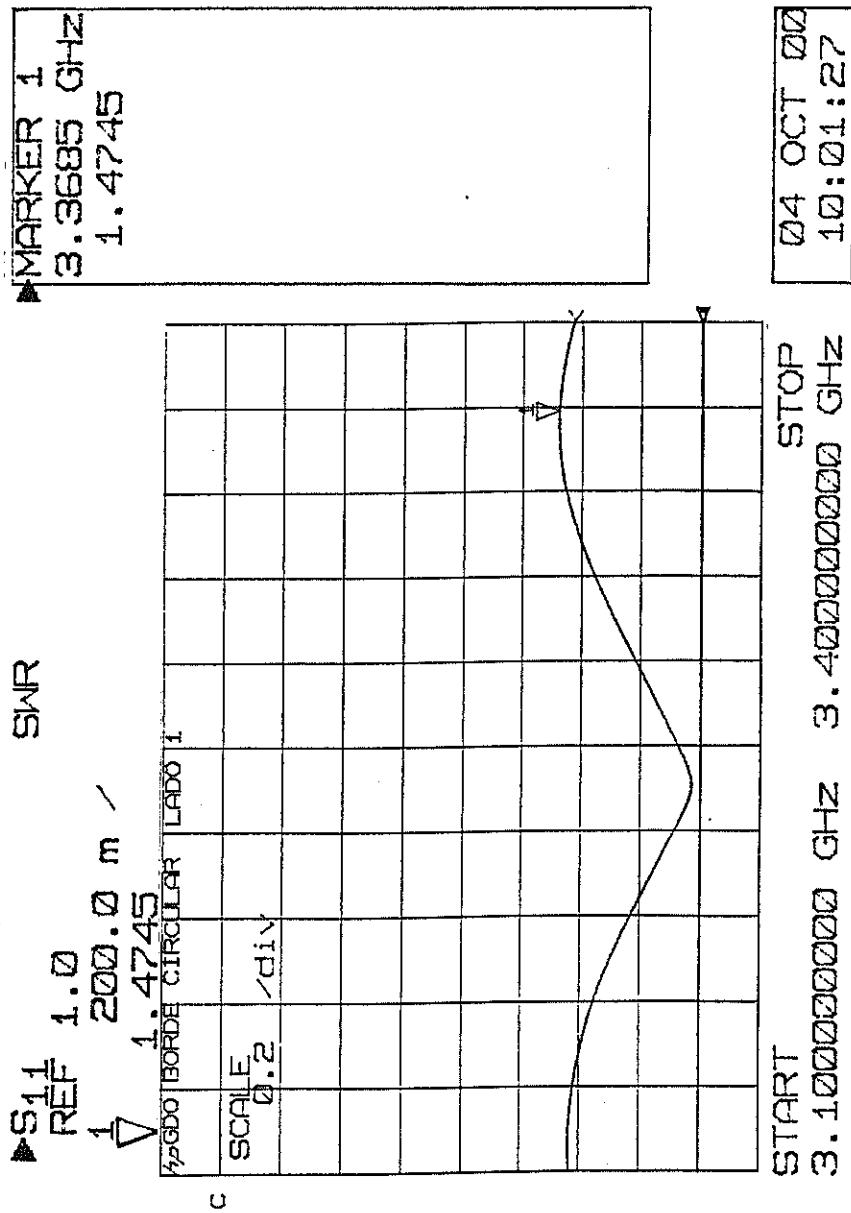


FIG 3.3: VALORES DE SWR PARA UN TRAMO CON BORDE CIRCULAR.- LADO 1

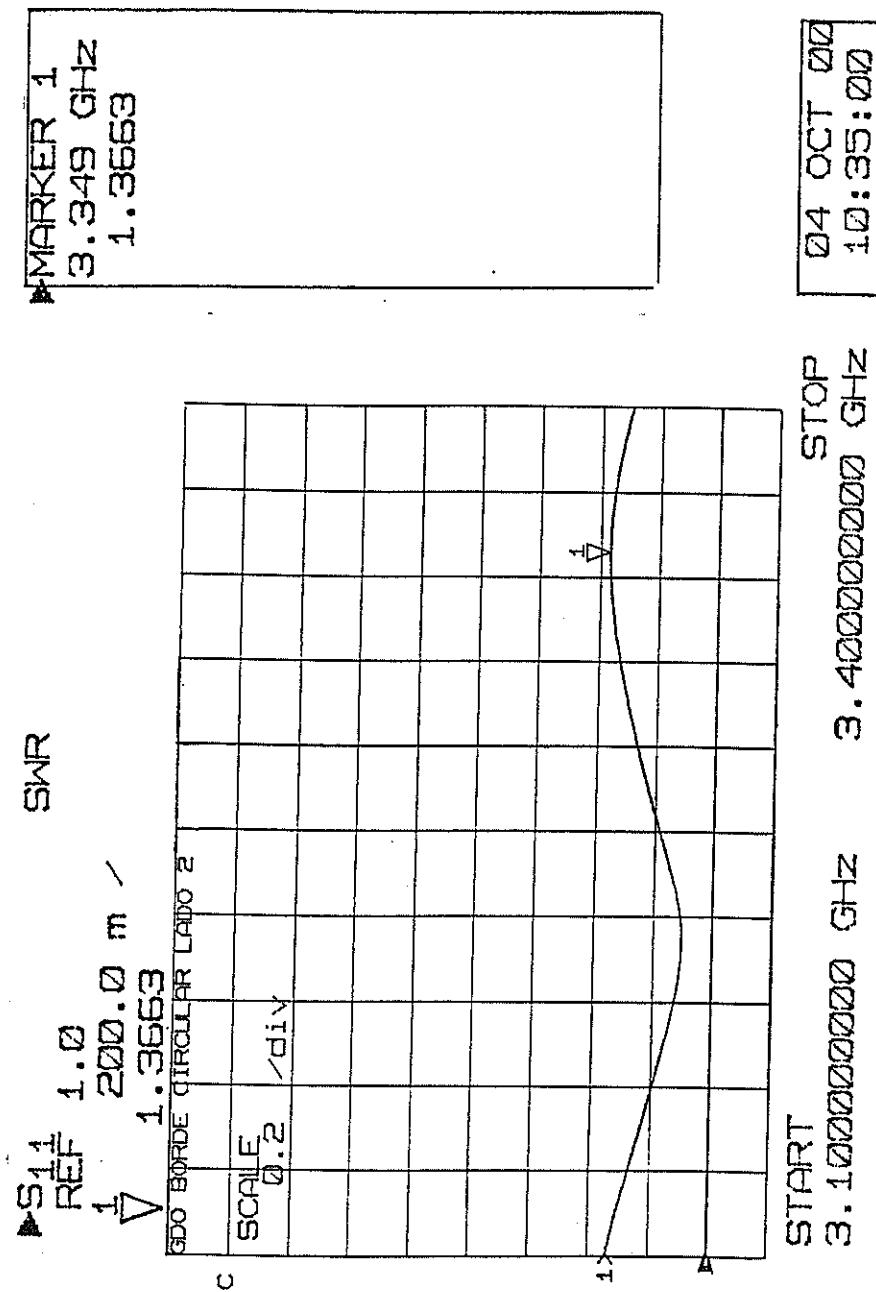


FIG 3.4: VALORES DE SWR PARA UN TRAMO CON BORDE CIRCULAR - LADO 2

La segunda prueba realizada es la medición del *Return Loss* o “Pérdidas al Retorno”, es decir, aquí se mide la señal en el mismo puerto de salida de la onda o en otras palabras se medirá la potencia reflejada al origen. Como su nombre lo dice “pérdidas al retorno” significa que si no hay pérdidas, entonces toda la potencia que se transmitió está siendo reflejada.

