

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA CORTE
POR PLASMA, USANDO TECNICAS DE CONTROL
NUMÉRICO COMPUTARIZADO**

PRESENTADO POR:

**RENÉ WILFREDO ARTIGA RIVERA
GERARDO JOSUÉ BOLAÑOS CASTILLO
ABNER ALEXIS MARTÍNEZ RIVAS
ERICK GREGORIO REYES MAGAÑA**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, ENERO DE 2015

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIA GENERAL :

DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR :

ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO MECÁNICO

Título :

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA
CORTE POR PLASMA USANDO TECNICAS DE CONTROL
NUMÉRICO COMPUTARIZADO**

Presentado por :

**RENÉ WILFREDO ARTIGA RIVERA
GERARDO JOSUÉ BOLAÑOS CASTILLO
ABNER ALEXIS MARTÍNEZ RIVAS
ERICK GREGORIO REYES MAGAÑA**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Asesores :

**ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ
ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEON TORRES**

San Salvador, Enero de 2015

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Asesores :

ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ

ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEON TORRES

AGRADECIMIENTOS

A Dios Todopoderoso, por el regalo de la vida, por las bendiciones recibidas y por permitirnos culminar nuestro trabajo de graduación ya que así damos un paso más a nuestros niveles académicos.

A nuestras familias, que siempre nos han apoyado y contribuido de diversas maneras para lograr alcanzar nuestro objetivo.

A nuestros docentes asesores, Ing. Rigoberto Velásquez Paz e Ing. Francisco Alfredo De León Torres, por sus observaciones, propuestas y sugerencias sobre el trabajo, de igual forma por su paciencia, disponibilidad y flexibilidad para atender nuestras consultas.

A nuestros amigos y compañeros que de alguna forma estaban ahí para ayudarnos a salir gloriosos en circunstancias complicadas y que se involucraron en el desarrollo de nuestro trabajo de graduación de forma significativa.

A la Unidad Productiva de la Escuela de Ingeniería Mecánica, por permitirnos su flexibilidad, accesibilidad y disponibilidad de herramientas, que fueron de mucha ayuda para la realización de los ensayos y pruebas de la máquina.

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso, por guiarme y ayudarme a superar las dificultades presentadas durante todo el proceso educativo.

A mi familia e hijos: por estar presente día con día en este esfuerzo de superación profesional que se logra satisfactoriamente.

A mi padre y madre, René Wilfredo Artiga López, Marta Rivera Quintanilla, por su apoyo incondicional durante todo mi proceso de formación Educativa, ser ejemplo de perseverancia, por haberme orientado siempre hacia el camino de la superación.

A mi hermana: Por confiar y creer en mí al brindarme su apoyo moral durante todo el desarrollo de mi carrera.

A mis amigas, amigos y familiares: Por su amistad incondicional que siempre me brindaron en todo el proceso de mi carrera.

A todos los maestros: que en su momento brindaron orientación con su sabiduría y conocimientos teóricos-prácticos en el transcurso de la formación académica.

A mis compañeros de la carrera: por haber luchado cada uno por lograr los propósitos planteados en la Carrera de Ingeniería Mecánica.

A mis compañeros de tesis: por compartir las experiencias vividas durante todo el proceso de formación y salir adelante en este esfuerzo.

RENÉ WILFREDO ARTIGA RIVERA.

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso, agradeciéndole la fortaleza que me dio ante situaciones difíciles en el camino que me llevó a este logro, con sentimientos de alegría, tranquilidad, paciencia y esfuerzo en todo momento, pero principalmente, por otorgarnos la sabiduría requerida para superar los obstáculos enfrentados.

A mi familia, mi padre, mi madre y mis hermanos, que siempre son un apoyo incondicional, una extensión más de mi vida, que me han acompañado en los momentos más difíciles de este proceso. Han sido una inmensa bendición durante todo el viaje de mi vida, mostrándome con su ejemplo de fortaleza y superación constante, el modelo para no declinar en ningún momento.

A todas las personas que me han apoyado para alcanzar mis metas, las personas que me dieron ánimos y estuvieron a mi lado en todo momento, compartiendo cada esfuerzo hasta ver finalizado este logro tan importante en esta etapa de mi vida.

A mis amigos y compañeros, que de forma directa o indirecta me han ayudado a salir adelante, compartiendo conmigo su afecto y apoyo.

“La adquisición de cualquier conocimiento es siempre útil al intelecto, que sabrá descartar lo malo y conservar lo bueno”.

GERARDO JOSUÉ BOLAÑOS CASTILLO

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de culminar mi experiencia universitaria con fortaleza, ánimos, confianza, determinación y sabiduría.

A mi madre, mi padre y mis hermanas, por haber estado a mi lado durante todo período académico, aconsejándome y apoyándome en todo momento de mi carrera.

A mis compañeros de tesis, por el arduo trabajo que nos tomó concluir este proyecto académico.

A mis amigos, por ayudarme a mantener mi fortaleza y orientarme siempre hasta el final para concluir este gran logro en mi vida y por aquellos que nos ayudaron de buena manera en el proceso.

A los asesores que fueron nuestras guías durante todo el trayecto del trabajo de graduación.

ERICK GREGORIO REYES MAGAÑA

DEDICATORIA

A Dios todopoderoso, por darme la fuerza, determinación y paciencia para lograr la finalización de este trabajo y por todas las bendiciones recibidas hasta el día de hoy.

A mi madre, padre y hermanos por su incondicional apoyo y contribución a la formación de mi carácter por medio de la disciplina, perseverancia, responsabilidad y coraje, que han hecho posible la culminación de mi formación académica universitaria.

A mis compañeros de trabajo de graduación, por no rendirse durante el camino que nos llevó terminar este proyecto, con la adquisición de conocimiento y nuevas experiencias en nuestras vidas.

A todos mis amigos y demás familiares que se involucraron de alguna manera en el trayecto de mi formación académica y que gracias a ellos también logré finalizar satisfactoriamente mi carrera universitaria.

ABNER ALEXIS MARTÍNEZ RIVAS

RESUMEN

El plasma es un estado de la materia, que se obtiene al calentar a altas temperaturas una sustancia gaseosa, como el hidrógeno o deuterio, si ésta sustancia en se calienta, se produce un cambio, los átomos comienzan a desprenderse de sus electrones, esto genera ionización y se forma un plasma.

Para realizar el proceso de corte por plasma se utilizan gases como argón, nitrógeno y aire. Para proceder a la generación de éste estado, se requiere de un generador de alta frecuencia alimentado por energía eléctrica.

El mecanismo desarrollado para realizar el corte por plasma, se basa en un sistema cartesiano, con el objetivo de desplazarse en tres direcciones, conocidas como ejes "X", "Y" y "Z". Éste mecanismo es movilizado por motores paso a paso, conectados a un ordenador, donde se controla el movimiento del sistema de corte por plasma.

Con el sistema electrónico y el software seleccionado se facilita la operación de corte de forma automática y precisa, desarrollando figuras más complejas y reduciendo tiempos en el proceso.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁG.
INTRODUCCIÓN	1
LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS.....	3
LISTA DE SÍMBOLOS	4
1. MARCO TEÓRICO	5
1.1. EL PLASMA	5
1.1.1. Antecedentes del plasma	6
1.1.2. Fundamentos del plasma	7
1.1.3. Tipos de plasma	9
1.1.4. Parámetros del plasma.....	11
1.1.5. Dispositivos para generación de plasma	14
1.1.6. Variables del proceso del corte por plasma.....	14
1.1.7. El corte por plasma.....	15
1.1.8. Corte del metal por plasma.....	17
1.1.9. Secuencia de operación de un sistema de corte por plasma ..	18
1.1.10. Variantes del proceso de corte por plasma	21
1.1.11. Velocidades y espesores de corte por plasma	24
1.1.12. Especificaciones de la antorcha para corte por plasma	26
1.1.13. Distancia de la antorcha hacia la pieza	27
1.2. MANIPULADORES	28
1.2.1. Robótica	29
1.2.2. Anatomía del robot	29
1.2.3. Clasificación de los robots	30
1.2.4. Definición de manipulador	31
1.2.5. Configuraciones del Brazo manipulador	33
1.2.6. Principales características de los manipuladores	37

1.2.7.	Movimientos del robot manipulador.....	43
1.2.8.	Plan de notaciones de las articulaciones.....	48
1.3.	CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO (CNC).....	50
1.3.1.	Historia del CNC.....	50
1.3.2.	Funcionamiento.....	53
1.3.3.	Tipos de automatización.....	55
1.3.4.	Tipos de CAD.....	56
1.3.5.	Programación.....	58
1.3.6.	Tipos de programación.....	59
1.3.7.	Lenguaje de programación ISO.....	61
1.4.	CONTROLADOR CNC.....	80
1.4.1.	Tipos de controladores.....	81
1.5.	CONTROL DE ARTICULACIONES.....	83
1.5.1.	Tipos de actuadores de articulaciones.....	83
1.5.2.	Motores paso a paso.....	83
1.5.3.	Introducción a los Servomotores.....	96
2.	DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS.....	109
2.1.	DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO.....	109
2.1.1.	Descripción del sistema.....	110
2.1.2.	Diseño de la Estructura.....	111
2.1.3.	Análisis.....	112
2.1.4.	Diseño de los ejes direccionales al movimiento del porta pistola, barras guías, tornillos de potencia y rodamientos.....	117
2.1.5.	Diseño para el movimiento en el eje X.....	117
2.1.6.	Diseño para el movimiento en el eje Y.....	126
2.1.7.	Diseño del movimiento en el eje Z.....	131
2.1.8.	Soportes, barras guías, carros y porta pistola.....	134
2.2.	SELECCIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.....	138
2.2.1.	Sistema de control para los ejes x, y, z.....	139
2.2.2.	Tarjeta Principal.....	140

2.2.3.	Controlador de altura de la Antorcha o pistola (THC).....	143
2.2.4.	Conexión de poder	145
2.2.5.	Descripción de las salidas de los relés.....	147
2.2.6.	Puesta en marcha y funcionamiento	149
2.2.7.	Software a utilizar Mach3	152
2.2.8.	Requisitos del sistema.....	153
2.2.9.	Configuración	153
2.2.10.	Afinación de motores (Tuning motors).....	156
2.2.11.	Controles del programa MACH3.....	160
2.2.12.	Procedimiento para realizar el código G y ejecución del programa Mach3	166
3.	CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS	172
3.1.	OPERACIONES TECNOLÓGICAS REALIZADAS EN LA CONSTRUCCIÓN.....	173
3.2.	DESCRIPCIÓN DEL MONTAJE MECÁNICO	176
3.3.	INSTALACIÓN DE LOS COMPONENTES ELECTRÓNICOS.....	181
3.4.	PRUEBAS	183
4.	COSTOS Y PRESUPUESTO	187
4.1.	COSTOS	187
4.2.	PRESUPUESTO	187
	CONCLUSIONES	189
	BIBLIOGRAFIA	190
	Anexo 1: Especificaciones técnicas del motor paso a paso NEMA 23	191
	Anexo 2: Manual del Operador del Sistema de Corte por Plasma.....	192
	Anexo 3: Manual de Operador Spectrum 635 y Antorcha ICE-40C	199
	Anexo 4: Manual de operación del control de altura de la antorcha de plasma (THC)	2200
	Anexo 5: Planos de diseño	232

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Dinámica de partículas en el gas y en el plasma.....	15
Figura 2. Señal de arranque.	18
Figura 3. Activación del circuito de alta frecuencia	19
Figura 4. Apertura del relevador del arco piloto.	20
Figura 5. Comienzo del proceso de corte por plasma.....	20
Figura 6. Corte por plasma de un solo gas.	21
Figura 7. Corte por plasma de dos gases.	22
Figura 8. Corte por plasma con protección de agua.	22
Figura 9. Corte por plasma con inyección de agua.....	23
Figura 10. Corte por plasma de precisión.	24
Figura 11. Espesores nominales a 40 A (240 V).....	24
Figura 12. Espesores nominales a 27 A (120 V).....	25
Figura 13. Detalles de las partes de la antorcha.....	26
Figura 14. Terminología del arco de plasma convencional.....	27
Figura 15. Técnica manual del uso de la antorcha de corte por plasma.....	28
Figura 16. Equivalencia de un brazo humano con uno robótico.	30
Figura 17. Configuraciones del brazo manipulador: a) Cartesiano, b) Cilíndrico, c) Esférico o Polar, d) SCARA, e) Angular o antropomórfico.	33
Figura 18. Esquema de Brazo manipulador cartesiano.	33
Figura 19. Configuración cartesiana	33
Figura 20. Configuración Cilíndrica.....	34
Figura 21. Esquema del brazo manipulador cilíndrico	34
Figura 22. Configuración polar.....	35
Figura 23. Esquema del brazo manipulador polar	35
Figura 24. Configuración angular.....	36
Figura 25. Esquema del brazo manipulador angular	36
Figura 26. Esquema del brazo manipulador SCARA.....	37
Figura 27. Configuración SCARA	37
Figura 28. Volumen de trabajo de un manipulador cartesiano.....	38
Figura 29. Volumen de trabajo de un manipulador cilíndrico	39
Figura 30. Volumen de trabajo. Robot tipo SCARA, polar y brazo articulado	39
Figura 31. Precisión del actuador	40
Figura 32. Tipos de articulaciones utilizadas en los robots.....	45
Figura 33. Tres grados de libertad asociados con el brazo y el robot polar	47
Figura 34. Tres grados de libertad asociados con la muñeca del robot.....	48
Figura 35. Primeros controladores numéricos computarizados.	51
Figura 36. Torno CNC.....	53
Figura 37. Manipulador cartesiano de corte por plasma CNC.	54

Figura 38. Diagrama para hacer una pieza CNC	55
Figura 39. Trayectoria G08.	69
Figura 40. Trayectoria G09.	69
Figura 41. Trayectoria Imagen Espejo.	70
Figura 42. Redondeo controlado de aristas.	71
Figura 43. Entrada tangencial.	72
Figura 44. Salida Tangencial.	72
Figura 45. Achaflanado	73
Figura 46. Rotación del sistema de coordenadas	76
Figura 47. Controlador CNC.	80
Figura 48. Cortes de máquinas de reluctancia variable. a) Saliente simple. b) Dos fases de saliente doble.	85
Figura 49. Motor de reluctancia variable de 4 fases y 5 dientes.	86
Figura 50. Motores paso a paso de imán permanente. a) una fase. b) dos fases	88
Figura 51. Motor de paso híbrido	89
Figura 52. Motor de paso NEMA 23 (conjunto).....	93
Figura 53. Dimensiones y alambrado del motor paso a paso NEMA 23.....	95
Figura 54. Conexión del motor e identificación del alambrado.	95
Figura 55. Componentes de un servo: carcasa; motor DC; potenciómetro; circuito de control; tren reductor; brazo (elemento terminal en el eje)	97
Figura 56. PWM para recorrer todo el rango de operación del servo.	99
Figura 57. Tren de pulsos para control del servo.....	101
Figura 58. Otra posibilidad de pulsos de control.	101
Figura 59. Colores de los cables de los principales fabricantes de servos.	101
Figura 60. Diagrama de pulsos PWM para controlar servos.....	102
Figura 61. Recepción y distribución de pulsos PWM para controlar servos.	103
Figura 62. Controlador Mini SSC II	104
Figura 63. Controlador SSC-32.....	105
Figura 64. Conexiones entre SSC-32 y tarjeta modem bluetooth	106
Figura 65. Controlador Arduino.....	107
Figura 66. Arduino UNO.	108
Figura 67. Modelo del manipulador.....	110
Figura 68. Ajuste de las platinas sobre el manipulador.....	111
Figura 69. Distribución de fuerzas sobre la mesa.....	112
Figura 70. Flexión en las patas de la mesa.	116
Figura 71. Direccionamiento de los ejes en la mesa.....	117
Figura 72. Perfil de la mesa respecto al eje X.....	118
Figura 73. Reacciones en los apoyos de la barra guía del eje X.	119
Figura 74. Esquema para el análisis de deflexión.....	120
Figura 75. Perfil de la mesa respecto al eje Y.....	127
Figura 76. Reacciones en los apoyos de la barra guía del eje Y.	127

Figura 77. soporte del tornillo de potencia y las barras guías en el eje x.....	135
Figura 78. Análisis de Von Misses sobre el soporte en Z	136
Figura 79. Análisis de desplazamiento en el soporte en Z.....	136
Figura 80. Soporte del tornillo de potencia y las barras guías en el eje y	137
Figura 81. Análisis de Von Misses sobre el soporte en Y.	138
Figura 82. Sistema de control	139
Figura 83. Tarjeta Xylotex. Foto tomada del equipo a utilizar.	141
Figura 84. Esquema de la tarjeta	142
Figura 85. Proceso de control de ignición de plasma.	143
Figura 86. diagrama general de THC.....	144
Figura 87. Conexión de poder.....	146
Figura 88. Conexión de salida de voltaje plasma.....	146
Figura 89. salida de conexión hacia tarjeta controladora.....	147
Figura 90. Conexión correcta con sistema CNC.	149
Figura 91. Algoritmo de trabajo de la THC.....	149
Figura 92. Visualización en pantalla.	150
Figura 93. Visualización de Voltaje de Histéresis.	151
Figura 94. Visualización de tiempo de retardo.	151
Figura 95. Visualización de alto voltaje.....	151
Figura 96. Visualización de test.	152
Figura 97. Interfaz Mach3.	153
Figura 98. Configuración.....	154
Figura 99. Configuración de unidades.	155
Figura 100. Configuración de puertos y selección de ejes.....	155
Figura 101. Configuración de pines.	156
Figura 102. Configuración del motor eje X.....	159
Figura 103. Configuración del motor eje Y.....	160
Figura 104. Habilitación modo plasma.....	160
Figura 105. Pantalla de control principal.....	161
Figura 106. Cuadro de visualización código G.	161
Figura 107. Visualización de la posición de la antorcha plasma.....	162
Figura 108. Visualización del diagnostic.	163
Figura 109. Visualización del MDI.....	164
Figura 110. Limit Switch.....	165
Figura 111. Configuración de pines para limit switch.....	166
Figura 112. Archivo DXF creado.....	168
Figura 113. Visualización del programa LazyCam.....	168
Figura 114. Archivo .DXF cargado en LazyCam.....	169
Figura 115. Configuración de la altura G00 y la velocidad de corte de la herramienta.....	169
Figura 116. Generación de Código G.	170
Figura 117. Cargar archivo G-code en Mach3.....	171