El valor de *Return Loss* se lo puede obtener de la siguiente fórmula:

$$\text{ReturnLoss} = 20 \log_{10} \rho [\text{db}]$$

Esta ecuación nos indica que el valor ideal tiende a infinito (cuando $\rho = 0$). En otras palabras, mientras mayores sean las pérdidas al retorno habrá una mejor transmisión de potencia. Al igual que el caso del SWR se consideran valores aceptables cuando $| \text{Return Loss} | > 13 \text{ db}$. Los valores graficados por el analizador de red (fig. 3.5, 3.6 y 3.7) nos indican para ambos casos: brida rectangular y brida redonda, están dentro del rango aceptable.

Los resultados de las dos pruebas se pueden observar en la siguiente tabla:

TABLA III: VALORES DE SWR Y RETURN LOSS DE LOS RESPECTIVOS TRAMOS DE GUIAS DE ONDA

	BORDE RECTANGULAR		BORDE CIRCULAR	
	LADO 1	LADO 2	LADO 1	LADO 2
SWR	1.1278 (3.4 GHz)	1.1168 (3.4 GHz)	1.4745 (3.3685 GHz)	1.3663 (3.349 GHz)
RETURN LOSS (db)	-20.785 (3.4 GHz)	-20.962 (3.4 GHz)	-14.305 (3.4 GHz)	-16.206 (3.34 GHz)