Figura 118. Archivo G-code cargado en Mach3.....	171
Figura 119. Estructura de la mesa con sistema mecánico incorporado.....	176
Figura 120. Tornillos de potencia. a) vista de la rosca del tornillo. b) Extremo del tornillo de potencia.....	177
Figura 121. Tornillos de potencia con tuerca.....	178
Figura 122. Soportes para los tornillos de potencia.....	179
Figura 123. Ensamble de los tornillos de potencia y las barras guías.....	180
Figura 124. Motor instalado en el eje Z, acople y soporte de los motores.....	181
Figura 125. Tarjeta de puerto paralelo (BOB).....	182
Figura 126. THC.....	182
Figura 127. Circuito de instalación de los controladores y dispositivos electrónicos.....	183
Figura 128. Puesta en marcha realizando el corte por plasma.....	184
Figura 129. Vista el arco al momento del corte.....	185
Figura 130. Imágenes de la puesta en marcha del sistema.....	185
Figura 131. Pruebas del corte por plasma.....	186

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Espesores y velocidades de corte a 240V.....	24
Tabla 2. Espesores y velocidades de corte a 120V.....	25
Tabla 3. Plan de notaciones para designar las configuraciones del robot.....	49
Tabla 4. Instrucciones de movimiento o preparatorias (funciones G).....	62
Tabla 5. Funciones auxiliares M.....	66
Tabla 6. Parámetros del THC.....	145
Tabla 7. Equipo utilizado para la construcción.....	172
Tabla 8. Inventario de elementos necesarios para la máquina.....	172
Tabla 9. Operaciones tecnológicas realizadas para los elementos.....	173
Tabla 10. Presupuesto general sobre la construcción del sistema cartesiano.....	188

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se exponen los conceptos básicos, teóricos y complementarios necesarios para el proyecto del diseño y construcción de un manipulador para corte por plasma usando técnicas de Control Numérico Computarizado (CNC).

En el primer capítulo se definen los conceptos y principios básicos del comportamiento del plasma, tanto sus diferentes utilizaciones como también su utilidad y factibilidad en el proceso de corte del metal; se detallan los parámetros necesarios para poder generar el estado en cuestión, incluyendo así todas las variables que se requieren controlar para lograr el proceso. Se exponen otros procesos de corte los cuales podrían ser alternativos al proceso del corte por plasma.

También se presentan los diferentes métodos de movimiento controlado que puede haber, desde las primeras ideas, hasta como ha venido evolucionando a la actualidad, incluyendo así las diferentes articulaciones o movimientos referidos a diferentes planos de aplicación, de los cuales se ha seleccionado el movimiento cartesiano para el control del sistema en estudio.

Con el software apropiado y de fácil acceso y manipulación, tomando en cuenta los códigos G, M, etc... Y de igual forma los controladores electrónicos necesarios para poder enlazar el programa seleccionado con la maquina desarrollada, utilizando una tarjeta Arduino para los controladores de los componentes electrónicos, como lo son los motores paso a paso.

Generalmente en la primera parte se exponen la investigación recabada para tener un soporte justificado sobre la elección de cada sistema,

componente, mecanismo, programas, etc... necesarios para respaldar la completa e íntegra realización del proyecto.

El segundo capítulo despliega las consideraciones que se tomaron en cuenta para diseñar el sistema cartesiano, se prosiguió a hacer los cálculos necesarios para éste y que no presentaran fallas, para así funcionar en condiciones óptimas. Se diseñó el control electrónico, seleccionando los componentes adecuados, tarjeta madre, computadora, arduino, motores paso a paso y todo lo necesario para poder controlar el flujo de plasma mediante el software seleccionado con el Control de Altura de Antorcha (THC). Se realizaron los planos respectivos para la fabricación del sistema para corte por plasma.

Seguidamente se selecciona el sistema de control apropiado para poder movilizar la máquina de forma automática, con el software Mach 3 que se utiliza para enlazar el sistema cartesiano con la computadora, de forma que éste programa genera el código de la figura a realizar, para luego ser procesada por la máquina.

En el tercer capítulo se muestra el proceso de construcción y manufactura del sistema cartesiano, también el proceso de selección y modo de conexión del sistema electrónico. Se detalla el procedimiento, recursos utilizados y la forma en que se iban ensamblando; la conexión de los componentes electrónicos, compatibilidad con el software seleccionado y finalmente las pruebas realizadas luego de terminado el sistema.

LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

CERN	Organización Europea para la Investigación Nuclear
RIA	Asociación de Industrias de Robótica
ISO	Organización Internacional de Estándares
MIT	Instituto de Tecnología de Massachusetts
SCARA	Brazo Compatible Selectivo para Montaje Robótico
CN	Control Numérico
DNC	Control Numérico Directo
CNC	Control Numérico Computarizado
PLC	Controlador Lógico Programable
MHCN	Máquinas Herramientas de Control Numérico
CAD	Diseño Asistido por Computadora
CAM	Fabricación Asistida por Computadora
USB	Bus en Serie Universal
ARCNET	Red de Recursos de Computador Conectado
CAN-Bus	Bus de Control de Red
ControlNet	Red de Control
NEMA	Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos
PWM	Modulación por Anchura de Pulso
BOB	Tarjeta de Puerto Paralelo
THC	Controlador de altura de la Antorcha

LISTA DE SÍMBOLOS

λ_D	Longitud de Debye
k	Constante de Boltzmann $\sim 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
n_e	Densidad de electrones
T	Temperatura
ω_p	Frecuencia de plasma
m_e	Masa del electrón
v_{Te}	Velocidad térmica de los electrones
Γ	Parámetro del plasma
σ	Esfuerzo normal
M	Momento flector
I	Momento de inercia
η	Factor de seguridad
S_y	Fluencia del material

1. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se definen los conceptos y principios básicos del comportamiento del plasma, tanto sus diferentes utilidades como también su utilidad y factibilidad en el proceso de corte del metal; se detallan los parámetros necesarios para poder generar el estado en cuestión, incluyendo así todas las variables que se requieren controlar para lograr el proceso.

También se presentan los diferentes métodos de movimiento controlado que puede haber, desde las primeras ideas, hasta como ha venido evolucionando a la actualidad, incluyendo así las diferentes articulaciones o movimientos referidos a diferentes planos de aplicación, de los cuales se ha seleccionado el movimiento cartesiano para el control del sistema en estudio.

Con el software apropiado y de fácil acceso y manipulación, tomando en cuenta los códigos G, M, etc... Y de igual forma los controladores electrónicos necesarios para poder enlazar el programa seleccionado con la máquina desarrollada.

1.1. EL PLASMA

La disciplina hoy denominada física del plasma nació de la convergencia entre dos líneas de investigación originadas en el siglo XIX. Por un lado, el estudio riguroso de las descargas eléctricas fue iniciado en Inglaterra por Michael Faraday y continuado después por Joseph John Thomson, William Crookes y Sealy Edward Townsend. En 1923 Irving Langmuir observó que los gases ionizados presentes en una descarga respondían colectivamente a las perturbaciones externas. Esta cualidad, análoga a la de los plasmas sanguíneos, le llevó a adoptar el término plasma para referirse a estos sistemas.

1.1.1. Antecedentes del plasma

La tecnología de uniones de piezas metálicas por arco eléctrico vio sus éxitos en 1930 al construir un barco totalmente soldado en Carolina del Sur en Estados Unidos, años después se introdujo mejoras en el proceso como corriente alterna, y se utilizó protección como fundente granulado.

En los años 40 se introdujo el primer proceso con protección gaseosa empleando un electrodo no consumible de wolframio y helio como gas protector, recibió el nombre de TIG (*Tungsten Inert Gas*).

La otra columna sobre la que descansa la física del plasma proviene de los estudios sobre el comportamiento de fluidos conductores bajo la influencia de campos electromagnéticos.

Esta disciplina, llamada magnetohidrodinámica, fue desarrollada inicialmente por Faraday y André-Marie Ampère. En el siglo XX la magnetohidrodinámica permitió estudiar fenómenos observados en el Sol y en la ionósfera terrestre. Por ejemplo, las ondas magnetohidrodinámicas, hoy llamadas ondas de Alfvén en honor al físico sueco Hannes Alfvén, fueron introducidas por él en 1942. Esta aportación fue premiada con el premio Nobel de física en 1970, único premio Nobel concedido hasta hoy por trabajos en la física del plasma.

Tras la Segunda Guerra Mundial el creciente interés en desarrollar reactores de fusión que proporcionaran una energía limpia, segura y barata alimentó un rápido avance de la física del plasma, esencial para entender el comportamiento de un gas a las altas temperaturas necesarias en el interior de tales dispositivos. A pesar del optimismo inicial, la fusión nuclear aún no ha logrado cumplir sus promesas, principalmente debido a la existencia de inestabilidades antes desconocidas en el plasma. Sin embargo, la comunidad

científica espera que el Reactor Termonuclear Experimental Internacional (ITER) logre eliminar tales inestabilidades y opere sostenidamente en condiciones energéticamente rentables de fusión.

En 1954, científicos descubren que al aumentar el flujo del gas y reducir la abertura de la boquilla utilizada en la soldadura TIG, se obtiene un chorro de plasma. Este chorro es capaz de cortar metales, lo que dio lugar al proceso de corte por plasma conocido hoy en día.

Actualmente la física del plasma es una disciplina madura y extensa. Sus herramientas son imprescindibles en la investigación astrofísica y geofísica; sus aplicaciones tienen una gran importancia económica y van desde la mencionada fusión nuclear hasta el tratamiento de materiales mediante descargas eléctricas. Otros usos industriales son el grabado de circuitos electrónicos y la purificación de emisiones contaminantes.

1.1.2. Fundamentos del plasma

Plasma es un estado de la materia, que se obtiene al calentar, a altas temperaturas una sustancia gaseosa, como el hidrógeno o deuterio. A estas temperaturas, aproximadamente a miles de grados Celsius, los electrones de los átomos del gas, en estado neutral, son excitados y separados del núcleo atómico. Los electrones, cargas elementales negativas, y los núcleos ionizados, ahora con carga positiva, se mezclan, cuya carga total sigue siendo neutra, pues tiene en promedio la misma cantidad de cargas negativas y positivas, pero tiene estas cargas eléctricas libres en movimiento, por lo que desde fuera se puede ver que se comporta como un fluido neutral. No se toma en cuenta como plasma a los gases débilmente ionizados, como las llamas de las velas.

Se le ha llamado el cuarto estado de la materia porque, en general, equivale a un estado de mayor energía. Una sustancia suficientemente fría se presenta en estado sólido, es decir, tiene una forma específica e internamente se caracteriza por el hecho de que los átomos que la constituyen se encuentran firmemente unidos. Al calentar la sustancia la unión entre los átomos se hace más débil debido a la agitación térmica y la sustancia pasa a otro estado que se conoce como líquido, en el que ya no tiene una forma específica pero ocupa un volumen definido. Al seguir calentando la sustancia sus átomos pueden llegar a liberarse completamente de las ligas mutuas y entonces pasa a un estado de gas, en el que ya no tiene forma ni volumen fijos, sino que dependen de los del recipiente que la contiene. Si esta sustancia se calienta aún más se producen un nuevo cambio, ahora ya en el interior de los átomos, los cuales empiezan a desprenderse de sus electrones; esto es, se ionizan y se forma un plasma. Conforme el material se calienta más, sus átomos se mueven con mayor rapidez y al chocar unos con otros en gran agitación puede originarse el desprendimiento de algunos de sus electrones orbitales, quedando así los átomos ionizados y algunos electrones libres. Por encima de los 10 000 Kelvin (K), cualquier sustancia ya es un plasma.

Sin embargo, es importante destacar que el estado de plasma no implica necesariamente altas temperaturas; la ionización de un material puede producirse por diversos medios. Se pueden producir plasmas por descargas eléctricas; si a un gas ordinario se le aplica un campo eléctrico muy fuerte pueden desprenderse algunos de los electrones orbitales, quedando estos átomos ionizados y algunos de sus electrones libres. Estos electrones libres serán acelerados por el campo eléctrico y chocarán con otros átomos, desprendiendo algunos de sus electrones, y así el proceso continúa como una

avalancha. Esto es lo que se llama una descarga eléctrica, y un gas ionizado por una descarga eléctrica es un típico caso de un plasma. Tales plasmas se producen en forma natural con los relámpagos o en forma artificial en las lámparas fluorescentes y los tubos de neón.

Otra forma de obtener un plasma es por medio de la absorción de fotones. Los fotones, que son las partículas de la luz, también desprenden electrones de los átomos cuando chocan con ellos; a este proceso se le llama fotoionización. La mayor parte del plasma que llena el espacio en el Universo ha sido producido por fotoionización, por la luz ultravioleta de las estrellas.

Así pues, cualquier sustancia puede encontrarse en estado de plasma siempre que se den las condiciones para que toda ella o sólo una parte se encuentre ionizada. En la naturaleza existen plasmas que tienen temperaturas tan altas como 1, 000, 000,000 K o tan bajas como 100 K.

La densidad de los plasmas naturales también varía enormemente; los hay tan tenues que contienen menos de un par electrón-ion por centímetro cúbico y tan densos que llegan a tener del orden de 10^{25} pares electrón-ion por centímetro cúbico. La mayor parte del plasma en el Universo es hidrógeno, pues éste es, con mucho, el elemento más abundante. El núcleo del hidrógeno tiene una sola carga positiva, está constituido por un solo protón y por lo tanto tiene únicamente un electrón. En un plasma de hidrógeno totalmente ionizado se tienen, pues, protones y electrones libres que, aunque eléctricamente neutra, no llega a constituirse en átomos.

1.1.3. Tipos de plasma

Plasma común: las capas de electrones de los átomos son parcialmente deterioradas (debido a una alta temperatura o presión). Los electrones libres

son responsables de las características plasmáticas de la sustancia en cuestión.

Plasma termonuclear: las capas electrónicas de los átomos no existen, la sustancia es una mezcla de núcleos positivos y electrones libres. En este estado se encuentran el plasma en los núcleos de las estrellas.

Plasma de nucleones: debido a las altas temperaturas, los mismos núcleos atómicos son despedazados. La materia es una mezcla de electrones, protones y neutrones. Los plasmas nucleónicos se manifestaron a los 10^{-5} segundos después del comienzo del Universo, donde los quarks crearon los primeros protones y neutrones. Se encuentra también este tipo de plasma en las capas exteriores de una supernova explotando, donde su comienzo desarrolla una onda de choque de gas presionado. En esta capa por un corto tiempo se dan lugar disturbios en las reacciones termonucleares, que dan lugar a elementos pesados.

Plasma de Quarks-Gluones: en altas energías, los nucleones mismos se desmenuzan en sus constituyentes: los quarks, y los gluones. En ese estado se encontraba la materia quizá hasta el primer décimo de microsegundo después del comienzo del Universo y artificialmente se logró reproducir este estado de la materia en la Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN) en el año 2000.

En la naturaleza es muy común observar el plasma, el 99% del Universo visible está en algún estado de plasma, como los relámpagos, nebulosas, el Sol y otras estrellas, cada una entra en alguna clasificación del plasma, anteriormente mencionadas.

Ya que el plasma es conductor, y responde bien a campos eléctricos y magnéticos, como ya se mencionó anteriormente, puede utilizarse como una

fuente eficiente de radiación, en aplicaciones en los que se requiera una fuente especial de energía o de radiación, y además de un alto control de éste.

El estudio del plasma se está desarrollando en todas partes del mundo, pues tiene muchas aplicaciones en varias áreas, como en la medicina, en la química, en la astrofísica, física espacial, energía termonuclear, en la industria (como lámparas), entre muchas otras. Más específicamente tiene aplicaciones como: corte de metales, pantallas de computadoras y televisores, proyectores digitales, creación de diamantes, desintegración de basura, energía nuclear.

1.1.4. Parámetros del plasma

Puesto que existen plasmas en contextos muy diferentes y con características muy diversas, la primera tarea de la física del plasma es definir apropiadamente los parámetros que deciden el comportamiento de un plasma. El conocimiento de estos parámetros permite al investigador escoger la descripción más apropiada para su sistema. Los principales parámetros son los siguientes:

➤ Neutralidad y especies presentes

Generalmente un plasma está formado por igual número de cargas positivas y negativas, lo que anula la carga total del sistema. En tal caso se habla de un plasma neutro o casi-neutro. También existen plasmas no neutros, como el flujo de electrones dentro de un acelerador de partículas, pero requieren algún tipo de confinamiento externo para vencer las fuerzas de repulsión electrostática.

Los plasmas más comunes son los formados por electrones e iones. En general puede haber varias especies de iones dentro del plasma, como

moléculas ionizadas (cationes) y otras que han capturado un electrón y portan una carga negativa (aniones).