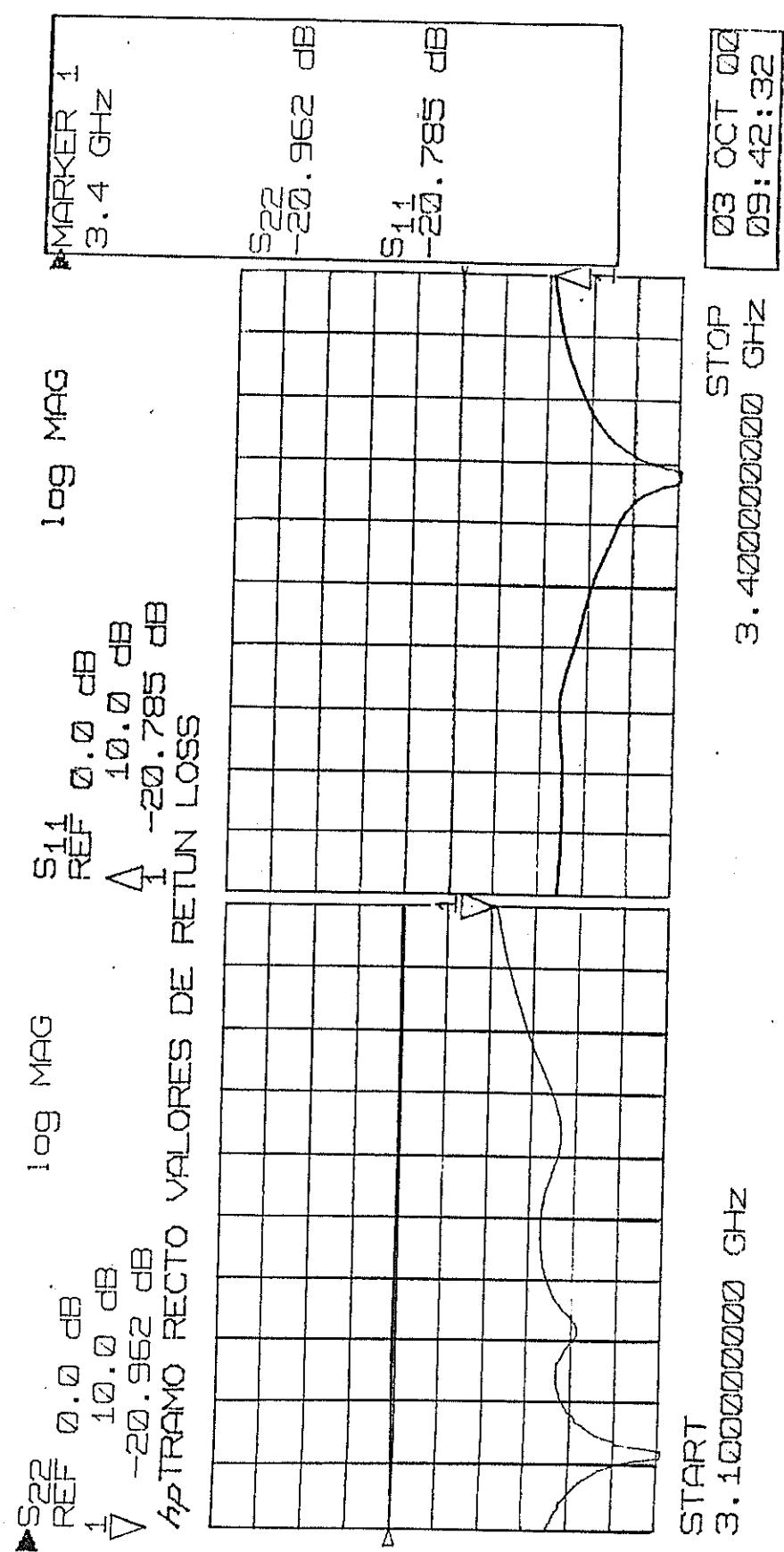


FIG 3.5: VALORES DE RETURN LOSS PARA UN TRAMO CON BORDE RECTANGULAR

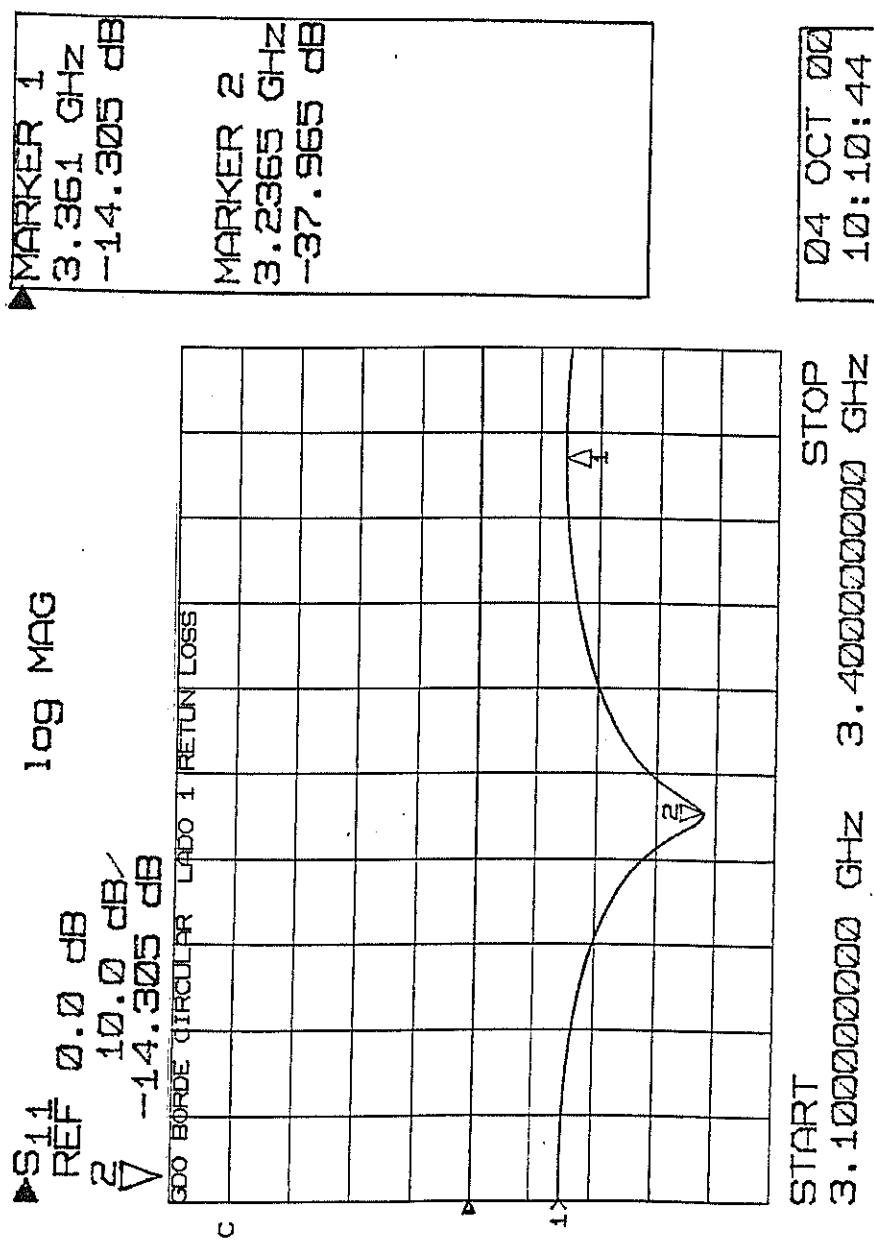


FIG 3.6: VALORES DE RETURN LOSS PARA UN TRAMO CON BORDE CIRCULAR.-LADO 1

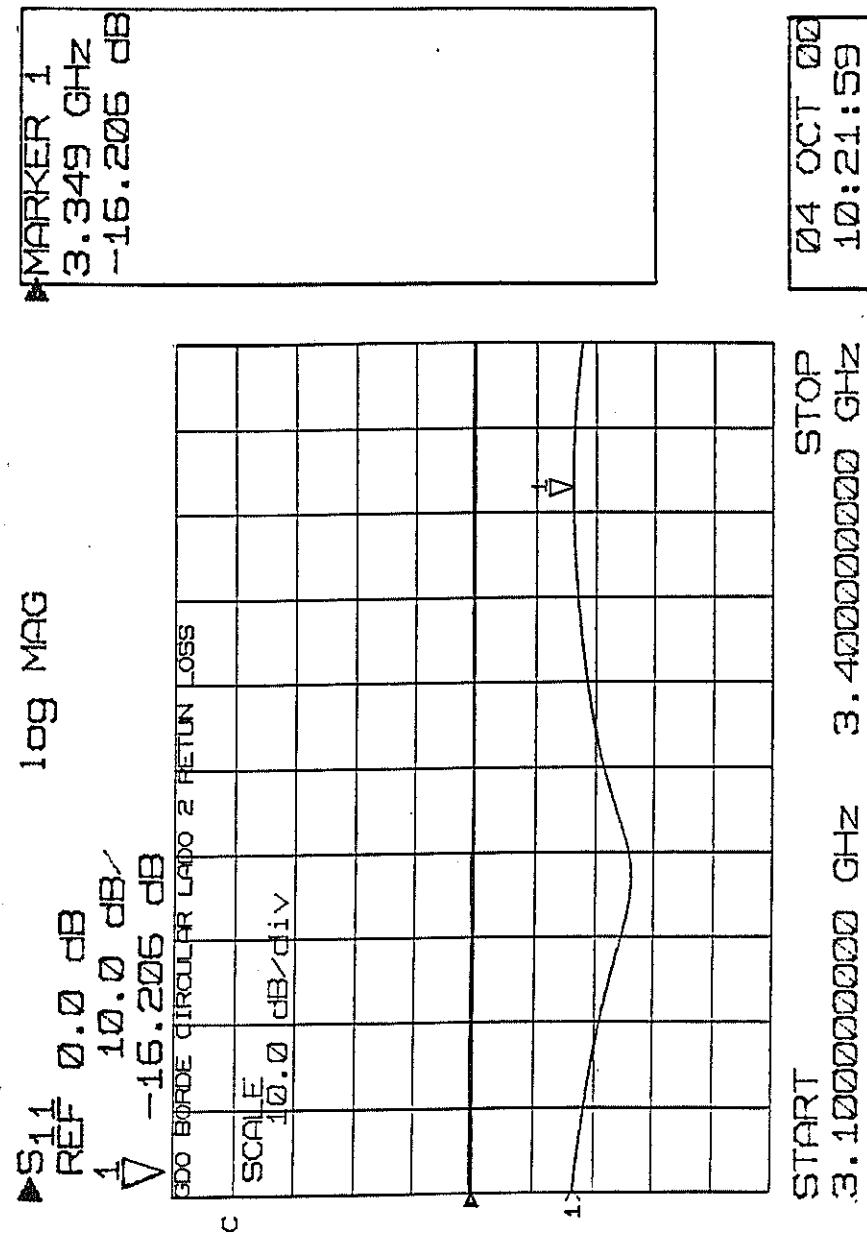


FIG 3.7: VALORES DE RETURN LOSS PARA UN TRAMO CON BORDE CIRCULAR.. LADO 2

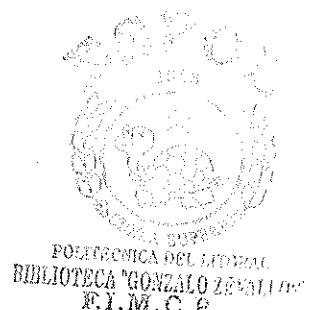
CONCLUSIONES

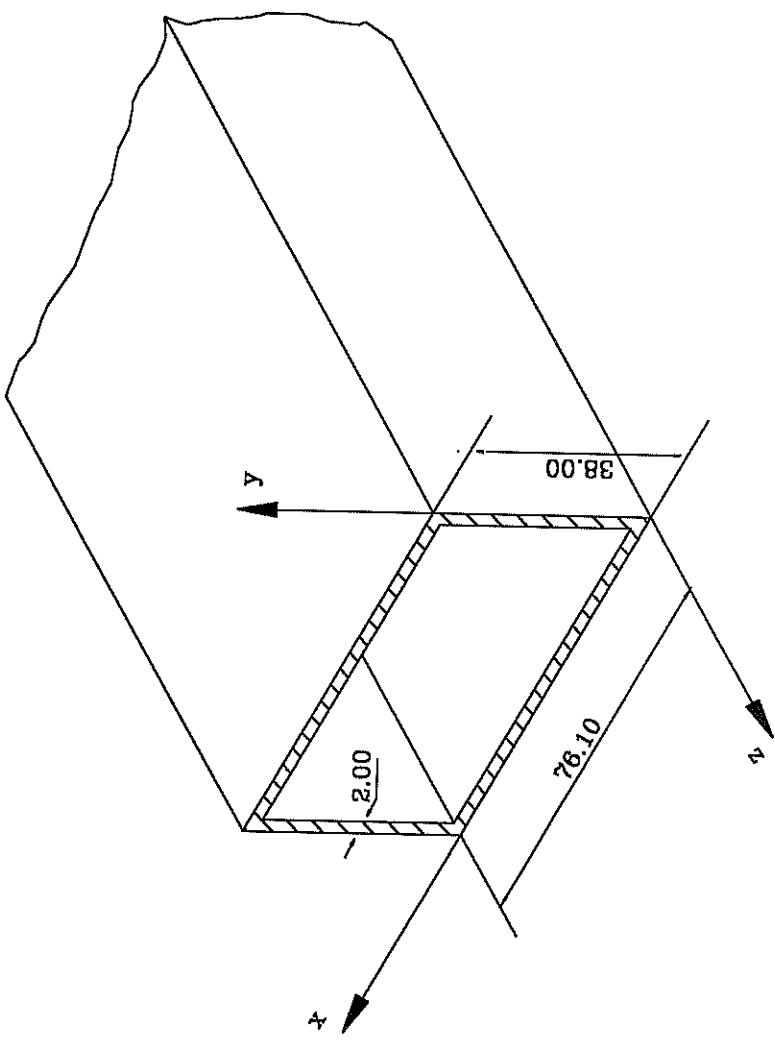
1. En el proceso de fundición se obtuvieron mejores resultados utilizando molde permanente en lugar de molde de arena, ya que debido a la afinidad que tiene el aluminio con el hidrógeno, éste se mezcla más fácilmente con el material fundido cuando se usa molde de arena lo que posteriormente hace que se produzcan poros en la superficie del metal.
2. Para nuestro caso en particular, el uso de máquinas de control numérico nos ofrece algunas ventajas sobre el uso de máquinas convencionales como la producción de mayor cantidad de piezas con una precisión elevada y constante, 0.01 mm en el torno y 0.005 mm en la fresadora.
3. También es importante el proceso de maquinado por electroerosión ya que hay ciertos procesos de maquinado que no son posibles de hacerse en el torno o la fresadora CNC, y estas máquinas nos permiten obtener el mismo grado de precisión que las de control numérico por utilizar un servocontrol similar.