➤ Longitudes

La longitud de Debye o de apantallamiento electromagnético, λ_D determina el rango típico de las interacciones electrostáticas de una determinada especie. Si se supone una cierta carga positiva presente en un plasma de electrones e iones. Los electrones serán atraídos y formarán una capa de carga negativa alrededor de ella. A partir de cierta distancia la carga habrá quedado neutralizada y no tendrá efectos apreciables. La longitud de Debye es una estimación de esta distancia. En un gas de electrones de densidad n_e y temperatura T se tiene:

$$\lambda_D = (kT/4\pi n_e^2)^{1/2} \quad \text{Ec. 1} \quad ; \text{ donde } k \text{ simboliza la constante de Boltzmann.}$$

Otra longitud importante en un plasma es el camino libre medio o la distancia media entre colisiones. Este parámetro y su comparación con la longitud de Debye determinan la importancia que se ha de dar a las colisiones en el modelado del sistema.

➤ La frecuencia de plasma

Así como la longitud de Debye proporciona una medida de las longitudes típicas en un plasma, la frecuencia de plasma (ω_p) describe sus tiempos característicos. Supóngase que en un plasma en equilibrio y sin densidades de carga se introduce un pequeño desplazamiento de todos los electrones en una dirección. Éstos sentirán la atracción de los iones en la dirección opuesta, se moverán hacia ella y comenzarán a oscilar en torno a la posición original de

equilibrio. La frecuencia de tal oscilación es lo que se denomina frecuencia de plasma. La frecuencia de plasma de los electrones es:

$\omega_{pe} = (4\pi n_e e^2 / m_e)^{1/2}$ Ec. 2 ; donde m_e es la masa del electrón y e su carga.

➤ Temperatura: velocidad térmica

Por lo general las partículas de una determinada especie localizadas en un punto dado no tienen igual velocidad: presentan por el contrario una distribución que en el equilibrio térmico es descrita por la distribución de Maxwell-Boltzmann. A mayor temperatura, mayor será la dispersión de velocidades (más ancha será la curva que la representa).

Una medida de tal dispersión es la velocidad cuadrática media que, en el equilibrio, se denomina también velocidad térmica. Es frecuente, aunque formalmente incorrecto, hablar también de velocidad térmica y de temperatura en plasmas lejos del equilibrio termodinámico. En tal caso, se menciona la temperatura que correspondería a una velocidad cuadrática media determinada. La velocidad térmica de los electrones es:

$$v_{Te} = (kT_e / m_e)^{1/2} \quad \text{Ec. 3}$$

➤ El parámetro de plasma

El parámetro de plasma (Γ) indica el número medio de partículas contenidas en una esfera cuyo radio es la longitud de Debye (esfera de Debye). La definición de plasma, según la cual la interacción electromagnética de una partícula con la multitud de partículas distantes domina sobre la interacción con los pocos vecinos próximos, puede escribirse en términos del parámetro de plasma como $\Gamma \gg 1$. Esto es: hay un gran número de partículas contenidas en

una esfera de Debye. Es común referirse a esta desigualdad como “condición de plasma”.

Algunos autores adoptan una definición inversa del parámetro de plasma ($\gamma = 1/\Gamma$), con lo que la condición de plasma resulta ser $\gamma \ll 1$. El parámetro de plasma de los electrones es:

$$\Gamma = (4\pi/3)n_e\lambda_D^3 \quad \text{Ec. 4}$$

1.1.5. Dispositivos para generación de plasma

El equipo necesario para aportar esta energía consiste en un generador de alta frecuencia alimentado por energía eléctrica, gas para generar la llama de calentamiento, y que más tarde se ionizará (argón, hidrógeno, nitrógeno), un electrodo y porta-electrodo que dependiendo del gas puede ser de tungsteno, hafnio o circonio, y por supuesto la pieza a mecanizar.

1.1.6. Variables del proceso del corte por plasma

Para poder obtener un corte de calidad es necesario controlar las siguientes variables:

- a) Gases empleados,
- b) El caudal y la presión de los mismos,
- c) Distancia boquilla pieza,
- d) Velocidad del corte, y
- e) Energía empleada o intensidad del arco.

Las variables como el caudal, la presión del *gas-plasma*, la distancia *boquilla-pieza* y la velocidad del corte se pueden ajustar en las máquinas de corte por plasma existentes en el mercado según cada pieza a cortar. Su

calidad varía en función del control de esos parámetros para conseguir mejor acabado de las piezas y mayor productividad.

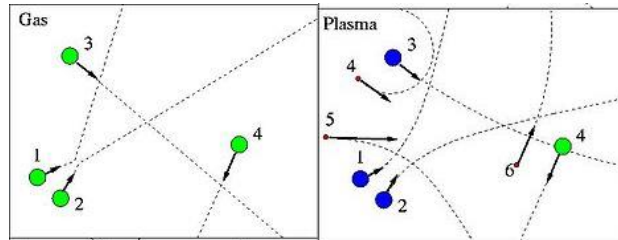


Figura 1. Dinámica de partículas en el gas y en el plasma [1].

1.1.7. El corte por plasma

Los principales gases que se utilizan como gases plasmágenos son, argón, nitrógeno y aire, o mezcla de estos gases, en general se utiliza el nitrógeno por su mejor comportamiento respecto a la calidad del corte y garantiza una durabilidad de la boquilla. El chorro del *gas-plasma* utilizado en el proceso se compone de dos zonas:

- *Zona envolvente*, que es una capa anular fría sin ionizar que envuelve la zona central. Al ser fría se consigue refrigerar la boquilla, aislarla eléctricamente y confinar el arco de la región de la *columna-plasma*.
- La *zona central*, que se compone por dos capas, una periférica constituida por un anillo de gas caliente no suficientemente conductor y la columna de plasma o el núcleo donde el *gas-plasma* presenta su más alta conductividad térmica, la mayor densidad de partículas ionizadas y las más altas temperaturas, entre 10.000 y 30.000 °C.

El arco generado en el proceso de corte por plasma se denomina arco transferido. Como su propio nombre lo indica, el arco se genera en una zona y es transferido a otra.

Por medio de un generador de alta frecuencia se consigue un arco entre el electrodo y la boquilla, este arco calienta el gas plasmágeno que hay en su alrededor y lo ioniza estableciendo un *arco-plasma*.

Gracias a la conductividad eléctrica es transferido hasta la zona de corte, mientras que el arco generado inicialmente, denominado arco piloto, se apaga automáticamente.

Una vez el *arco-plasma* está establecido, la pieza se carga positivamente mientras el electrodo se carga negativamente, lo que hace mantener el *arco-plasma* y cortar la pieza.

En ocasiones se puede generar el *arco-plasma* acercando la boquilla a la pieza. Este arco se denomina 'arco no transferido' y se genera entre el electrodo y la boquilla que está conectada al lado positivo de la fuente de corriente a través de una resistencia. Este tipo de arco se emplea más en procesos de soldadura.

➤ Corte por plasma por aire

En el año 1963 se introduce el corte por plasma por aire. El oxígeno del aire aumenta las velocidades de corte en un 25% en relación con el corte tradicional por plasma seco, sin embargo, también conlleva una superficie de corte muy oxidada y una rápida erosión del electrodo que está dentro de la boquilla de corte.

➤ Corte con inyección de agua

En 1968, Dick Couch, presidente de Hypertherm, inventa el corte con inyección de agua, un proceso que implicaba inyectar radialmente agua en la boquilla. El resultado final fue un corte mejor y más rápido, así como con menos escoria. Este proceso también utiliza como gas el nitrógeno, pero como protector utiliza una capa de agua.

➤ Corte con inyección de oxígeno

En 1983 se desarrolla una nueva técnica que implica la utilización de oxígeno como gas de corte y la introducción de agua por la punta de la boquilla. Este proceso denominado “corte por plasma con inyección de oxígeno” ayuda a solucionar los problemas del rápido deterioro de los electrodos y la oxidación del metal.

➤ Corte con doble flujo

Este es el sistema convencional o estándar, de alta velocidad que utiliza como *gas-plasma* nitrógeno y como gas protector puede emplearse dióxido de carbono o bien oxígeno.

1.1.8. Corte del metal por plasma

El proceso de corte por plasma, como se usa en el corte de metales, emplea este gas conductor para transferir la energía de una fuente eléctrica a través de una antorcha de corte por plasma al metal que se va a cortar.

El sistema básico de corte por arco de plasma consiste de una fuente de energía, un circuito iniciador del arco y una antorcha. Estos componentes del sistema suministran la energía eléctrica, la capacidad de ionización y el control del proceso necesarios para producir cortes de alta calidad en diferentes materiales.

La fuente de energía es una fuente de corriente continua (CC) constante. El voltaje en circuito abierto por lo general está en el rango de 240 a 400 VCD. La corriente de salida (amperaje) de la fuente de energía determina la velocidad y el espesor capaz de cortar el sistema. La principal función de la fuente de energía es suministrar la energía correcta para mantener el arco de plasma después de la ionización.

El circuito de arranque del arco es un circuito generador que produce un voltaje de CA de alta frecuencia de 5000 a 10 000 V a ~ 2 MHz. Este voltaje se utiliza para crear un arco de alta intensidad dentro de la antorcha a fin de ionizar el gas, produciéndose de esta manera el plasma.

La antorcha sirve de soporte para la boquilla y para el electrodo consumible y para refrigerar (con agua o gas) estas piezas. La boquilla y el electrodo constriñen y mantienen el chorro de plasma.

1.1.9. Secuencia de operación de un sistema de corte por plasma

La fuente de energía y el circuito de arranque del arco están conectados a la antorcha por un conjunto de cables y mangueras. A través de este conjunto de cables y mangueras se suministran a la antorcha el flujo de gas adecuado para iniciar y mantener el proceso siguiente:

1) Se envía una señal de arranque a la fuente de energía. Esto activa simultáneamente el voltaje en circuito abierto y el flujo de gas a la antorcha (ver Figura 2).

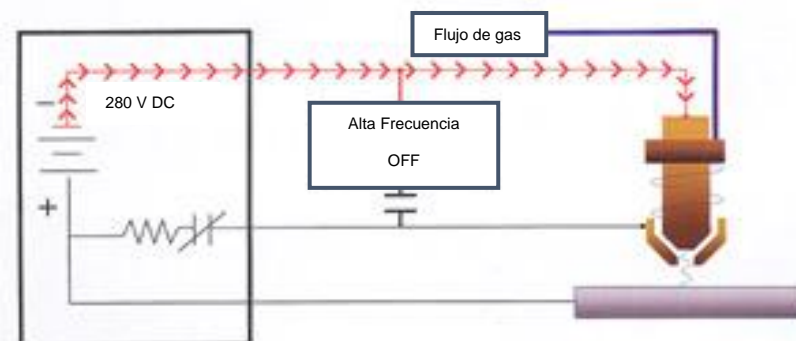


Figura 2. Señal de arranque^[2].

El voltaje en circuito abierto se puede medir entre el electrodo (-) y la boquilla (+). Obsérvese que la boquilla está conectada al positivo de la fuente

de energía por una resistencia y un contacto de relé (relé del arco piloto), mientras que el metal a cortar (pieza a cortar) está conectada directamente al positivo. El gas fluye a través de la boquilla y sale por el orificio. En ese momento no hay arco, ya que no hay paso de corriente a través de la fuente de voltaje CD.

2) Después de que el flujo de gas se estabiliza, se activa el circuito de alta frecuencia. La alta frecuencia provoca una descarga disruptiva (arco) entre el electrodo y la boquilla dentro de la antorcha, de modo que el gas pasa a través de este arco antes de salir de la boquilla. La energía transferida del arco de alta frecuencia al gas hace que el gas se ionice y se convierta en conductor. Este gas conductor crea un paso de corriente entre el electrodo y la boquilla, formando como resultado un arco de plasma. El flujo del gas fuerza a este arco a pasar a través del orificio de la boquilla, creando un arco piloto.

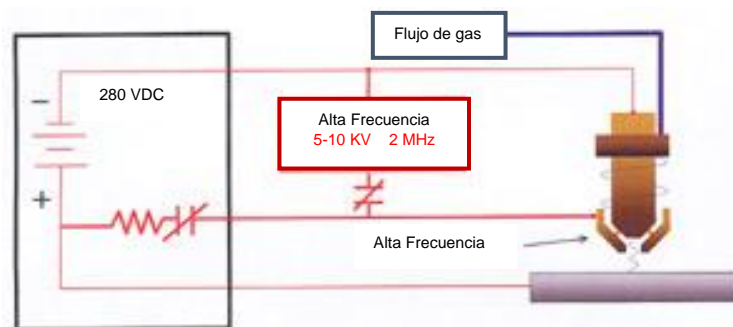


Figura 3. Activación del circuito de alta frecuencia [2]

3) Como se supone que la boquilla esté muy cerca de la pieza a cortar, el arco piloto alcanza la pieza a cortar, ya que el paso de la corriente al positivo (en la fuente de energía) no está limitado por una resistencia como lo está la conexión de la boquilla al positivo. El flujo de corriente a la pieza a cortar se censa electrónicamente en la fuente de energía. Al censar el flujo de

corriente, se inhabilita el circuito de alta frecuencia y se abre el relevador del arco piloto. La ionización del gas se mantiene con la energía del arco de CC principal.

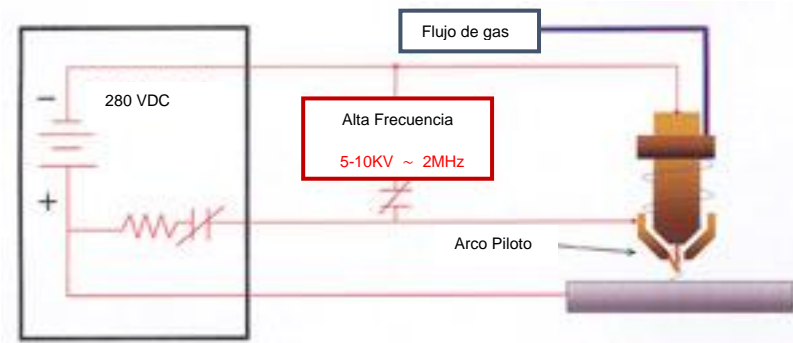


Figura 4. Apertura del relevador del arco piloto [2].

4) La temperatura del arco de plasma funde el metal, perfora la pieza a cortar y el flujo de gas a alta velocidad quita el material fundido del fondo de la sangría del corte. En este momento se inicia el movimiento de la antorcha y comienza el proceso de corte.

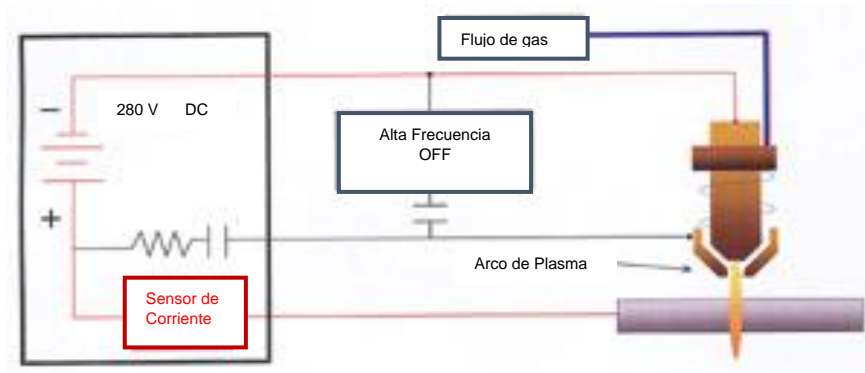


Figura 5. Comienzo del proceso de corte por plasma [2].

1.1.10. Variantes del proceso de corte por plasma

El corte por plasma puede tener diferentes formas de realizarse, dependiendo las condiciones y variables de trabajo que se requieran o se dispongan.

➤ Corte por plasma convencional

Este proceso utiliza por lo general un sólo gas (normalmente aire o nitrógeno) que enfría y produce el plasma. La mayoría de estos sistemas usan una corriente nominal menor de 100 A para cortar materiales de espesores inferiores de 15.88 mm (5/8 pulg). Se utilizan principalmente en aplicaciones manuales.

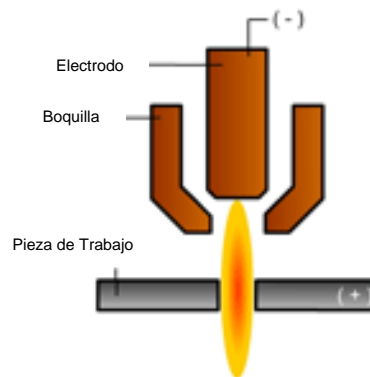


Figura 6. Corte por plasma de un solo gas [2].

➤ Corte por plasma de doble gas

Este proceso utiliza dos gases, uno para el plasma y otro como gas de protección. El gas de protección se utiliza para proteger el área de corte de la atmósfera, produciendo así un borde de corte más limpio. Esta es probablemente la variante más popular, ya que se pueden utilizar diferentes combinaciones de gases para producir la mejor calidad de corte posible en un material dado.

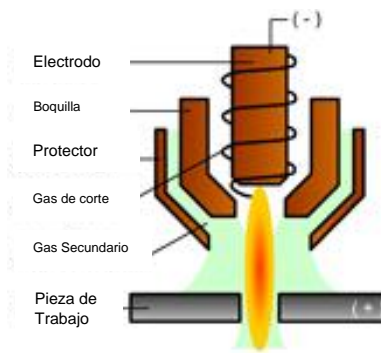


Figura 7. Corte por plasma de dos gases [2].

➤ Corte por plasma con protección de agua

Esta es una variante del proceso de doble gas, donde el gas de protección se sustituye por agua. Produce un mejor enfriamiento de la boquilla y la pieza a cortar, junto con una mejor calidad de corte en acero inoxidable. Este proceso es solamente para aplicaciones mecanizadas.

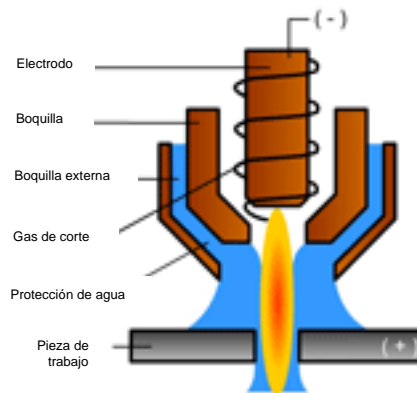


Figura 8. Corte por plasma con protección de agua [2].

➤ Corte por plasma con inyección de agua

Este proceso usa un solo gas para el plasma y utiliza agua, la que se inyecta radialmente o en espiral directamente en el arco para mejorar sobremanera la constricción del arco, y aumentar de este modo la densidad y temperatura del arco. Este proceso utiliza de 260 a 750 A para cortes de alta calidad en muchos materiales y espesores. Este proceso es solo para aplicaciones mecanizadas.

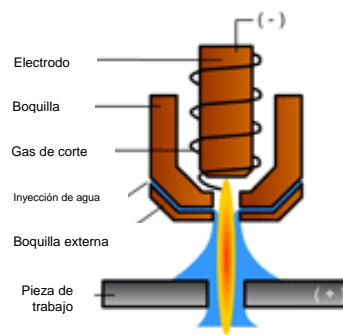


Figura 9. Corte por plasma con inyección de agua [2].

➤ Corte por plasma de precisión

Este proceso produce una calidad de corte superior en materiales más delgados (inferior a 12.7 mm) a velocidades más lentas. Esta calidad mejorada es el resultado de utilizar la última tecnología para súper constreñir el arco y aumentar considerablemente la densidad de energía. Se requieren velocidades más lentas para permitir al dispositivo de avance trazar contornos con mayor precisión. Este proceso es solo para aplicaciones mecanizadas.

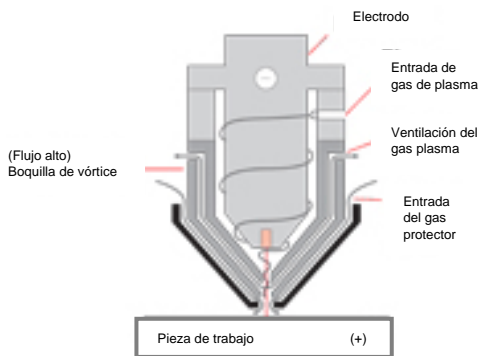


Figura 10. Corte por plasma de precisión [2].

1.1.11. Velocidades y espesores de corte por plasma

➤ Corte a 40 A (240V)

Con esta intensidad de corriente se logra una capacidad máxima de corte de de 7.9 mm (5/16 pulg) en procesos manuales.

Máxima separación de corte de 22.2 mm (7/8 pulg) a ~ 2.1 mm/s (5 pulg/min).

Para el aluminio y otros metales con alta conductividad térmica, la capacidad de corte puede reducirse hasta 30%.

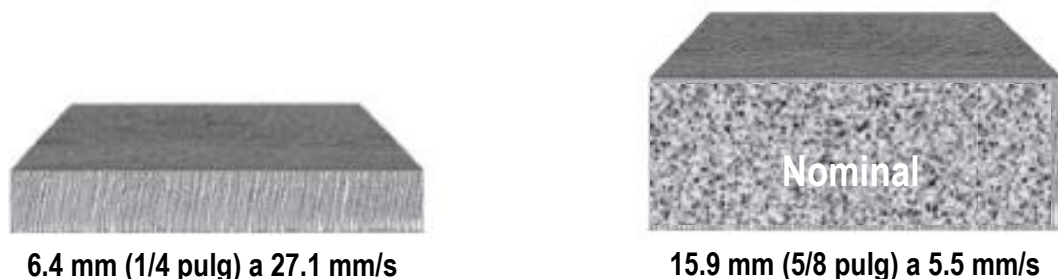


Figura 11. Espesores nominales a 40 A (240 V) [3].

Tabla 1. Espesores y velocidades de corte a 240V

Espesor	Velocidad aproximada*
3.2 mm (1/8 pulg)	66.05 mm/s (156 pulg/min)
6.4 mm (¼ pulg)	27.1 mm/s (64 pulg/min)

9.5 mm (3/8 pulg)	15.25 mm/s (36 pulg/min)
12.7 mm (1/2 pulg)	9.32 mm/s (22 pulg/min)
15.9 mm (5/8 pulg)	5.5 mm/s (13 pulg/min)

**Las velocidades de avance son aproximadamente un 80% de la máxima*

➤ Corte a 27 A (120V)

El amperaje de salida se reduce automáticamente a 27 A para 120 V de entrada.



Figura 12. Espesores nominales a 27 A (120 V) [3].

Con esta intensidad de corriente se logra una capacidad máxima de corte de 3.2 mm (1/8 pulg) en procesos manuales.

Para aluminio y otros metales con alta conductividad térmica, la capacidad de corte se reducirá hasta en un 30%.

Tabla 2. Espesores y velocidades de corte a 120V

<i>Espesor</i>	<i>Velocidad de avance</i>
3.2 mm (1/8 pulg)	37.25 mm/s (88 pulg/min)
4.8 mm (3/16 pulg)	21.33 mm/s (50 pulg/min)
6.4 mm (1/4 pulg)	11.85 mm/s (28 pulg/min)
9.5 mm (3/8 pulg)	6.43 mm/s (15 pulg/min)
12.7 mm (1/2 pulg)	3.38 mm/s (8 pulg/min)
15.9 mm (5/8 pulg)	2.1 mm/s (5 pulg/min)

Capacidad de corte nominal se basa en una velocidad aproximadamente 6.43 mm/s (15 pulg/min) para lograr un corte preciso constante.

Esta es la calificación clave que debe cumplir o superar los requisitos típicos de espesor de corte.

1.1.12. Especificaciones de la antorcha para corte por plasma

En la figura 13 se detallan las partes de la antorcha y la utilización que estas presentan para el manejo y confort del proceso por corte por plasma.

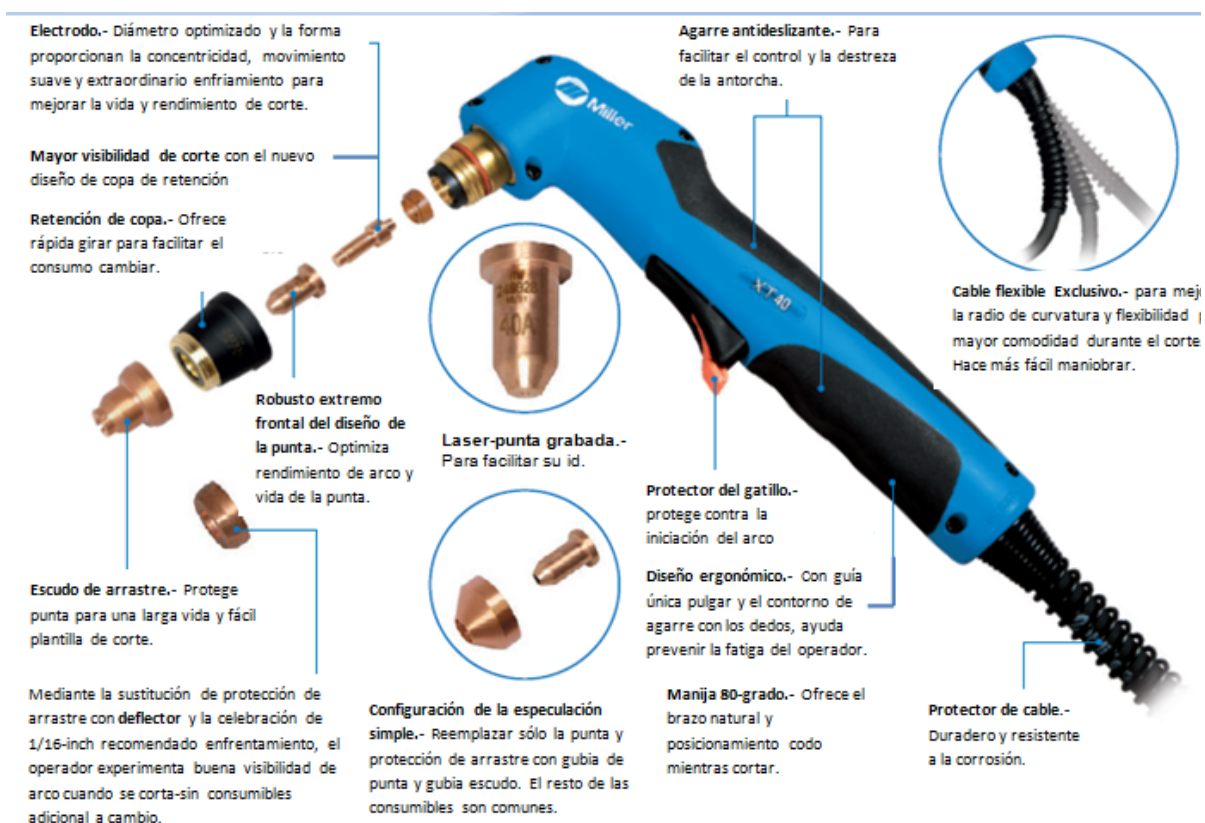


Figura 13. Detalles de las partes de la antorcha

La antorcha se puede configurar para el corte en 30 o 40 A por la instalación de la punta de corte adecuada y escudo de arrastre.

1.1.13. Distancia de la antorcha hacia la pieza

Es la distancia desde la punta de la boquilla a la pieza (figura 14) esta distancia es muy crítica para producir cortes por arco de plasma de calidad. Mientras la distancia aumenta, el arco disminuye y tiende a extenderse. Esto ocasiona que la cortadura sea más ancha, el borde superior de la placa llega a ser redondo y que se forme más residuo en el borde inferior de la placa.

Sin embargo, si esta distancia se hace demasiado corta, reducirá la vida útil de la punta de la boquilla. En algunos casos se puede formar un arco entre la punta de la boquilla y el metal, lo que instantáneamente destruye la punta.

En algunos sopletes para la fecha, es posible arrastrar la punta de la boquilla por la superficie de la pieza sin hacer un cortocircuito. Esto es de gran ayuda cuando se trabaja sobre metal fuera de posición o en hoja de metal delgada.

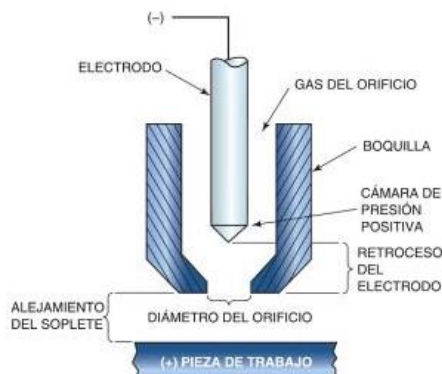


Figura 14. Terminología del arco de plasma convencional

Mantenga la antorcha aproximadamente 3.18 mm (1/8 de pulgada) por encima de la pieza de trabajo e inclinado en entre 15 y 30° así como se muestra en la figura 15. Esto reduce la posibilidad de salpicaduras sobre la antorcha. Si se está utilizando la herramienta con enfrentamiento, ajuste del enfrentamiento

en 1.59 mm (1/16 pulgadas) para los materiales de menos de 6.35 mm (¼ pulg) de espesor y en 4.76 mm (3/16 pulg) para los mayores de 6.35 mm (¼ pulg) grueso.

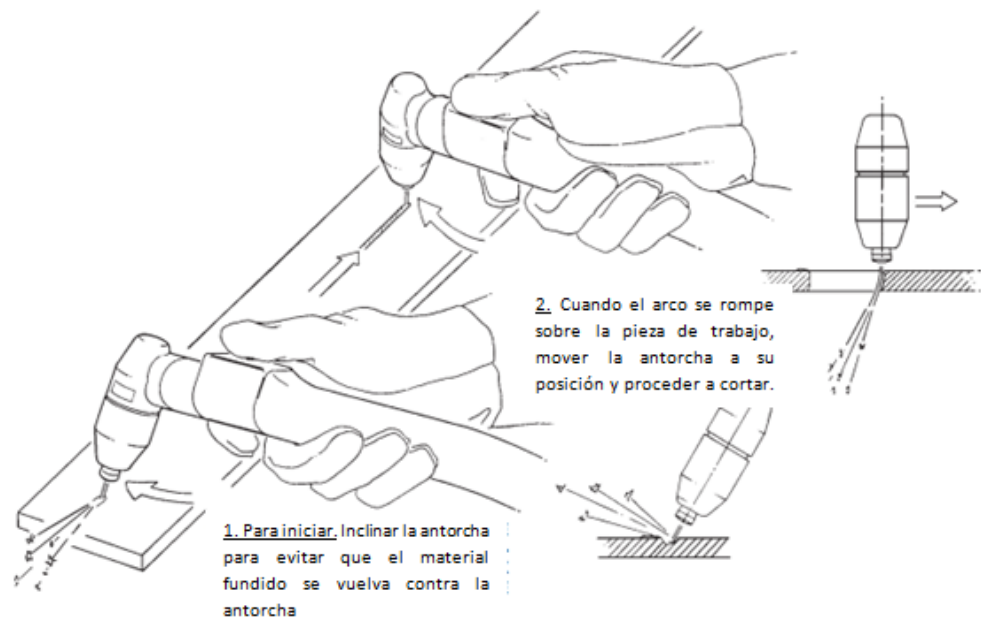


Figura 15. Técnica manual del uso de la antorcha de corte por plasma

1.2. MANIPULADORES

Durante los últimos cincuenta años, la robótica no solo ha incursionado en la industria, centros de investigación, universidades y hospitales, actualmente existen fabricas completamente automatizada mediante robots manipuladores. Hoy en día, la robótica es tan familiar que se pueden encontrar robots en el hogar realizando tareas domésticas. No obstante, se considera como un área joven en constante crecimiento.

1.2.1. Robótica

La robótica es una ciencia aplicada que ha sido considerada como una combinación de tecnología de las máquinas-herramientas y de la informática. Comprende campos tan aparentemente diferentes como diseño de máquinas, teoría del control, microelectrónica, programación de computadoras, inteligencia artificial, factores humanos y teoría de producción. El sector de investigación y desarrollo está procediendo en todas estas áreas para mejorar la forma en que los robots trabajan. Es probable que los esfuerzos de investigación den lugar a futuros robots que hagan que las máquinas actuales parezcan bastantes primitivas.

Para describir la tecnología de un robot se tiene que definir una diversidad de características técnicas relativas a la forma en que está construido el robot y la manera en que opera. Los robots trabajan con sensores, herramientas y pinzas, y deberían definirse en estos términos. La programación de los robots se realiza de varias formas.

1.2.2. Anatomía del robot

La anatomía del robot se refiere a la construcción física del cuerpo, brazo y muñeca de la máquina. La mayoría de los robots utilizados en las fábricas actuales están montados sobre una base que está sujeta al suelo. El cuerpo está unido a la base y el conjunto del brazo está unido al cuerpo. Al final del cuerpo está la muñeca, la cual está constituida por varios componentes que le permiten orientarse en una diversidad de posiciones. Los movimientos relativos entre los diversos componentes del cuerpo, brazo y muñeca son proporcionados por una serie de articulaciones. Estos movimientos de las articulaciones suelen implicar deslizamientos o giros. El cuerpo, el brazo y el

conjunto de la muñeca se denomina MANIPULADOR. A los manipuladores robóticos se les suele denominar también brazos de robot por la analogía que se puede establecer, en muchos casos, con las extremidades superiores del cuerpo humano (Figura 16).

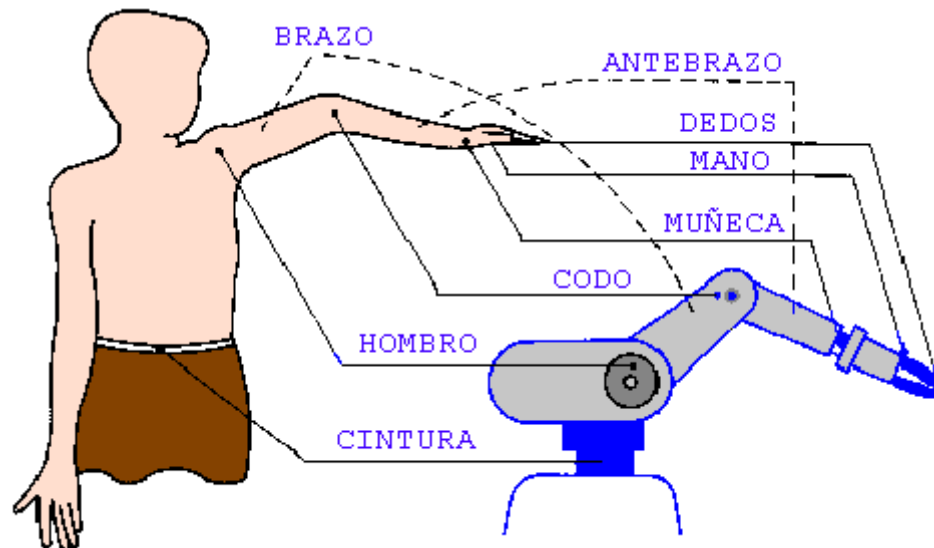


Figura 16. Equivalencia de un brazo humano con uno robótico ^[4].