4. A pesar de que no se pudo comparar los valores de la tabla III con valores dados por los fabricantes de las guías de onda importadas, los resultados de las pruebas realizadas a los tramos de guía de onda en los laboratorios de la Armada nos muestran que en nuestro país es posible la fabricación de estos elementos ya que tenemos todos los procesos mencionados anteriormente, desde la obtención de la materia prima hasta los laboratorios de prueba de estos elementos terminados.

5. Como se mencionó al inicio, este trabajo corresponde a una segunda etapa del proyecto de investigación y desarrollo entre la Espol y la Armada del Ecuador y debe continuar a una etapa final en la que se determinará el tipo de unión de tubo con brida, así como también el tipo de recubrimiento electrolítico que debe tener interiormente un tramo de guía de onda, por cuanto aún no es posible hacer una cuantificación del costo total de este proyecto.

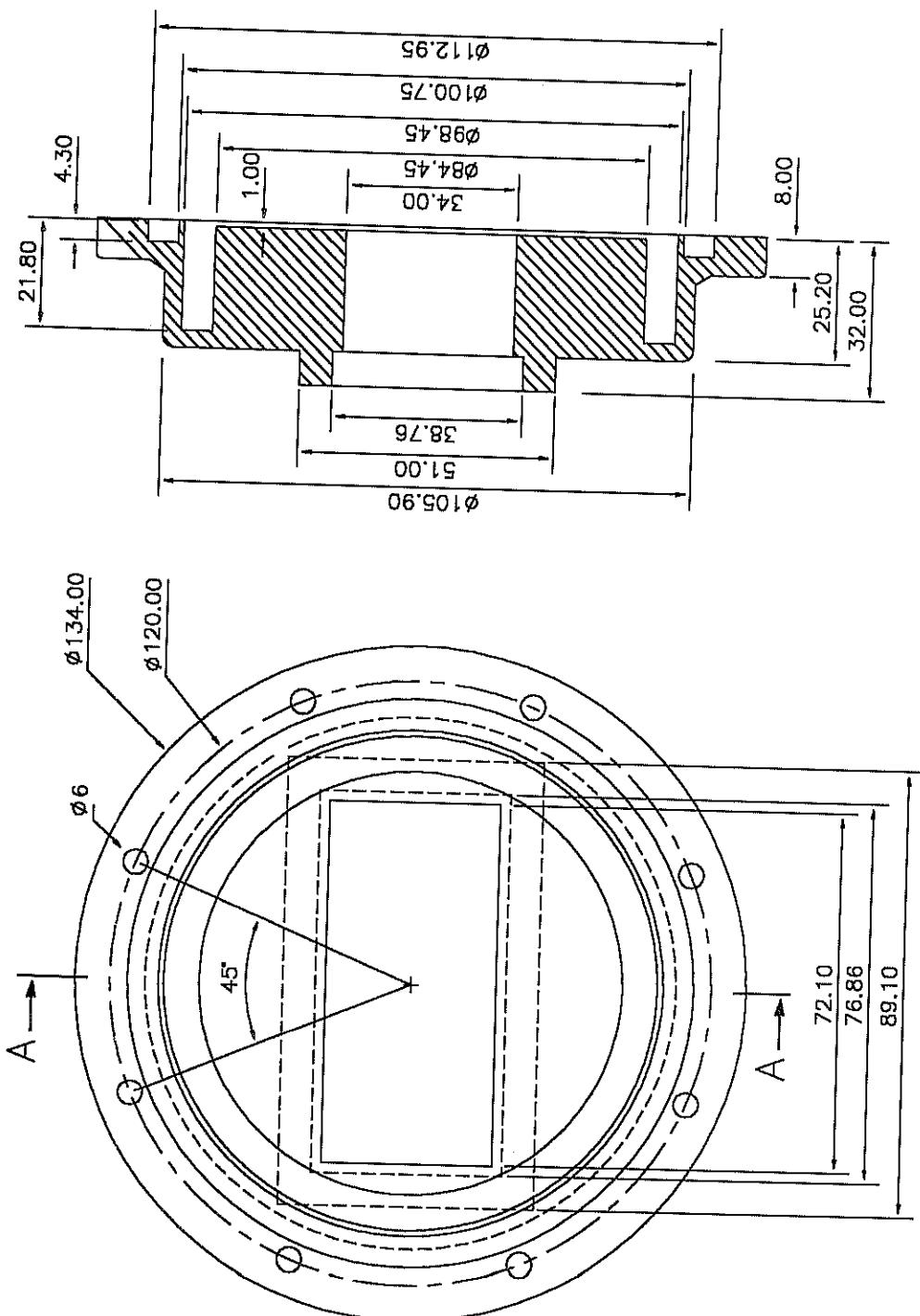
RECOMENDACIONES

1. Para la producción en serie de los acoplos es preferible partir desde la parte de maquinado y obtener la materia prima en el mercado así, contaría con un aluminio de mejor calidad ya que existen empresas que se dedican única y exclusivamente a esta actividad.
2. El manejo de las máquinas tanto de torno y fresadora CNC; y de maquinado por electroerosión por hilo debe hacerlo una persona capacitada para el uso de estos equipos y que tenga conocimientos básicos de programación ya que una operación incorrecta podría ocasionar la avería parcial o total de los mismos.
3. Se recomienda a los estudiantes la elaboración de este tipo de proyectos de investigación y desarrollo, así como a la Espol su incentivo a través de convenios con la empresa privada donde se requieran soluciones a problemas de ingeniería en beneficio de las dos partes.