Unida a la muñeca del robot va una mano. El nombre técnico aplicado a la mano es efector fina, el cual no se considera parte de la anatomía del robot.

1.2.3. Clasificación de los robots

Los dispositivos y mecanismos que pueden agruparse bajo el concepto de Robots son muy diversos y, por lo tanto, es difícil establecer una clasificación coherente de los mismos que resista un análisis crítico y riguroso.

La subdivisión de los Robots, con base en su arquitectura, se hace en los siguientes grupos:

a) Poliarticulados. Bajo este grupo están los Robots de muy diversa forma y configuración cuya característica es la de ser sedentarios y estar estructurados para mover sus elementos terminales en un determinado espacio de trabajo. Ejemplo: los cartesianos, industriales o manipuladores.

b) Móviles. Son Robots con grandes capacidades de desplazamiento, basados en carros o plataformas y dotados de un sistema locomotor de tipo rodante.

c) Androides. Son Robots que intentan reproducir total o parcialmente la forma y el comportamiento cinemático del ser humano. Actualmente, los Androides son todavía dispositivos muy poco evolucionados y sin utilidad práctica, destinados especialmente a la experimentación. Un ejemplo de androide es el Asimo, fabricado por Toyota.

d) Zoomórficos. Los Robots Zoomórficos constituyen una clase caracterizada principalmente por sus sistemas de locomoción que imitan a los diversos seres humanos. Éstos se agrupan en dos categorías: caminadores y no caminadores.

e) Híbridos. Por último, los Híbridos corresponden a aquellos de difícil clasificación, cuya estructura se sitúa en combinación con algunas de las anteriores ya expuestas, bien sea por conjunción o yuxtaposición. Por ejemplo, robots articulados y con ruedas (conjunción) o un cuerpo formado por un carro móvil y de un brazo semejante al de los robots industriales (yuxtaposición).

1.2.4. Definición de manipulador

La definición más comúnmente aceptada, es aquella de la Asociación de Industrias de Robótica (RIA); que coincide con la Organización Internacional de Estándares (ISO); que definen al robot industrial como:

“...Manipulador multifuncional reprogramable, con varios grados de libertad, capaz de manipular materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales según trayectorias variables programadas para realizar tareas diversas....”

Cabe destacar que la característica antropomórfica más común en nuestros días es la de un brazo mecánico, el cual realiza diversas tareas industriales. Los robots industriales están disponibles en una amplia gama de tamaños, formas y configuraciones físicas. La gran mayoría de los robots comercialmente disponibles en la actualidad tiene una de las siguientes configuraciones:

- 1) Configuración de coordenadas cartesianas,
- 2) Configuración cilíndrica,
- 3) Configuración esférico o polar,
- 4) Configuración de brazo articulado (angular o antropomórfico), y
- 5) Configuración de Brazo Compatible Selectivo para Montaje Robótico (Selective Compliance Arm for Robotic Assembly, SCARA).

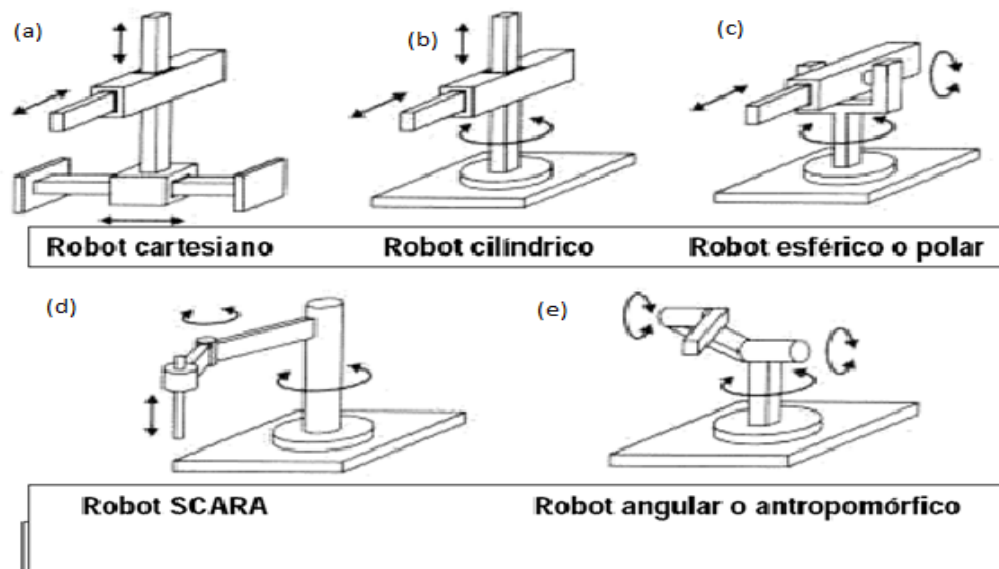


Figura 17. Configuraciones del brazo manipulador: a) Cartesiano, b) Cilíndrico, c) Esférico o Polar, d) SCARA, e) Angular o antropomórfico.

1.2.5. Configuraciones del Brazo manipulador

➤ Configuración cartesiana

Posee tres movimientos lineales como se ilustra en las Figuras 18 y 19: Brazo Manipulador. Configuración Cartesiana; es decir, tiene tres grados de libertad, los cuales corresponden a los movimientos localizados en los ejes X Y Z.

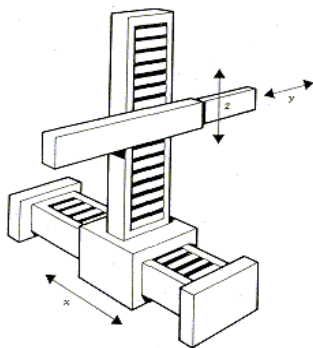


Figura 18. Esquema de Brazo manipulador cartesiano.



Figura 19. Configuración cartesiana

Los movimientos que realiza este robot entre un punto y otro son con base en interpolaciones lineales. Interpolación, en este caso, significa el tipo de trayectoria que realiza el manipulador cuando se desplaza entre un punto y otro.

A la trayectoria realizada en línea recta se le conoce como interpolación lineal y a la trayectoria hecha de acuerdo con el tipo de movimientos que tienen sus articulaciones se le llama interpolación por articulación.

➤ Configuración cilíndrica

Puede realizar dos movimientos lineales y uno rotacional como se ilustra en las Figuras 20 y 21: Configuración Cilíndrica. Brazo Manipulador, o sea, que presenta tres grados de libertad.



Figura 20. Configuración Cilíndrica

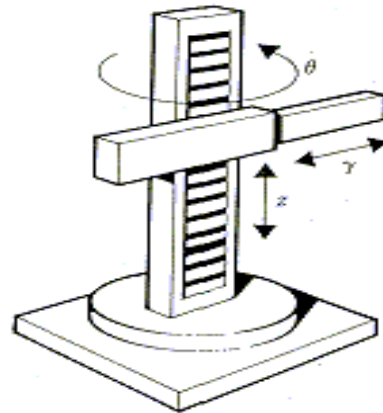


Figura 21. Esquema del brazo manipulador cilíndrico

El robot de configuración cilíndrica está diseñado para ejecutar los movimientos conocidos como interpolación lineal e interpolación por articulación. La interpolación por articulación se lleva a cabo por medio de la primera articulación, ya que ésta puede realizar un movimiento rotacional.

➤ Configuración polar

Tiene varias articulaciones. Cada una de ellas puede realizar un movimiento distinto: rotacional, angular y lineal, como se representa en las Figuras 22 y 23.



Figura 22. Configuración polar

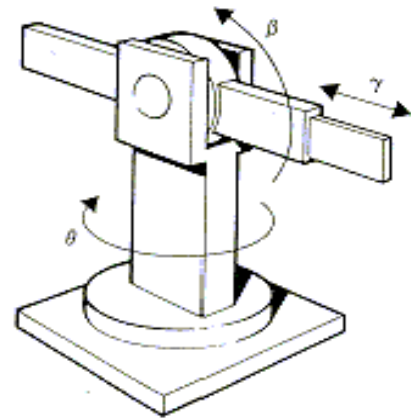


Figura 23. Esquema del brazo manipulador polar

Este robot utiliza la interpolación por articulación para moverse en sus dos primeras articulaciones y la interpolación lineal para la extensión y retracción.

➤ Configuración angular (o de brazo articulado)

Presenta una articulación con movimiento rotacional y dos angulares como se presenta en las Figuras 24 y 25: Brazo manipulador. Configuración angular.

Aunque el brazo articulado puede realizar el movimiento llamado interpolación lineal (para lo cual requiere mover simultáneamente dos o tres de sus articulaciones), el movimiento natural es el de interpolación por articulación, tanto rotacional como angular.



Figura 24. Configuración angular

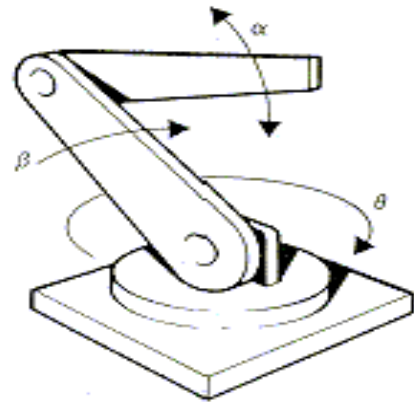


Figura 25. Esquema del brazo manipulador angular

➤ Configuración SCARA

Además de las cuatro configuraciones clásicas mencionadas, existen otras configuraciones llamadas no clásicas. El ejemplo más común de una configuración no clásica lo representa el robot tipo SCARA.

Este brazo puede realizar movimientos horizontales de mayor alcance debido a sus dos articulaciones rotacionales como se representa de la figura 26. El robot de configuración SCARA también puede hacer un movimiento lineal (mediante su tercera articulación).

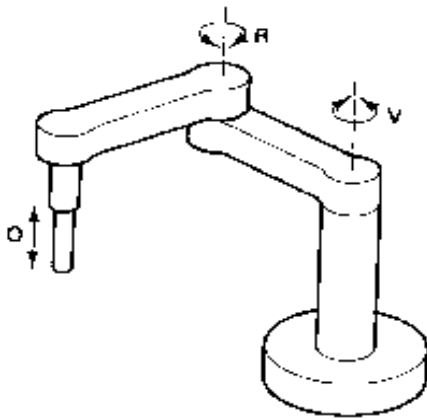


Figura 26. Esquema del brazo manipulador SCARA

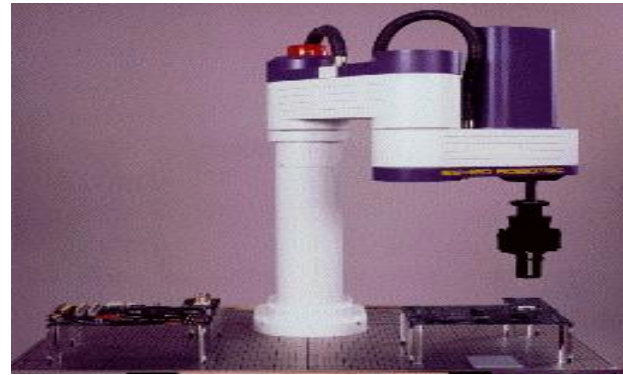


Figura 27. Configuración SCARA

1.2.6. Principales características de los manipuladores

➤ Grados de Libertad

Son los movimientos independientes (giros y desplazamientos) que puede realizar cada articulación con respecto a la anterior. Son los parámetros que se precisan para determinar la posición y la orientación del elemento terminal del manipulador.

Los grados de libertad del brazo de un manipulador están directamente relacionados con su anatomía o configuración.

➤ Espacio - Volumen de trabajo

El volumen de trabajo de un manipulador se refiere únicamente al espacio dentro del cual puede desplazarse el extremo de su muñeca. Para determinar el volumen de trabajo no se toma en cuenta el actuador final. La razón de ello es que al final se le pueden adaptar actuadores de distintos tamaños.

Las dimensiones de los elementos del manipulador, junto a los grados de libertad, definen la zona de trabajo, característica fundamental en las fases de selección e implantación del modelo adecuado.

La zona de trabajo depende directamente de la accesibilidad específica del elemento terminal (aprehensor o herramienta), es diferente a la que permite orientarlo verticalmente o con un determinado ángulo de inclinación. También queda restringida por los límites de giro y desplazamiento que existen en las articulaciones.

El manipulador cartesiano y el cilíndrico presentan volúmenes de trabajo regulares. El manipulador cartesiano genera una figura cúbica como se muestra en la Figura 28: Volumen de Trabajo. Manipulador Cartesiano.

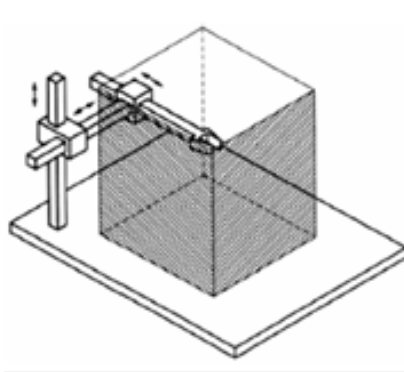


Figura 28. Volumen de trabajo de un manipulador cartesiano

El Manipulador de configuración cilíndrica presenta un volumen de trabajo parecido a un cilindro (normalmente éste no tiene una rotación de 360°) como se muestra en la Figura 29: Volumen de Trabajo. Manipulador Cilíndrico.

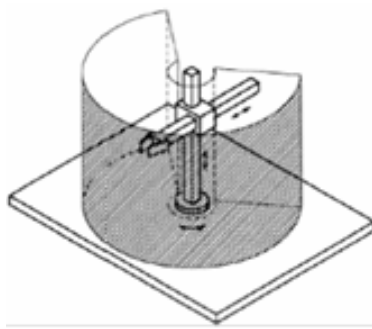


Figura 29. Volumen de trabajo de un manipulador cilíndrico

Por su parte, los robots que poseen una configuración polar, los de brazo articulado y los modelos SCARA presentan un volumen de trabajo irregular como se muestra en la Figura 30: Volumen de Trabajo. Robot Tipo SCARA, Polar y brazo articulado.

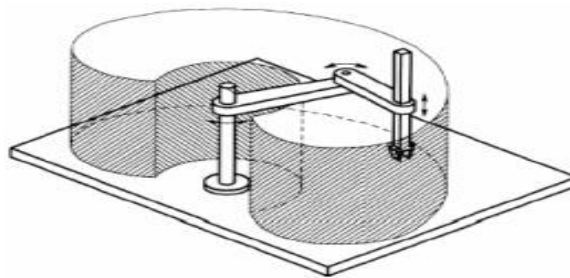


Figura 30. Volumen de trabajo. Robot tipo SCARA, polar y brazo articulado

➤ Precisión de los Movimientos

La precisión de movimiento en un robot industrial depende de tres factores:

- a) Resolución Espacial. Se define como el incremento más pequeño de movimiento en que el robot puede dividir su volumen de trabajo.

Si el robot se mueve del punto P_1 al P_2 . La diferencia $P_2 - P_1$ representa el menor incremento con el que se puede mover el robot a partir de P_1 . Al ver estos incrementos en un plano representan una cuadrícula como se ve en la figura 31.

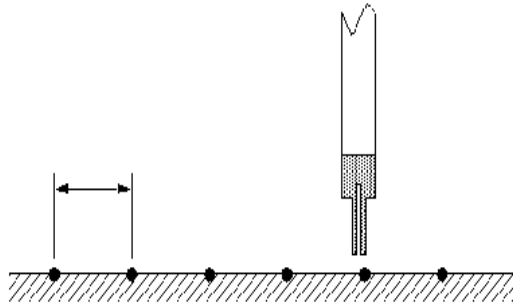


Figura 31. Precisión del actuador

En cada intersección de líneas se encuentra un punto que puede ser alcanzado por el robot. De esta forma la resolución espacial puede definirse también como la distancia entre dos puntos adyacentes, estos puntos están típicamente separados por un milímetro o menos, dependiendo del tipo de robot.

La resolución espacial depende de dos factores: los sistemas que controlan la resolución y las inexactitudes mecánicas.

Depende del control del sistema porque éste, precisamente, es el medio para controlar todos los incrementos individuales de una articulación. Los controladores dividen el intervalo total de movimiento para una junta particular en incrementos individuales (resolución de control o de mando).

Las inexactitudes mecánicas se encuentran estrechamente relacionadas con la calidad de los componentes que conforman las uniones y las articulaciones. Como ejemplos de inexactitudes mecánicas pueden citarse la

holgura de los engranajes, las tensiones en las poleas, las fugas de fluidos, etcétera.

b) **Exactitud.** Se refiere a la capacidad de un robot para situar el extremo de su muñeca en un punto señalado dentro del volumen de trabajo. Mide la distancia entre la posición especificada, y la posición real del actuador terminal del robot. Mantiene una relación directa con la resolución espacial.

c) **Repetibilidad.** Se refiere a la capacidad del robot de regresar al punto programado las veces que sean necesarias. Esta magnitud establece el grado de exactitud en la repetición de los movimientos de un manipulador al realizar una tarea programada.

Dependiendo del trabajo que se deba realizar, la precisión en la repetitividad de los movimientos es mayor o menor. Así por ejemplo, en labores de ensamblaje de piezas, dicha característica ha de ser menor a ± 0.1 mm. En soldadura, pintura y manipulación de piezas, la precisión en la repetibilidad está comprendida entre 1 y 3 mm y en las operaciones de mecanizado, la precisión ha de ser menor de 1 mm.

➤ Capacidad de Carga

El peso, en kilogramos, que puede transportar la garra del manipulador recibe el nombre de capacidad de carga. A veces, este dato lo proporcionan los fabricantes, incluyendo el peso de la propia garra. En modelos de robots industriales, la capacidad de carga de la garra, puede oscilar de entre 205 kg. y 0.9 Kg. La capacidad de carga es una de las características que más se tienen en cuenta en la selección de un robot, según la tarea a la que se destine. En soldadura es común precisar capacidades de carga superiores a los 50 kg.