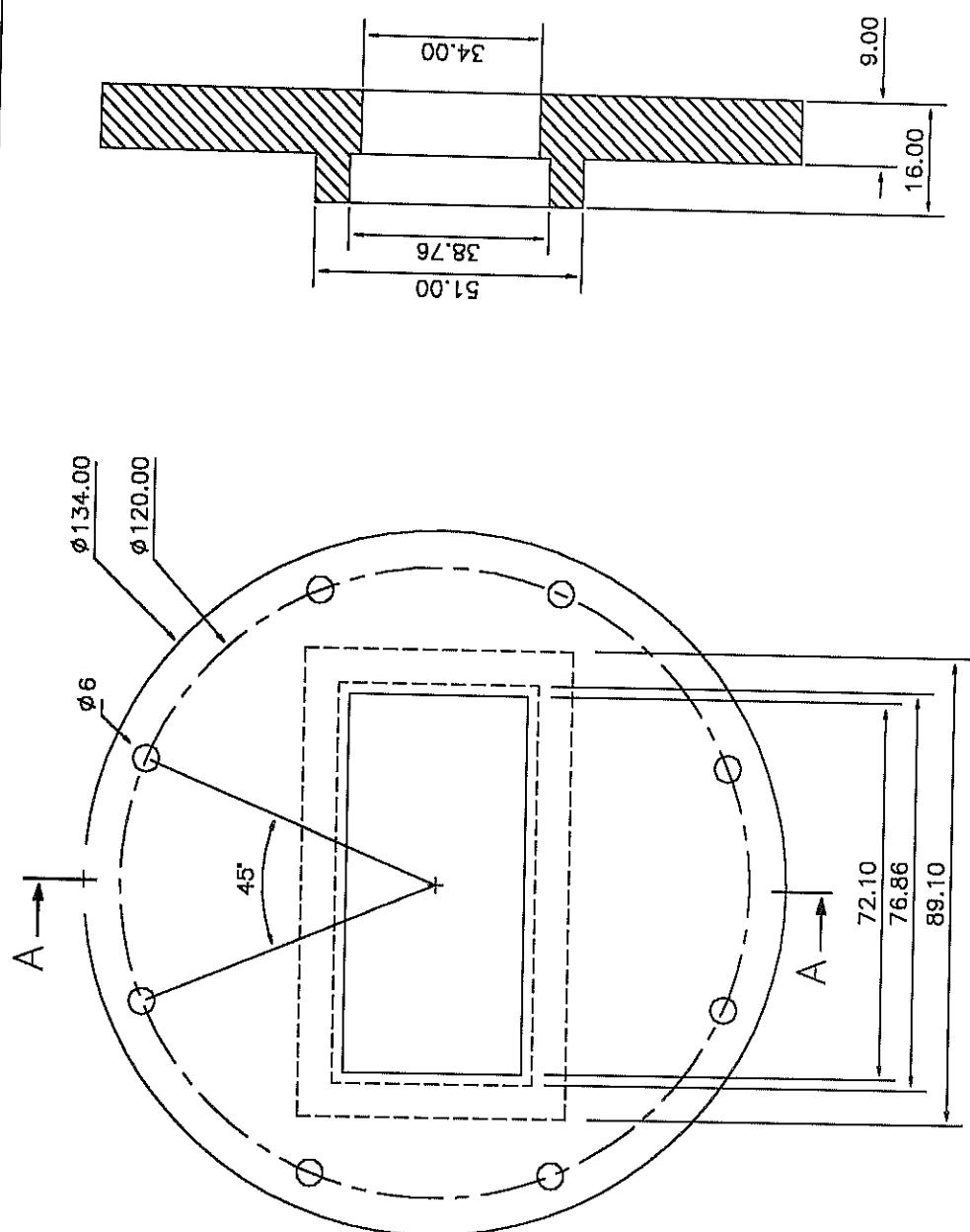


TOLENCIA:	2.50	MATERIALES:	ALUMINIO ASTM 6060
FECHA	NOMBRE:	DENOMINACION:	
Dib. 12-09-88	C.MAYORGA	DIMENSIONES DE UNA GUIA DE ONDA	
Rev.			
Apro.			
EDICION	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE
			ESPOL
			1



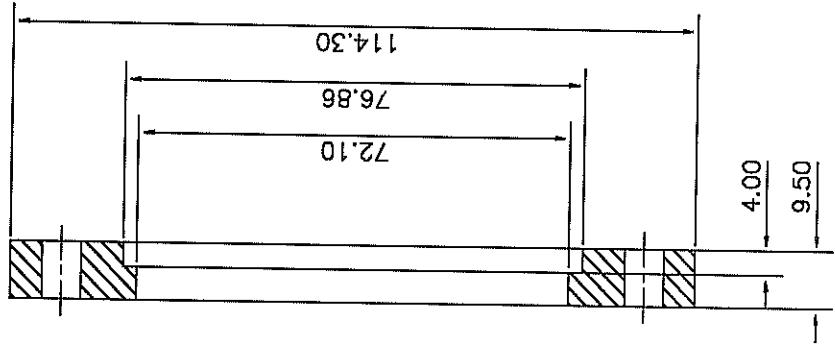
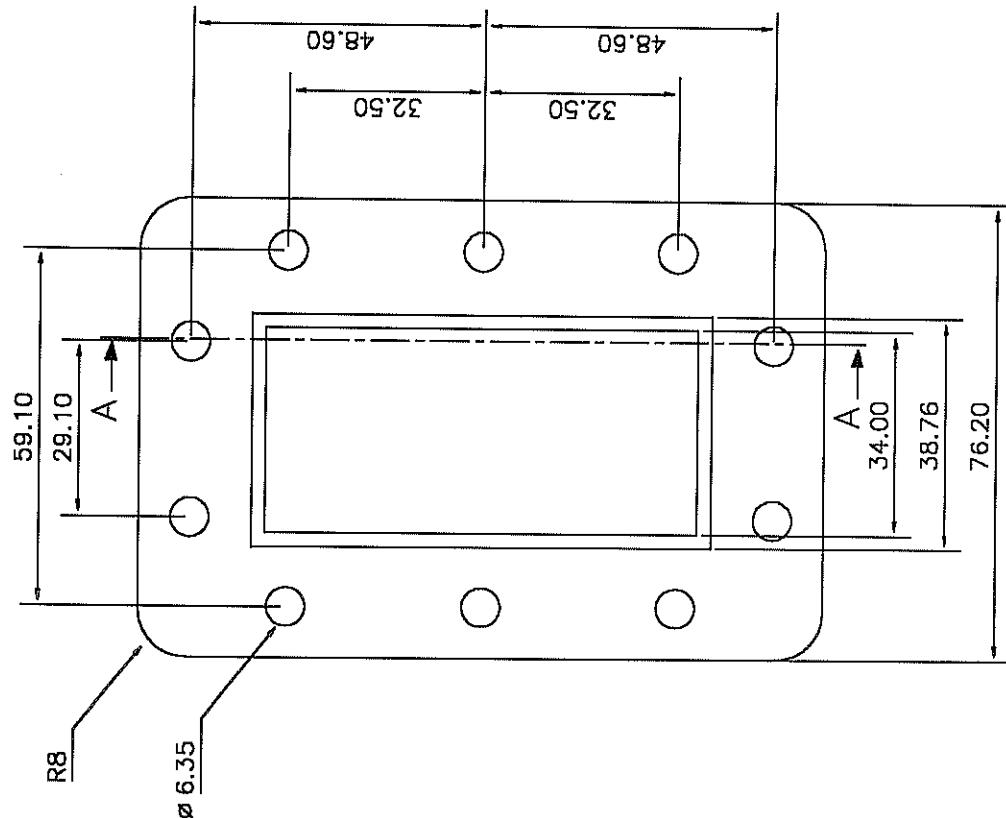
CORTE A-A