➤ Velocidad

Se refiere a la velocidad máxima alcanzable por el manipulador. En muchas ocasiones, una velocidad de trabajo elevada, aumenta extraordinariamente el rendimiento del robot, por lo que esta magnitud se valora considerablemente en la selección de un tipo de robot.

En tareas de soldadura y manipulación de piezas es muy aconsejable que la velocidad de trabajo sea alta. En pintura, mecanizado y ensamblaje, la velocidad debe ser media e incluso baja.

➤ Elemento Motriz

Los elementos motrices que generan el movimiento de las articulaciones pueden ser, según la energía que consuman, de tipo hidráulico, neumático o eléctrico.

Los motores eléctricos, que cubren la gama de media y baja potencia, acaparan el campo de la Robótica, por su gran precisión en el control de su movimiento y las ventajas inherentes a la energía eléctrica que consumen.

➤ Elementos de Transmisión

Los elementos de transmisión permiten, por una parte, guiar el movimiento de los eslabones móviles, y por otra, transmitir el movimiento desde los actuadores a las articulaciones, adaptando la fuerza y la velocidad a los valores requeridos por el movimiento (Barrientos et al., 1997). Los elementos de transmisión son: reductores sinfín corona, cremalleras y piñones de dientes rectos, guías de sección prismática y elementos rodantes, etc.

➤ Tipos de programación

La programación empleada en Robótica puede tener un carácter explícito, en el que el operador es el responsable de las acciones de control y de las instrucciones adecuadas que las implementan, o estar basada en la modelación del mundo exterior, cuando se describe la tarea y el entorno y el propio sistema toma las decisiones, estos tipos de programación son:

- a) Mecánica: Se debe modificar de forma manual la mecánica propia del robot manipulador, de forma que realice exactamente el cometido para el cual se está modificando.
- b) Gestual: Mediante una consola de programación, se le indica todas aquellas acciones o pasos que ha de realizar el robot manipulador para el cumplimiento de un fin; mediante esta consola se le indica cada una de las variables que debe adoptar a la hora de la ejecución.
- c) Textual: Es la forma más potente y versátil de programar un robot manipulador, ya que desde un terminal se puede programar literalmente, mediante un software de programación específico, cada una de las acciones que tendría que seguir en cada instante.

Actualmente, la inclusión del controlador de tipo microelectrónica en los robots industriales, permite la programación del robot de muy diversas formas. En general, los modernos sistemas de robots admiten la programación manual, mediante un módulo de programación.

1.2.7. Movimientos del robot manipulador

Los robots industriales están diseñados para realizar un trabajo productivo. El trabajo se realiza permitiendo que el robot desplace su cuerpo,

brazo y muñeca mediante una serie de movimientos y posiciones. Unido a la muñeca está el efector final, que se utiliza por el robot para realizar una tarea específica. Los movimientos del robot pueden dividirse en dos categorías generales: movimientos de brazo y cuerpo y movimientos de la muñeca. Los movimientos de articulaciones individuales asociados con estas dos categorías se denomina, a veces, por el término de “grado de libertad”, y un robot industrial típico está dotado de cuatro a seis grados de libertad.

Los movimientos del robot se realizan por medio de articulaciones accionadas. Tres articulaciones suelen estar asociadas con la acción del brazo y del cuerpo y dos o tres articulaciones se suelen emplear para accionar la muñeca. Para la conexión de las diversas articulaciones del manipulador se emplean unos elementos rígidos denominados uniones. En cualquier cadena de unión-articulación-unión, se llama unión de entrada al eslabón que está más próximo a la base de la cadena. La unión de salida es la que se desplaza con respecto a la entrada.

Las articulaciones utilizadas en el diseño de robots industriales suelen implicar un movimiento relativo de las uniones contiguas, movimiento que es lineal o rotacional. Las articulaciones lineales implican un movimiento deslizante o de traslación de las uniones de conexión. Este movimiento puede conseguirse de varias formas (por ejemplo: mediante un pistón, un mecanismo telescópico y el movimiento relativo a lo largo de un carril o vía lineal). En este punto no interesan los detalles mecánicos de la articulación, sino el movimiento relativo de las uniones contiguas. Se hace referencia a la articulación lineal como una articulación de tipo L (como abreviatura de lineal). La figura 32 ilustra la articulación lineal. El término de articulación prismática se utiliza, a veces, en la documentación sobre robótica en lugar de articulación lineal.

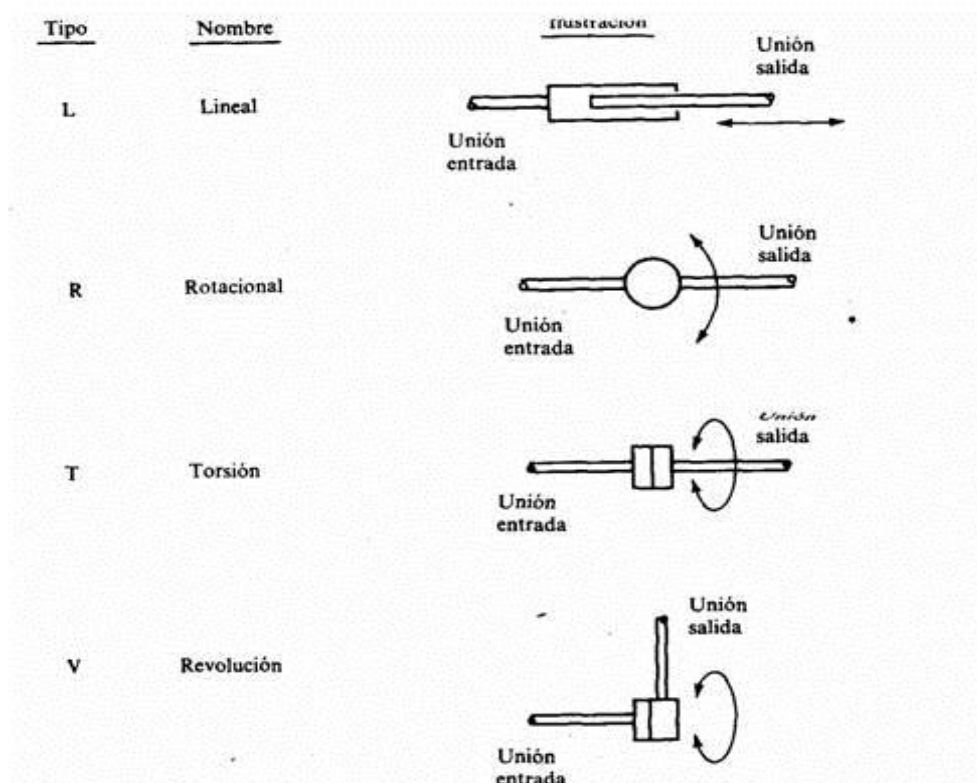


Figura 32. Tipos de articulaciones utilizadas en los robots

Hay como mínimo, tres tipos de articulación giratoria que pueden distinguirse en los manipuladores de robots. Los tres tipos se ilustran en la Figura 32. Se denomina al primero como una articulación de tipo R (R como inicial de rotacional). En la articulación de tipo R el eje de rotación es perpendicular a los ejes de las dos uniones. El segundo tipo de articulación giratoria implica un movimiento de torsión entre las uniones de entrada y salida. El eje de rotación de la articulación de torsión es paralelo a los ejes de ambas uniones, se llama a esta articulación de tipo T (T es la abreviatura de torsión). El tercer tipo de articulación giratoria es una articulación de revolución en la que la unión de entrada es paralela al eje de rotación y la de salida es perpendicular a dicho eje. Esencialmente, la unión de salida gira alrededor de la de entrada

como si estuviera en órbita. Esta articulación se designara como de tipo V (V procede de revolución).

Las articulaciones del brazo y del cuerpo están diseñadas para permitir al robot desplazar su efecto final a una posición deseada dentro de los límites del tamaño del robot y de los movimientos de las articulaciones. Para robots de configuración polar, cilíndrica o de brazo articulado, los tres grados de libertad asociados con los movimientos del brazo y del cuerpo son:

- 1) Transversal vertical: Es la capacidad para desplazar la muñeca hacia arriba o abajo para proporcionar la postura vertical deseada.
- 2) Transversal radial: Implica la extensión o retracción (movimiento hacia adentro o afuera) del brazo desde el centro vertical del robot.
- 3) Transversal rotacional: Es la rotación del brazo alrededor del eje vertical.

Los grados de libertad asociados con el brazo y el cuerpo del robot se indican en la Figura 33 para un robot de configuración polar. Grados de libertad similares están asociados con la configuración cilíndrica y el robot del brazo articulado. Para un robot de coordenadas cartesianas los tres grados de libertad son: movimiento vertical (movimiento eje Z), movimiento hacia adentro y afuera (movimiento eje Y) y movimiento izquierda o derecha (movimiento eje X). Estos se consiguen por los movimientos correspondientes de los tres dispositivos del deslizamiento ortogonales del brazo del robot.

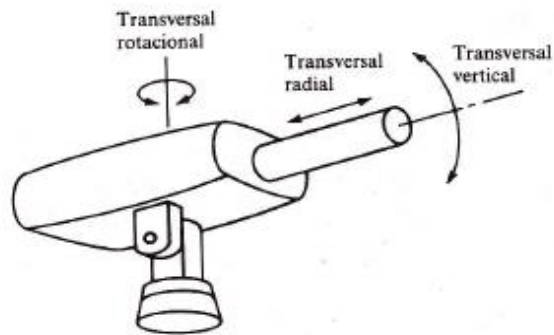


Figura 33. Tres grados de libertad asociados con el brazo y el robot polar

El movimiento de la muñeca está diseñado para permitir al robot orientar adecuadamente el efecto final con respecto a la tarea a realizar.

Por ejemplo, la mano debe estar orientada en el ángulo adecuado con respecto a la pieza de trabajo para poder agarrarla. Para resolver este problema de orientación, la muñeca suele disponer de hasta tres grados de libertad (la siguiente es una configuración típica):

- 1) Giro de la muñeca: También denominado oscilación de la muñeca, que implica la rotación del mecanismo de la muñeca alrededor del eje del brazo.
- 2) Elevación de la muñeca: Habida cuenta de que el giro de la muñeca está en su 'posición central, la elevación implicaría la rotación arriba o debajo de la misma. La elevación de la muñeca se denomina, a veces, flexión de la muñeca.
- 3) Desviación de la muñeca: De nuevo, considerado que el giro de la muñeca está en la posición central, la rotación implicaría la rotación a derecha o a izquierda de la muñeca.

Tres grados de libertad para la muñeca se ilustran en la Figura 34. El motivo para especificar que el giro de la muñeca esté en su posición central en las definiciones de la elevación y de la desviación radica en que la rotación de

la muñeca alrededor del eje del brazo modificará la orientación de los movimientos de elevación y de desviación.

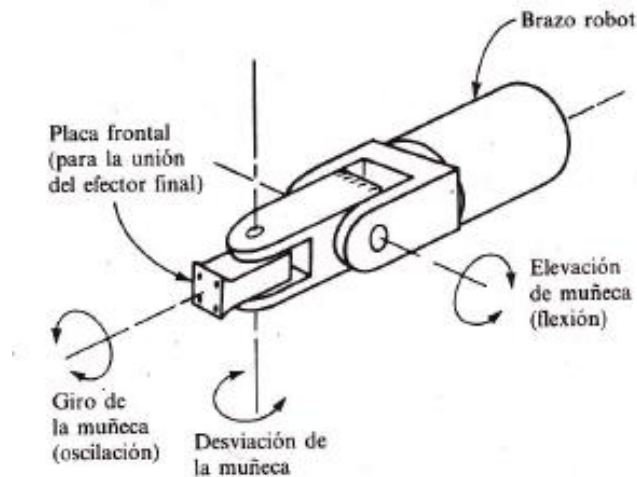


Figura 34. Tres grados de libertad asociados con la muñeca del robot

1.2.8. Plan de notaciones de las articulaciones

La configuración física del manipulador del robot puede describirse por medio de un plan de notaciones de las articulaciones, con el empleo de los tipos de articulaciones anteriormente definidos (L, R, T y V). Considerando primero las articulaciones del brazo y del cuerpo, las letras pueden utilizarse para designar la configuración del robot particular que comienza con la articulación más próxima a la base y prosigue con la articulación que se conecta a la muñeca. En consecuencia, un robot de brazo articulado (excluyendo al conjunto de la muñeca) tendría tres articulaciones rotacionales y se designaría como TRR O VVR. Las notaciones típicas para las cuatro configuraciones básicas se resumen en la Tabla 3.

Tabla 3. Plan de notaciones para designar las configuraciones del robot.

Configuración del robot (brazo y cuerpo)	Símbolo
Configuración polar	TRL
Configuración cilíndrica	TLL, LTL, LVL
Configuración cartesiana	LLL
Configuración de brazo articulado	TRR, VVR
Configuración del robot (muñeca)	Símbolo
Muñeca de dos ejes (típica)	RT
Muñeca de tres ejes	TRT

El plan de notaciones de articulaciones permite la designación más o menos de las tres articulaciones típicas de las configuraciones básicas indicadas en la tabla (cartesiana, polar y cilíndrica). También puede utilizarse para buscar otras posibilidades para configurar los robots, más allá de los cuatro tipos básicos.

El sistema de notación puede ampliarse para incluir los movimientos de la muñeca designando dos o tres (o más) tipos de articulación de muñeca. La notación comienza con la articulación más próxima a la interfaz del brazo y prosigue con la placa de montaje para el efector final. Las articulaciones de la muñeca son predominantemente articulaciones giratorias de tipo R y T. Por consiguiente, un mecanismo de muñeca típico con tres articulaciones rotacionales se indicaría por TRR (Fig. 34). Esta notación simplemente se añade a la de la configuración del brazo y del cuerpo. Por ejemplo, un robot coordenadas polares con una muñeca de tres ejes podría designarse como TRL: TRT.

Este plan de notación puede proporcionar también la posibilidad de robots que se desplacen sobre una pista en el suelo a lo largo de un sistema de carril aéreo en fábrica. A modo de ilustración, un robot TRL: TRT sujeto a una plataforma sobre ruedas que puede impulsar a lo largo de una pista entre varias máquinas-herramientas se designaría por la notación siguiente: L-TRL: TRT. En este caso aun cuando giren las ruedas de la plataforma, el movimiento del robot es lineal.

1.3. CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO (CNC)

Desde los orígenes del desarrollo tecnológico, las personas han pretendido construir máquinas que repitan operaciones de modo automático. En principio, contrariamente a lo que se pudiera pensar, el Control Numérico de Máquina Herramientas no fue concebido para mejorar los procesos de fabricación, sino para dar solución a problemas técnicos surgidos a consecuencia de diseño de piezas cada vez más difíciles de mecanizar.

1.3.1. Historia del CNC

En 1942, en los Estados Unidos de América, se realiza el proyecto y ejecución de una máquina automática que definía gran cantidad de puntos con objeto de mecanizar las piezas, de difícil proceso y formas complejas, que en una máquina convencional prácticamente no se podía resolver. En 1948 se comenzó a desarrollar un sistema en el que un ordenador se encargaba del mando de una máquina-herramienta. En 1953 el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) nombra el Control Numérico (CN). En 1957 aparece la máquina-herramienta con mando numérico. Y en la década de los sesenta aparece el llamado control adaptativo, el cual permite regular la máquina tanto

en lo referente a los avances de los carros como las revoluciones del husillo portaherramientas, posicionamientos, etc. También por esas fechas, 1969, los fabricantes alemanes lograban su primera máquina-herramienta CN, presentaba en la feria de Hannover.

Es aproximadamente en 1968 cuando se pone en práctica el Control Numérico Directo (DNC), que permite que una computadora central maneje y controle varias máquinas a la vez. Se puede decir que el control numérico es un sistema de fabricación mediante el cual la máquina es controlada por informaciones alfanuméricas introducidas mediante un programa que puede ser comprobado y evaluado en el ordenador para su posterior mecanizado.

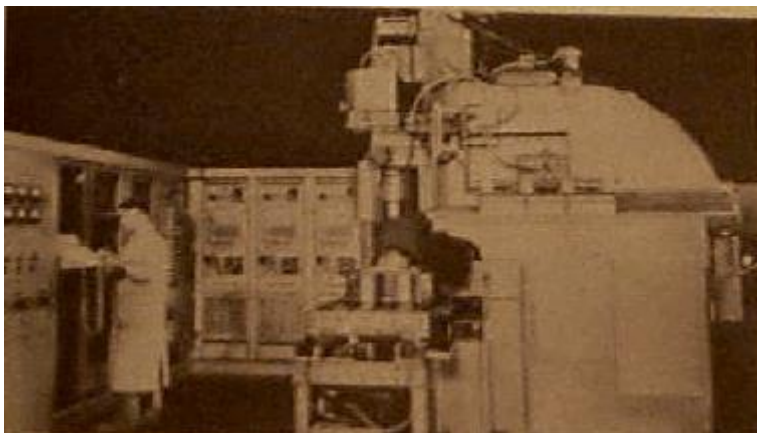


Figura 35. Primeros controladores numéricos computarizados [5].

Las primeras máquinas herramientas automáticas eran de mando mecánico mediante sistemas de levas, las que en el caso de los tornos se fabrican hasta la actualidad. La excentricidad de la leva indicaba el recorrido o avance del palpador y solidario a éste, el correspondiente carro porta-

herramienta que mecanizaba el contorno deseado. Las operaciones realizadas mediante estos sistemas pueden realizarse cuantas veces se deseara.