			MATERIALES:	ALUMINIO AL 713
			DENOMINACION:	BRIDA REDONDA
			FECHA:	20-11-99
			NOMBRE:	C.MAYORGA
			Dib.	
			Rev.	
			Apro.	
			PLANO N°:	2
			ESPOL	
			EDICION MODIFICACION FECHA NOMBRE	



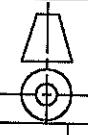
CORTE A-A

TOLERANCIA:	MASA [Kg]	MATERIALES:
	2.50	ALUMINIO AL 713
FECHA:	NOMBRE:	ESCALA:
Dib. 20-09-99	C. MAYORGA	1:1.2
Rev.		
Apro.		
PLANO N°:	3	
ESPOL		
MODIFICACION	FECHA	NOMBRE



CORTE A-A

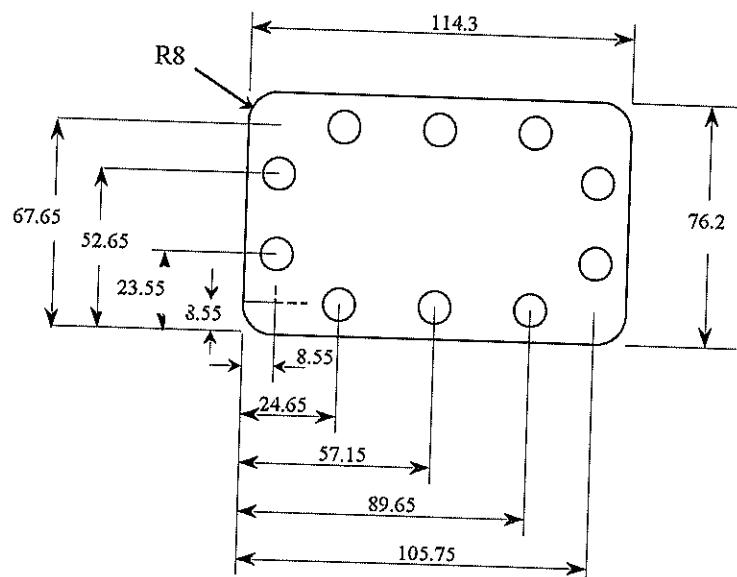
TOLERANCIA:		MAS (kg)	MATERIALES:	ALUMINIO AL 713
DENOMINACION:				BRIDA RECTANGULAR
Dib.	20-08-99	C.MAYORGA	ESCALA:	1:1.2
Rev.				
Apro.				
MODIFICACION FECHA NOMBRE		ESPOL		



APENDICES

APENDICE A

PROGRAMA DE FRESADO PARA BRIDA RECTANGULAR



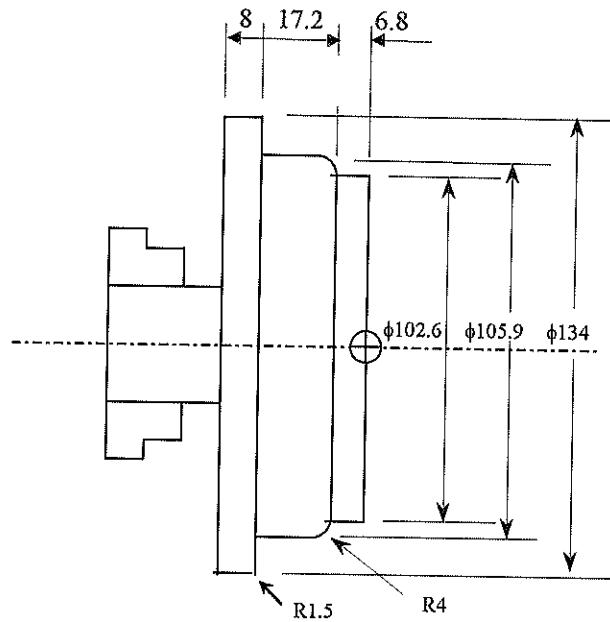
```
[BILLET X115 Y78 Z10
G40 G28
M03 S1300
G00 X90.87 Y48.6 Z26
G92 X0 Y0 Z0
G01 Z23.5
Y88.2 F150
G02 X28 Y116.2 R28 F40
G01 X126.3 F150
G02 X154.3 Y88.2 R28 F40
G01 Y28 F150
G02 X126.3 Y0 R28 F40
G01 X28 F150
G02 X0 Y28 R28 F40
G01 Z21.5
Y88.2 F150
```

G02 X28 Y116.2 R28 F40
G01 X126.3 F150
G02 X154.3 Y88.2 R28 F40
G01 Y28 F150
G02 X126.3 Y0 R28 F40
G01 X28 F150
G02 X0 Y28 R28 F40
G01 Z19.5
Y88.2 F150
G02 X28 Y116.2 R28 F40
G01 X126.3 F150
G02 X154.3 Y88.2 R28 F40
G01 Y28 F150
G02 X126.3 Y0 R28 F40
G01 X28 F150
G02 X0 Y28 R28 F40
G01 Z17.5
Y88.2 F150
G02 X28 Y116.2 R28 F40
G01 X126.3 F150
G02 X154.3 Y88.2 R28 F40
G01 Y28 F150
G02 X126.3 Y0 R28 F40
G01 X28 F150
G02 X0 Y28 R28 F40
G01 Z15.5
Y88.2 F150
G02 X28 Y116.2 R28 F40
G01 X126.3 F150
G02 X154.3 Y88.2 R28 F40
G01 Y28 F150
G02 X126.3 Y0 R28 F40
G01 X28 F150
G02 X0 Y28 R28 F40
G00 Z30
G28
M05
M06 T02
S1300 M03
G00 X107.905 Y65.505 Z104.7
G92 X0 Y0 Z0
G00 X11.65 Y26.65
G01 Z90 F40
Z106 F150
G00 X11.65 Y55.75
G01 Z90 F40
Z106 F150
G00 X27.75 Y70.75
G01 Z90 F40
Z106 F150
G00 X60.25 Y70.75

G01 Z90 F40
Z106 F150
G00 X92.15 Y70.75
G01 Z90 F40
Z106 F150
G00 X108.85 Y55.75
G01 Z90 F40
Z106 F150
G00 X108.85 Y26.65
G01 Z90 F40
Z106 F150
G00 X92.15 Y11.65
G01 Z90 F40
Z106 F150
G00 X60.25 Y11.65
G01 Z90 F40
Z106 F150
G00 X27.75 Y11.65
G01 Z90 F40
Z115 F150
G28
M02

APENDICE B

PROGRAMA DE TORNEADO DE LA CARA SUPERIOR (BRIDA REDONDA)



```

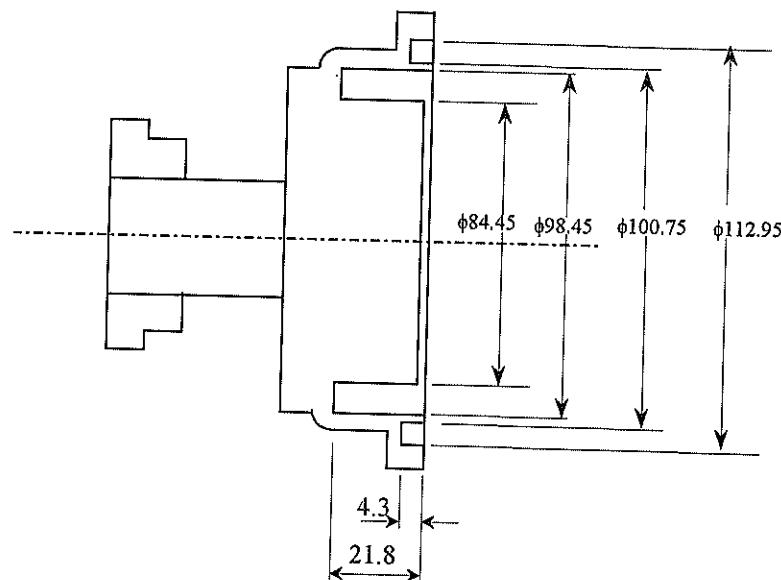
[BILLET X140 Z60
M05
M06 T01
M03 S1300
G50 X147.54 Z96.14
G00 X142 Z1
G71 U.5 R.5
G71 P1 Q2 U.1 W.1 F50
N1 G01 X102.6
Z-7.1
G03 X105.9 Z-10.1 R4
G01 Z-24
X109.9 Z-25
X131
G03 X134 Z-26.5 R1.5
G01 Z-33
N2 X140
G28

```

G00 X103 Z1
G70 P1 Q2
G28
M05
M00

APENDICE C

PROGRAMA DE TORNEADO DE LA CARA INFERIOR (BRIDA REDONDA)



```

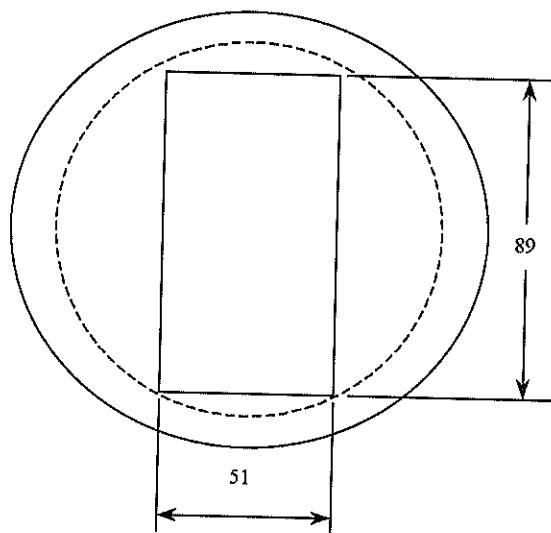
[BILLET X137 Z45
G28
M05
M06 T04
M03 S1000
G50 X147.22 Z82.08
G00 X103.15 Z.5
G72 W.05 R.05
G72 P3 Q4 U.05 W.05 F10
N3 G00 Z-4.3
N4 X100.75
G00 Z5
M01
G00 X88.65 Z.5
G72 W.05 R.05
G72 P5 Q6 U.05 W.05 F10
N5 G00 Z-7
N6 X84.45
G00 Z15
M01

```

G00 X88.65 Z1
G01 Z-7
G72 W.05 R.05
G72 P7 Q8 U.05 W.05 F10
N7 G00 Z-14
N8 X84.45
G00 Z15
M01
G00 X88.65 Z1
G01 Z-14
G72 W.05 R.05
G72 P9 Q10 U.05 W.05 F10
N9 G00 Z-21.8
N10 X84.45
G00 Z15
G28
M05
M00

APENDICE D

PROGRAMA DE FRESADO DE LA CARA SUPERIOR (BRIDA REDONDA)



```
[BILLET X110 Y110 Z40
G40 G28
M03 S1300
G00 X84.45 Y30.025 Z52
G92 X0 Y0 Z0
G90 G00 X25.75 Y0
G01 Z51.92 F100
X25.75 Y0
Y135.75
X116.75
Y6.75
X25.75
Z49.955
Y135.75
X116.75
Y6.75
X25.75
Z47.955
Y135.75
X116.75
Y6.75
X25.75
```

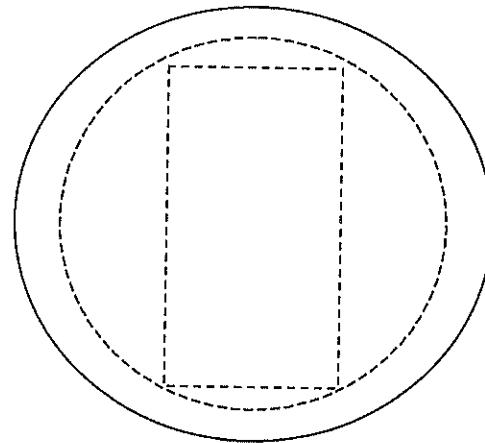
Z45.955
Y135.75
X116.75
Y6.75
X25.75
Z44.955
Y135.75
X116.75
Y6.75
X25.75
Z55

G28

M02

APENDICE E

PROGRAMA DE TALADRADO DE LOS AGUJEROS (BRIDA REDONDA)



```
[BILLET X134 Y134 Z150
G40 G28
M03 S1300
G00 X154.765 Y36.58
Z144
G92 X0 Y0 Z0
G00 X43.939 Y11.4672
G01 Z132 F40
Z144 F100
G00 X11.4672 Y43.939
G01 Z132 F40
Z144 F100
G00 X11.4672 Y89.861
G01 Z132 F40
Z144 F100
G00 X43.939 Y122.3328
G01 Z132 F40
Z144 F100
G00 X89.861 Y122.3328
G01 Z132 F40
Z144 F100
G00 X122.3328 Y89.861
G01 Z132 F40
Z144 F100
G00 X122.3328 Y43.939
```