Los primeros equipos de CN con sistema electrónico de válvulas, relés y cableados, tenían un volumen mayor que las propias máquinas-herramientas, con una programación manual en lenguajes máquina muy complejo y muy lenta de programar. Puede hablarse de cuatro generaciones de máquinas de control numérico de acuerdo con la evolución de la electrónica utilizada:

- 1) Válvulas electrónicas y relés (1950),
- 2) Transistores (1960),
- 3) Circuitos integrados (1965), y
- 4) Microprocesadores (1975).

A finales de los sesentas nace el control numérico por ordenador. Las funciones de control se realizaban mediante programas en la memoria del ordenador de forma que podían adaptarse fácilmente con solo modificar el programa. En esta época los ordenadores eran todavía muy grandes y costosos, la única solución práctica para el CN era disponer de un ordenador central conectado a varias máquinas-herramientas que desarrollaban a tiempo compartido todas las funciones de control de las mismas. Esta tecnología se conoce como Control Numérico Directo (DNC).

A principios de los setentas se empezó a aplicar el modelo más pequeño y económico apareciendo así el Control Numérico Computarizado (CNC), que permite que un mismo control numérico pueda aplicarse a varios tipos de máquinas distintas sin más que programar las funciones de control para cada máquina en particular.

Las tendencias actuales de automatización total y fabricación flexible se basan en máquinas de CNC conectadas a un ordenador central con funciones

de programación y almacenamiento de programas y transmisión de los mismos a las máquinas para su ejecución.

1.3.2. Funcionamiento

CNC se refiere al control numérico de máquinas, generalmente Máquinas Herramientas. Normalmente este tipo de control se ejerce a través de un computador y la máquina está diseñada a fin de obedecer las instrucciones de un programa dado.

En el caso de un torno (figura 36), hace falta controlar los movimientos de la herramienta en dos ejes de coordenadas: el eje de las X para los desplazamientos longitudinales del carro y el eje de las Z para los desplazamientos transversales de la torre.



Figura 36. Torno CNC.

En el caso de las fresadoras se controlan también los desplazamientos verticales, que corresponden al eje Y. Para ello se incorporan servomotores en los mecanismos de desplazamiento del carro y la torreta, en el caso de los tornos, y en la mesa en el caso de la fresadora; dependiendo de la capacidad de la máquina, esto puede no ser limitado únicamente a tres ejes.

Es el caso similar en un manipulador cartesiano CNC (figura 37) para hacer cortes por medio de corte por plasma, el cual consta de desplazamientos verticales, horizontales y en los desplazamientos horizontales se mueven en el eje x y eje y.



Figura 37. Manipulador cartesiano de corte por plasma CNC [6].

Para mecanizar una pieza se usa un sistema de coordenadas que especificarán el movimiento de la herramienta de corte.

El sistema se basa en el control de los movimientos de la herramienta de trabajo con relación a los ejes de coordenadas de la máquina, usando un programa informático ejecutado por un ordenador.

Esto se ejerce a través del siguiente proceso:

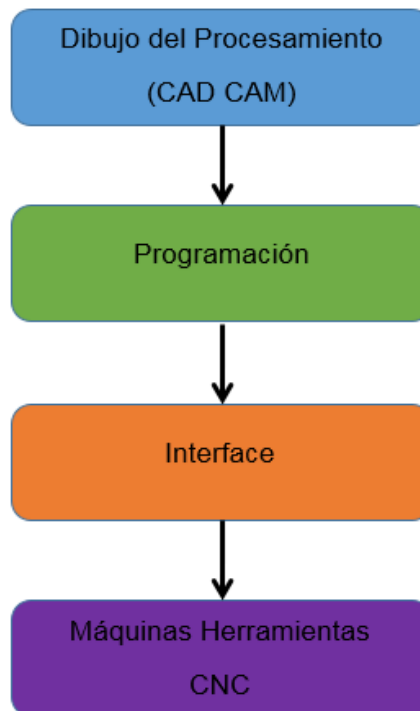


Figura 38. Diagrama para hacer una pieza CNC

1.3.3. Tipos de automatización

Existen cinco formas de automatizar en la industria moderna, de modo que se deberá analizar cada situación a fin de decidir correctamente el esquema más adecuado.

Los tipos de automatización son:

- Control Automático de Procesos,
- El Procesamiento Electrónico de Datos,
- La Automatización Fija,
- El Control Numérico Computarizado, y
- La Automatización Flexible.

El Control Automático de Procesos, se refiere usualmente al manejo de procesos caracterizados de diversos tipos de cambios (generalmente químicos y físicos); un ejemplo de esto lo podría ser el proceso de refinación de petróleo.

El Proceso Electrónico de Datos frecuentemente es relacionado con los sistemas de información, centros de cómputo, etc. Sin embargo en la actualidad también se considera dentro de esto la obtención, análisis y registros de datos a través de interfaces y computadores.

La Automatización Fija, es aquella asociada al empleo de sistemas lógicos tales como: los sistemas de relevadores y compuertas lógicas; sin embargo estos sistemas se han ido flexibilizando al introducir algunos elementos de programación como en el caso de los Controladores Lógicos Programables (PLC's).

Un mayor nivel de flexibilidad lo poseen las máquinas de control numérico computarizado. Este tipo de control se ha aplicado con éxito a Máquinas Herramientas de Control Numérico (MHCN). Entre las MHCN se pueden mencionar:

- Fresadoras CNC,
- Tornos CNC, y
- Máquinas de Corte por Plasma

1.3.4. Tipos de CAD

El Diseño Asistido por Computadora (CAD) se trata básicamente de una base de datos de entidades geométricas (puntos, líneas, arcos, etc.) con la que se puede operar a través de una interfaz gráfica. Permite diseñar en dos o tres dimensiones mediante geometría alámbrica, esto es, puntos, líneas, arcos, splines (curva definida a trozos mediante polinomios); superficies y sólidos para

obtener un modelo numérico de un objeto o conjunto de ellos. El Diseño Asistido por Computadora, es una técnica que puede definirse como “el proceso de automatización del diseño que emplea técnicas de Gráficos Informáticos junto con programas de cálculo y documentación del producto”. Existen dos tipos de Diseño Asistido por Computadora:

1) CAD Analítico: Que usa procedimientos analíticos para definir sus límites o acciones. Cada elemento del dibujo o trazado es definido por sus coordenadas espaciales (x, y, z) mediante el uso de complejos procedimientos analíticos matemáticos, en los cuales toda la información se maneja de forma Lógica-Analítica.

2) CAD Paramétrico: Que usa parámetros para definir sus límites o acciones. Un programa paramétrico de CAD difiere básicamente de cualquier otro tradicional, en un aspecto clave. En un programa paramétrico la información visual es parte de la información disponible en el banco de datos, o sea, una representación de la información como un objeto, en la memoria de la computadora. Cada elemento del dibujo es tratado como un “objeto”, que no es definido únicamente por sus coordenadas espaciales (x, y, z), sino que también por sus parámetros, sean estos gráficos o funcionales.

En la actualidad el CAD paramétrico ha substituido, casi por completo, a las técnicas clásicas de diseño en tres dimensiones mediante el modelado de sólidos y superficies.

La Fabricación Asistida por Computadora (CAM) hace referencia al uso de un extenso abanico de herramientas basadas en las computadoras que ayudan la solución de problemas de manufactura. Los datos creados con el CAD, se mandan a la máquina para realizar el trabajo, con una intervención mínima del operador. Algunos ejemplos de CAM son: La realización de agujeros

en circuitos automáticamente por un robot, la soldadura automática de componentes SMD en una planta de montaje, etc.

1.3.5. Programación

El procesamiento de los datos en el CNC comienza por el intérprete del programa, el cual descifra el programa escrito en formato ISO de manera que pueda ser asimilado por el sistema de control y ejecutado en el interpolador. Pero antes de que los datos lleguen al interpolador es necesario realizar una serie de transformaciones como compensación de la geometría de la herramienta, escalado, rotación, cinemática de la máquina, etc. Después, el interpolador actúa enviando a los servos las consignas adecuadas.

EL CNC tiene que ser capaz de realizar las operaciones manteniendo los diferentes errores que se producen dentro de las tolerancias establecidas. Para el trabajo en alta velocidad, las exigencias son, como cabe esperar, más severas debido sobre todo a los altos valores de avance que se requieren.

La forma más habitual de especificar las trayectorias que debe seguir la herramienta en una operación de mecanizado está basada en la generación de una sucesión de puntos entre los cuales se realizan interpolaciones lineales. El CAD permite realizar el diseño de la pieza a mecanizar como una concatenación de elementos geométricos simples, mientras que el CAM define, a partir de la información CAD, la trayectoria a seguir por la herramienta para realizar el mecanizado de la pieza, siendo aquí donde se realiza la traslación de la trayectoria a puntos discretos. La serie de puntos es posteriormente cargada en el control numérico, que los ejecuta de forma ordenada.

Evidentemente, la aproximación de una trayectoria curva mediante una serie de tramos rectos entre los puntos especificados por el CAM supone una

pérdida de precisión. En el caso de trayectorias con pequeño radio de curvatura, el número de puntos especificado sobre la curva, esto es, la densidad de puntos, deberá ser mayor que en el caso de trayectorias casi rectas. Sólo así se podrá mantener un grado de precisión constante a lo largo de toda la trayectoria.

De forma equivalente, un aumento en los requerimientos de precisión a lo largo de toda la superficie mecanizada obliga a especificar un mayor número de puntos en la definición de la trayectoria.

El hecho de tener que procesar una gran cantidad puntos con precisión y a gran velocidad impone la adopción de una serie de soluciones en los controles numéricos para alta velocidad.

El programa CN constituye el medio entendible tanto por el hombre como por la máquina, mediante el cual el primero establece la secuencia de operaciones a realizar por la máquina herramienta.

1.3.6. Tipos de programación

Existen cuatro formas de programar un CN:

- 1) Manual,
- 2) Pseudo-asistida por ordenador,
- 3) Asistida por ordenador, y
- 4) Conversacional.

El objetivo de las cuatro es el mismo: Obtener el programa de mecanizado de la pieza partiendo de sus datos geométricos y de las condiciones de corte.

A continuación, se presentan las características de cada uno de estos procedimientos:

a) Programación Manual. Es aquella en la que, a partir del plano, se calculan de forma manual las trayectorias de las herramientas y, a continuación, se codifican dichas trayectorias utilizando el lenguaje de programación contenido en el manual de la MHCN.

b) Programación Pseudo-asistida por ordenador. Este tipo de programación se realiza cuando se dispone de un programa CAD, pero no del módulo CAM correspondiente.

La ventaja con respecto a la anterior es que no es necesario realizar el cálculo de trayectorias (a veces muy complejo) pues las coordenadas de los puntos necesarios se consultan en el ordenador, ya que se dispone de la geometría de la pieza en formato CAD.

c) Programación asistida por ordenador. Este tipo de programación intenta que la realización de los programas de control numérico sea más cómoda, utilizando para ello un ordenador como herramienta de trabajo. El ordenador proporciona un conjunto de utilidades muy versátiles gracias a su potencia de cálculo y capacidad de procesamiento de información.

El proceso de programación comienza con la definición de geometrías utilizando el programa de CAD. Normalmente esta geometría ya ha sido definida en la etapa de diseño.

Una vez definida la pieza que va a ser mecanizada se utilizan las librerías de herramientas que representan las existencias del taller.

El siguiente paso es generar el camino o trayectoria de la herramienta sobre la pieza mediante las opciones que se ofrecen en el menú del programa. El modo interactivo permite al programador generar la trayectoria paso a paso, a medida que ésta se visualiza en pantalla, pudiendo borrar comandos erróneos o insertar otros si son necesarios.

1.3.7. Lenguaje de programación ISO.

El lenguaje de programación usado para la elaboración de una pieza CNC es el lenguaje ISO.

Todos los programas deben tener un nombre o un número que lo identifique. Algunos controles numéricos solo aceptan números. Los programas CNC están compuestos por bloques sucesivos. Cada uno de éstos es una instrucción para el control. Los bloques pueden estar numerados o no. De no estarlos el control los ejecutará en el orden en que los vaya encontrando. La numeración de los bloques puede no ser de uno en uno. Puede ser de cinco en cinco, de diez en diez, etc. Esto es conveniente para introducir luego bloques intermedios sin alterar toda la numeración. La numeración debe ser siempre creciente. Si existiera un bloque cuyo número sea menor al anterior, el control detiene la ejecución del programa.

➤ Estructura de un bloque de programación CNC

Dentro de cada bloque debe mantenerse este orden. Sin embargo, no es necesario que estén presentes todos los ítems.

Se puede programar en sistema métrico (mm) o en pulgadas.

N4 G71 G2 X, Y, Z +/- 4.3 F5.5 S4 T2.2 M2 (métrica)

N4 G70 G2 X, Y, Z +/- 3.4 F5.5 S4 T2.2 M2 (en pulgadas)

El número que acompaña cada ítem significa el número de dígitos admisible. Así por ejemplo:

N4 significa que el número de bloques no deberá ser mayor que 9999. Esto varía según la marca de control numérico.

Z +/- 4.3 significa que las cotas pueden tener valores positivos o negativos de no más de 4 dígitos enteros y 3 decimales. Normalmente el signo (+) no se programa.

➤ Bloques condicionales

Los bloques condicionales son ejecutados o no en función de la presencia de una señal externa al programa. Sirven, por ejemplo, para programar paradas para inspecciones del trabajo, cambios de herramienta, etc. Se determina la condicionalidad de un bloque agregando un punto luego del número del bloque. La señal externa normalmente es un switch en el control. Si este switch está activado, la ejecución del programa se detendrá al encontrar un bloque condicional. Si no lo está, el programa seguirá ejecutándose normalmente.

➤ Instrucciones de movimientos o preparatorias (funciones G)

El código G es el nombre del lenguaje de programación que se utiliza para el control de máquinas de tipo CNC. Un programa en escrito en este lenguaje es una lista secuencial de instrucciones que son ejecutadas por la máquina. Cada una de estas instrucciones representa un movimiento que debe realizar la máquina y el conjunto total de instrucciones representa todas las órdenes que se realizarán para el mecanizado de una pieza.

Tabla 4. Instrucciones de movimiento o preparatorias (funciones G)

Código	Instrucción	Descripción
G00	* **	Posicionamiento rápido
G01	**	Interpolación lineal
G02	**	Interpolación Circular en sentido horario
G03	**	Interpolación circular en sentido anti horario
G04		Temporizador
G05	* **	Arista matada
G06		Interpolación circular con centro en absolutas
G07	* **	Arista viva
G08		Arco tangente a la trayectoria anterior
G09		Interpolación circular definida por tres puntos

Código	Instrucción	Descripción
G10	* **	Anulación imagen espejo
G11	**	Imagen espejo en eje X
G12	**	Imagen espejo en eje Y
G13	**	Imagen espejo en eje Z
G17	* **	Plano XY
G18	**	Plano XZ
G19	**	Plano YZ
G20		Llamada a sub-rutina standard
G21		Llamada a sub-rutina paramétrica
G22		Definición de sub-rutina standard
G23		Definición de sub-rutina paramétrica
G24		Final de definición de sub-rutina
G25		Llamada incondicional
G26		Llamada condicional si igual a 0
G27		Llamada condicional si distinto de 0
G28		Llamada condicional si menor
G29		Llamada condicional si mayor o igual
G30		Visualizar error definido por K
G31		Guardar origen de coordenadas
G32		Recuperar origen de coordenadas
G33	**	Roscado electrónico
G36		Redondeo controlado de aristas
G37		Entrada tangencial
G38		Salida tangencial
G39		Achaflanado
G40	* **	Anulación de compensación de radio
G41	**	Compensación de radio a la izquierda
G42	**	Compensación de radio a la derecha
G43	**	Compensación de longitud
G44	**	Anulación de compensación de longitud
G47	**	Bloque único
G48	* **	Anulación de bloque único
G49	**	Feed programable
G50	**	Carga de longitudes de herramienta
G53	**	Traslado de origen
G54	**	Traslado de origen
G55	**	Traslado de origen
G56	**	Traslado de origen
G57	**	Traslado de origen
G58	**	Traslado de origen
G59	**	Traslado de origen
G70	**	Programación en pulgadas
G71	**	Programación en milímetros
G72	**	Escalado definido por K

Código	Instrucción	Descripción
G73	**	Giro de sistema de coordenadas
G74		Búsqueda de cero maquina
G75		Trabajo con palpador
G75 N2		Ciclos fijos de palpador
G76		Creación de bloques
G79	**	Ciclo fijo definido por el usuario
G80	* **	Anulación de ciclos fijos
G81	**	Ciclo fijo de taladrado
G82	**	Ciclo fijo de taladrado con temporización
G83	**	Ciclo fijo de taladrado profundo
G84	**	Ciclo fijo de roscado con macho
G85	**	Ciclo fijo de escarificado
G86	**	Ciclo fijo de alesado con retroceso en G00
G87	**	Ciclo fijo de cajera rectangular
G88	**	Ciclo fijo de cajera circular
G89	**	Ciclo fijo de alesado con retroceso en G01
G90	* **	Programación en absolutas
G91	**	Programación en incrementales
G92		Preselección de cotas
G93		Coordenadas polares
G94	* **	F en mm/min
G95	**	F en mm/rev
G96	**	F constante
G97	* **	F del tipo constante
G98	* **	Vuelta al plano de seguridad
G99	* **	Vuelta al plano de referencia

(*) Son las instrucciones que, por defecto, asume el control numérico cuando se lo inicia, o después de M02, M30, Reset o Emergencia.