G01 Z132 F40
Z144 F100
G00 X89.861 Y11.4672
G01 Z132 F40
Z150 F100
G28
M02

APENDICE F

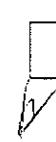
SELECCION DE HERRAMIENTAS PARA EL TORNO CNC



Tool No 1 Roughing Tool



Tool No 8 Threading Tool



Tool No 15 Finishing Tool



Tool No 2 Roughing Tool



Tool No 9 Threading Tool



Tool No 16 Radius Nosed Finishing Tool



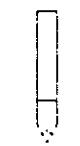
Tool No 3 Grooving Tool



Tool No 10 Radius Nosed Finishing Tool



Tool No 17 Roughing Tool



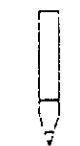
Tool No 4 Threading Tool



Tool No 11 Roughing Tool



Tool No 18 Roughing Tool



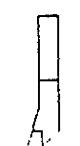
Tool No 5 Threading Tool



Tool No 12 Roughing Tool



Tool No 19 4 mm Drill



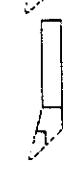
Tool No 6 Finishing Tool



Tool No 13 Roughing Tool



Tool No 20 12 mm Drill



Tool No 7 Finishing Tool

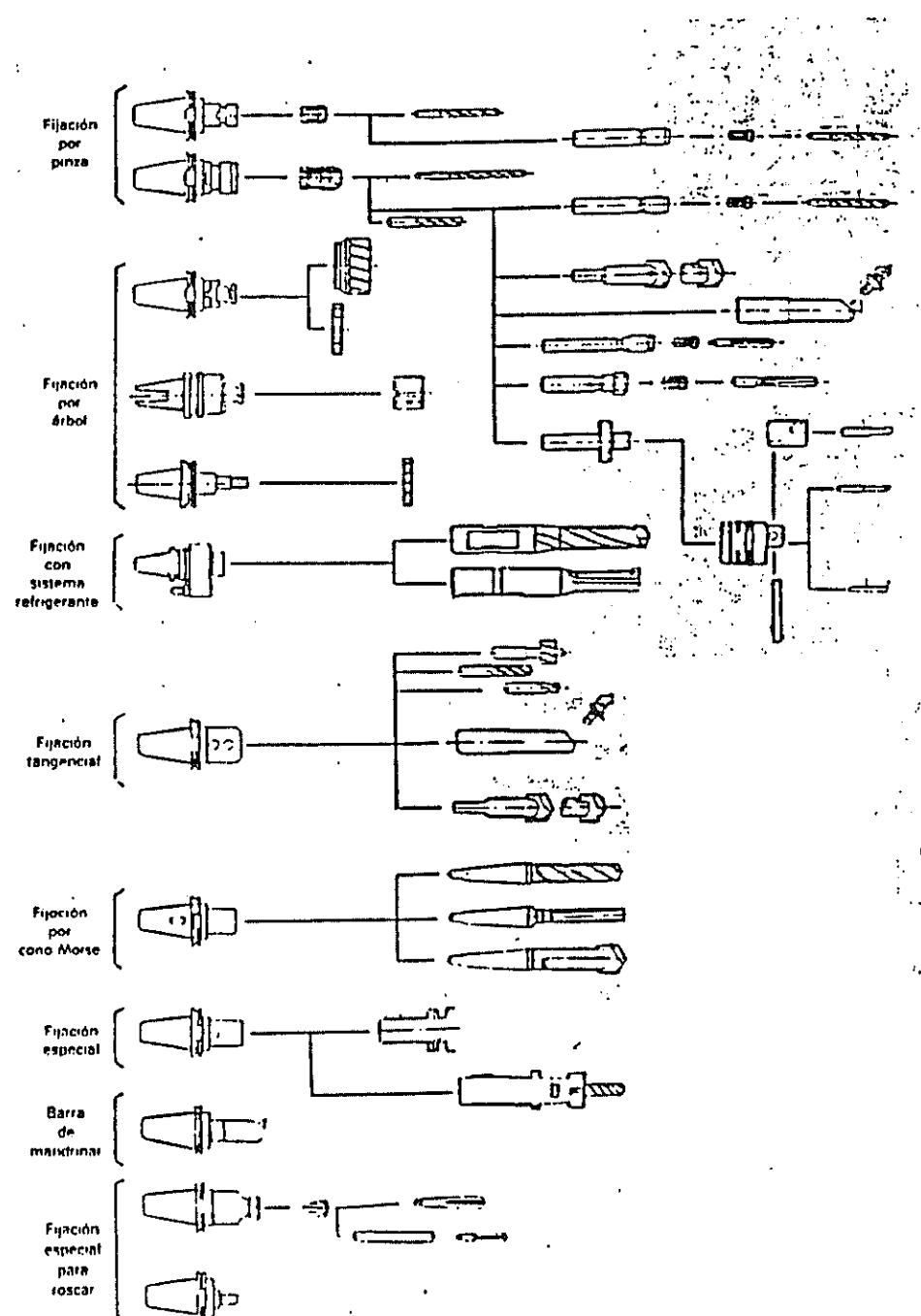


Tool No 14 Roughing Tool

Tool No 21 Boring Bar
10 mm Dia.

APENDICE G

DESPIECE DE LAS HERRAMIENTAS A COLOCARSE EN LA FRESADORA CNC



APENDICE H

VELOCIDADES Y AVANCES PARA CORTE EN TORNO

Material	Refrendado, torneado, rectificación				Rocado pies/min m/min	
	Desbastado		Acabado			
	pies/min m/min	pies/min m/min	pies/min m/min	pies/min m/min		
Acero de máquina	90	27	100	30	35	
Acero de herramientas	70	21	90	27	30	
Hierro fundido	60	18	80	24	25	
Bronce	90	27	100	30	25	
Aluminio	200	61	300	93	60	
					18	

Material	Desbastado		Acabado	
	Pulgadas	Milímetros	Pulgadas	Milímetros
Acero de máquina	.010—.020	.25—.50	.003—.010	.07—.25
Acero de herramientas	.010—.020	.25—.50	.003—.010	.07—.25
Hierro fundido	.015—.025	.40—.065	.005—.012	.13—.30
Bronce	.015—.025	.40—.065	.003—.010	.07—.25
Aluminio	.015—.030	.40—.075	.005—.010	.13—.25

APENDICE I

VELOCIDADES Y AVANCES PARA CORTE EN FRESADORA

Material	Fresas de acero de alta velocidad		Fresas de carburo	
	pies/min	m/min	pies/min	m/min
Acerde máquina	70—100	21—30	150—250	45—75
Acerde herramientas	60—70	18—20	125—200	40—60
Hierro fundido	50—80	15—25	125—200	40—60
Bronce	65—120	20—35	200—400	60—120
Aluminio	500—1000	150—300	1000—2000	150—300

Material	Fresas para corte lateral			Fresas escariadoras			Fresas helicoidales simples			Sierras		
	Pulgadas	Millímetros	Pulgadas	Millímetros	Pulgadas	Millímetros	Pulgadas	Millímetros	Pulgadas	Millímetros	Pulgadas	Millímetros
Acerde máquina	.007	0.18	.006	0.15	.010	0.25	.002	0.05				
Acerde herramientas	.005	0.13	.004	0.10	.007	0.18	.002	0.05				
Hierro fundido.	.007	0.18	.007	0.18	.010	0.18	.002	0.05				
Bronce	.008	0.20	.009	0.23	.011	0.28	.003	0.08				
Aluminio	.013	0.33	.011	0.28	.018	0.46	.005	0.13				

BIBLIOGRAFIA

1. ASM, Metals Handbook 9th Edition, Volume 2: NonFerrous Alloys and Pure Metals, American Society for Metal, Ohio – USA, 1988.
2. ASM, Metals Handbook 9th Edition, Volume 15: Casting, American Society for Metal, Ohio – USA, 1988.
3. ASM, Metals Handbook 9th Edition, Volume 16: Machining, American Society for Metal, Ohio – USA, 1988.
4. Fink & Carismansen, Manual de Ingeniería Electrónica, Volumen 5, Editorial Mc Graw Hill, Madrid – España, 1963.
5. Krar Oswald, Operación de Máquinas Herramientas, Mc Graw Hill, México, 1990.
6. Manual Instructivo para la Operación de Máquinas CNC Denford, ESPOL ,1991.
7. Martillo Carlos, “Método para la Fabricación de Guías de Onda de Radares” (Tesis, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, ESPOL, 1999).

8. Mora Diego, "Manual Instructivo para la Utilización de Software Denford para Simulación y Control de Fresadora CNC" (Tesis, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, ESPOL, 1993).
9. Quizhpi Miguel, "Máquinas de Electroerosión" (Tesis, Facultad de Ingeniería Eléctrica, ESPOL, 1996).
10. Roddy D., Microwave Technology, Prentice – Hall, New Jersey – USA, 1986.
11. Shrader R., Electronic Fundamentals for Technicians, Mc Graw Hill Co., 1972.
12. Sears F. Zemansky & Young, Física Universitaria, 6th Edición, Fondo Interamericano, México DF – México.