(**) MODAL Significa que una vez que aparece la instrucción, ésta permanece activa hasta que sea reemplazada por otra instrucción o por M02, M30, Reset o Emergencia En un mismo bloque se pueden programar todas las funciones G que se quiera y en cualquier orden salvo G20, G21, G22, G23, G24, G25, G26, G27, G28, G29, G30, G31, G32, G50, G52, G53/59, G72, G73, G74, G92. Estas funciones deben ser programadas en bloques por separado. Si

en el mismo bloque se programan funciones incompatibles se detiene la ejecución del programa.

Ejemplo:

```
N50 G01 X20 Y10 Z30 F200 S1000
```

```
N60 X100
```

```
N70 G00 Z50.
```

Bloque N50, ordena a la herramienta que vaya desde las coordenadas en que se encuentre (en las que quedó luego de la ejecución del bloque anterior), en G01 (trayectoria recta) a las coordenadas X20 Y10 Z30, a una velocidad de avance (F) de 200 mm/min, con el husillo girando a (S) 1000 rpm. Bloque N60, el nuevo movimiento es en G01, no está especificado en el bloque por ser modal. Ordena ir a X100, esto significa que el movimiento no tendrá nuevas cotas en Y o Z, o sea que el nuevo destino es X100, Y10, Z30. Al no haber nuevas cotas, no es necesario incluirlas en el bloque, también son modales. Al no haber especificación de F ni de S, el movimiento se hará con los mismos valores del bloque anterior. F y S también son modales. Bloque N70, movimiento rápido G00 desde la cota anterior a Z50, asume F a la velocidad máxima de la máquina. S según último bloque. Puede programarse en forma absoluta (todos los valores están dados respecto del 0, 0, 0) o incremental (los valores son relativos a la cota previa). Por defecto los CNC asumen programación en absolutas (G90). En caso de querer trabajar en incrementales deberá programarse un G91 en la línea inicial.

➤ Funciones M (auxiliares)

Las funciones auxiliares M (tabla 5) producen distintas acciones en la máquina. Ejemplo: arrancar o detener el husillo, arrancar o detener el suministro de líquido refrigerante. Hay otras que están relacionadas con la ejecución del programa CNC: finalizarlo, resetear valores, etc. No pueden ser programadas junto con otras funciones, deben ir en bloques exclusivos y pueden incluirse hasta siete en un mismo bloque.

Tabla 5. Funciones auxiliares M

Función	Descripción
M00	Parada de programa
M01	Parada condicional del programa
M02	Final de programa
M03	Arranque del husillo en sentido horario
M04	Arranque del husillo en sentido anti-horario
M05	Parada del husillo
M06	Cambio de herramienta
M30	Final del programa con reseteo de variables

Análisis de algunas de las funciones G:

➤ G00 posicionamiento rápido

Son los desplazamientos según el plano de seguridad (Clearance Height) a la máxima velocidad de la máquina. Este plano es el definido por una cota en Z que asegura que la herramienta podrá desplazarse sin chocar con algún obstáculo. No se pueden programar movimientos G00 interpolados en 2 o más planos.

Normalmente se programa primero la salida en Z por ej. Al plano de seguridad) y luego, en otro bloque, el reposicionamiento en XY.

Para este bloque, la máquina buscará primero la cota X y luego la Y. Es decir, no interpolará. Si bien esta modalidad es la más común, puede variar según las diferentes marcas de control numérico. La función G00 es modal e incompatible con G01, G02, G03, y G33. En algunos controles G00 no anula la última F programada, en otros sí, por lo que hay que volver a programarla luego de la ejecución de un G00.

➤ G01 interpolación lineal

Pueden ser movimientos con variación simultánea en los 3 ejes. Esto significa que pueden ser trayectorias espaciales no paralelas a ninguno de los ejes. El CNC calculará las velocidades relativas según cada uno de los ejes, de manera que el resultado de la combinación sea una trayectoria rectilínea. El G01 se ejecuta a la F programada, aunque esta puede ser luego variada durante la ejecución del programa. Normalmente F es modal. G01 no puede ser incluida en un mismo bloque con G00, G02, G03 y G33.

➤ G02 y G03 interpolaciones circulares

Son trayectorias según arcos de circunferencia. Solo pueden ejecutarse en un plano determinado: XY, XZ o YZ. En este caso el CNC deberá no solo calcular las velocidades relativas de cada eje sino también la aceleración y desaceleración de los movimientos para obtener una trayectoria circular. La manera de programarla es la siguiente (para plano XY):

```
N G02 (G03) X+/-4.3 Y+/-4.3 I+/-4.3 J+/-4.3 F
```

I y J definen el centro del arco según los ejes X e Y, respectivamente. Normalmente los valores de I y J son incrementales respecto del punto de inicio de la trayectoria circular (o sea el par de cotas X e Y del bloque anterior). Sin

embargo esto puede variar según la marca del CNC. En algunos CNC que definen centro en incrementales, puede programarse un G02/G03 incluyendo un G06 en el bloque. Los valores I y J deben incluirse siempre aunque sean iguales a 0. Normalmente el F es modal para estas funciones. También puede programarse un G02/G03 de la siguiente forma:

```
N G02 (G03) X+/-4.3 Y+/-4.3 R+/-4.3 F
```

En este caso no hay definición de I y J sino de R, el radio del arco de circunferencia. Este modo tiene las siguientes limitaciones: no se pueden programar circunferencias completas; si el arco es menor de 180° R llevara signo (+) y si es mayor llevara signo (-).

➤ G05

Cuando se incluye un G05 en un bloque, el CNC comienza la ejecución del bloque siguiente durante el periodo de desaceleración del bloque anterior. El resultado es un empalme de trayectorias que producen un redondeado de las inflexiones de la trayectoria. El radio de estos redondeos es proporcional al F. Esta función es modal.

➤ G07 arista viva

Esta función determina que un bloque no sea iniciado hasta que las cotas del bloque anterior no hayan sido alcanzadas. En este caso se producen inflexiones vivas. Esta función es modal.

➤ G08 trayectoria circular tangente a la interior

Permite programar un arco tangente a una trayectoria anterior sin aplicar G02/G03. No es modal. No permite círculos completos.

```

N10 G01 X30 Y20
N20 G08 X50 Y40
N30 G08 X60 Y50
N40 G01 X90

```

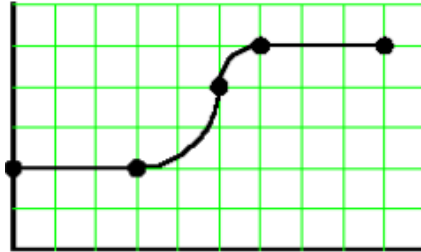


Figura 39. Trayectoria G08.

➤ G09 trayectoria circular definida por 3 puntos

Permite programar un arco definiendo el punto final y un punto intermedio. El punto inicial es el definido por el bloque anterior. No es modal. No permite círculos completos.



Figura 40. Trayectoria G09.

El punto intermedio se programa usando I y J.

G10, G11, G12 Y G13 IMAGENES ESPEJO

G10 Anulación de imagen espejo.

G11 Espejo según eje X.

G12 Espejo según eje Y.

G13 Espejo según eje Z.

Este tipo de funciones son ayudas que simplifican la programación CNC. En este caso permiten obtener simetrías sin tener que programar todos los movimientos.

Las funciones Imagen Espejo deben ser entendidas como la ejecución de un bloque anterior con el signo de la cota correspondiente al eje seleccionado, cambiada.

```
N10 G01 X-40 Y20
```

```
N20 X-20 Y40
```

```
N30 X0
```

```
N40 G11
```

```
N50 G25 N10.30
```

```
N60 G10
```

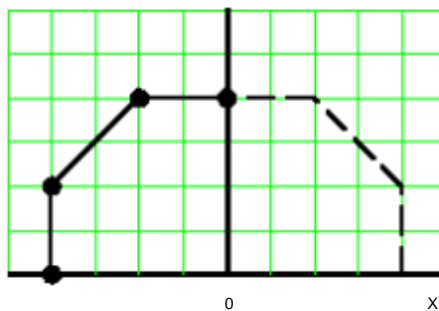


Figura 41. Trayectoria Imagen Espejo.

Los primeros tres bloques definen un poligonal. N40 llama a ejecutar una Imagen Espejo cambiando las coordenadas en X. N50 indica que se despejaran los bloques desde el N10 al N30 inclusive, G25 es una llamada específica para este tipo de instrucción. En N60, G10 anula la imagen espejo.

- G31 y G32 guardar y recuperar origen de coordenadas.

G31 permite guardar el origen de coordenadas que se esté utilizando para establecer un nuevo origen con G53/G59. En caso de ser necesario volver al origen inicial, se programara un G32. Esta función recupera los datos guardados con un G31.

- G36 redondeo controlado de aristas

Permite redondear inflexiones de la trayectoria en forma controlada sin necesidad de programar interpolaciones circulares. Debe programarse en el bloque de la trayectoria cuyo final se quiere redondear. El radio del redondeo debe ser positivo. G36 no es modal.

```
N10 G36 R20 G01 X80 Y50
```

```
N20 Y0
```

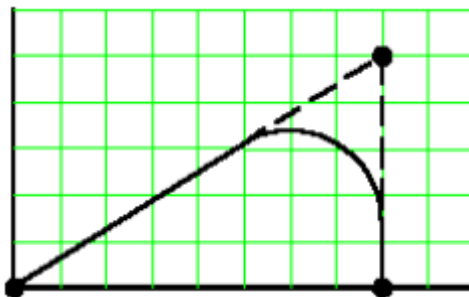


Figura 42. Redondeo controlado de aristas.

- G37 entrada tangencial

Esta función permite empalmar tangencialmente la trayectoria definida en el bloque siguiente. Se utiliza para evitar que la herramienta deje marcas indeseables en la pieza. Es el caso típico de mecanizado de superficies convexas (ej. machos) en los que la herramienta ataca lateralmente al material.

```
N10 G37 R10 G01 X40 Y20
```

```
N20 G02 X100 Y20 I30 J0
```

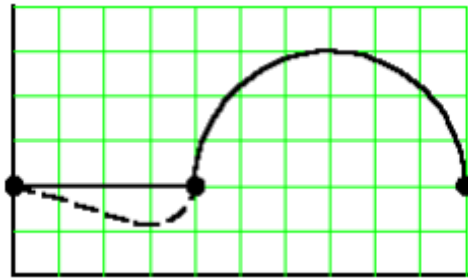


Figura 43. Entrada tangencial.

La trayectoria resultante es la de la línea punteada. Solo se puede programar G37 en un G01 o en un G00. $R=2r$ de la fresa o mayor.

➤ G38 salida tangencial

Permite salir tangencialmente de una trayectoria. Se utiliza para evitar que la herramienta deje marcas indeseables en el mecanizado de piezas convexas.

```
N10 G38 R10 G02 X60 Y20 I30 J0
```

```
N20 G01 X100
```

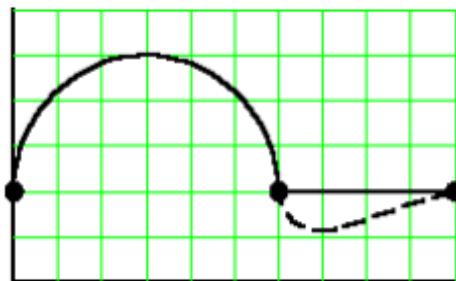


Figura 44. Salida Tangencial.

La trayectoria resultante es la de la línea punteada. G38 debe programarse en el bloque del que se sale.

➤ G39 achaflanado

Esta función permite empalmar dos trayectorias rectas mediante una tercera, también recta, sin necesidad de calcular los puntos de intersección.

```
N10 G39 R30 G01 X90 Y30
```

```
N20 X20 Y10
```

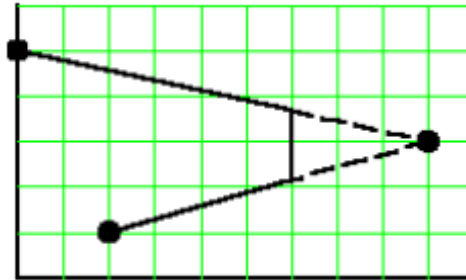


Figura 45. Achaflanado

R especifica la distancia entre el comienzo y el final del chaflán y la intersección de las dos trayectorias.

- G40, G41 y G42 compensación de radios de herramienta.
- G40 Anulación de compensación de radio de herramienta.
- G41 Compensación de radio a la derecha de la trayectoria.
- G42 compensación de radio a la izquierda de la trayectoria.

Si se supone que se quiere mecanizar un cubo de 100 mm. De lado con una fresa de $\varnothing 20$. Como las trayectorias de CNC están definidas por el "Tip" de la herramienta (su punto central más bajo), habría que recalcular la trayectoria 10 mm. Por fuera del cubo. De no hacerlo así, y de programar por las líneas que definen el cubo, se obtendría una forma de 90 mm. Recalcular las trayectorias para obtener un cubo puede no resultar difícil. Pero hacerlo para una forma compleja puede ser muy complicado. Aplicando las funciones de

Compensación de Radio, no es necesario este recálculo. Para ello la herramienta debe estar especificada en el inicio del programa con el formato Txx.pp. xx es el número de dos dígitos con el que determinada herramienta está archivada (en el momento en el que se configura el CNC puede crearse una tabla de herramientas disponibles); en donde pp es un valor de corrección del Ø nominal de la herramienta. Estas correcciones son normalmente necesarias por cuestiones de desgaste. Estos valores de corrección también están archivados en la memoria permanente del CNC. Programados un G41/G42 podrán programarse las trayectorias según las dimensiones finales de la pieza. Deben ser incluidos en el bloque anterior a aquel que se quiera ejecutar con compensación. Estas funciones son anuladas por un G40. Esta anulación debe ser incluida en el bloque que define la última trayectoria compensada. Sólo se puede incluir un G40 en una trayectoria rectilínea.

➤ G53 A G59 traslados de origen

En ciertos trabajos de mecanizado puede resultar útil trasladar el origen de coordenadas a otro punto de la pieza. Por ejemplo, cuando se quiere repetir una forma en otros lugares. Normalmente en un único programa se pueden introducir hasta 7 cambios de origen. El formato de aplicación es el siguiente:

N10 G53 X... Y... Z... (Se crea un nuevo origen)

N10 G53 (se aplica el nuevo origen creado en el bloque anterior)

Estas funciones se usan normalmente en combinación con G31/G32 (ya analizadas).

➤ G72 factor de escalado

Esta función permite agrandar o achicar las dimensiones de una pieza sin cambiar el programa. Se puede aplicar de dos maneras

```
N10 G72 K+/-2.4
```

K es el factor por el que se multiplicaran todas las cotas. Este modo escala la pieza según los tres ejes.

```
N10 G72 X+/-2.4 (por ejemplo)
```

Este modo escalara la pieza según el factor K solo en el eje X. De la misma manera pueden escalarse Y o Z. Normalmente esta función no debe aplicarse en programas que apliquen compensaciones de herramienta.

➤ G73 rotación del sistema de coordenadas

Esta función es una ayuda de programación similar a las de espejado. En este caso permiten reproducir un mecanizado ya programado rotándolo respecto del origen de coordenadas.

```
(Del bloque anterior) X-20 Y0
```

```
N10 G03 X-50 I-15 J0
```

```
N20 G01 X-20
```

```
N30 G73 A-45
```

```
N40 G25 N10.20.3
```



Figura 46. Rotación del sistema de coordenadas

A es el ángulo de rotación. En el ejemplo tiene el signo (-) porque la programación toma por defecto como positivo el sentido antihorario, y como negativo el sentido horario. La función G25 llama a repetirse a los bloques definidos por N, o sea los bloques del 10 al 20. El tercer dígito (3) indica la cantidad de veces que se repetirá la rotación. Nótese que el valor de A es incremental.

- Ciclos fijos

Los ciclos fijos permiten, en un único bloque, definir una serie de operaciones cíclicas propias de un mecanizado determinado. Los ciclos fijos más comunes son los de taladrado.

- G81 taladrado

Los bloques de ciclo fijo de taladrado tienen la siguiente conformación:

N4 G81 G98/99 X/Y/Z+/-4.3 I+/-4.3 K2.2 N2

G81: código del ciclo fijo.

G98: retroceso al plano de referencia (normalmente ubicado cerca de la superficie de la pieza).

G99: retroceso al plano de seguridad (ya explicado).

X/Y/Z: si se trabaja en el plano XY (G17), X e Y definen el punto donde se hará la primera perforación. Z define el plano de la referencia antes mencionado. Si se trabaja en absolutas, Z define la distancia desde el cero pieza. Si se trabaja en incrementales, Z define la distancia desde el plano de seguridad.

I: define la profundidad de la perforación. Si se trabaja en absolutas I define la distancia desde el plano de referencia.

K: define el tiempo de espera en el fondo de la perforación antes de iniciarse el retroceso. Valores en segundos.

N: define el número de veces que se repetirá el ciclo fijo. Si no se programa N, el ciclo se ejecuta N1. Repeticiones mayores a 1 solo tiene sentido si se trabaja en incrementales.

➤ G83 taladrado profundo.

Este tipo de ciclo fijo se aplica cuando, por la profundidad de la perforación, es necesario levantar cíclicamente la broca para que se descargue la viruta.

Los bloques de ciclo fijo de taladrado profundo tienen dos conformaciones posibles.

La primera es:

N4 G83 G98/99 X/Y/Z+/-4.3 I+/-4.3 J2 N2.

La diferencia con G81 está en que I define cada cota de penetración en incrementales. J define la cantidad de penetraciones según el incremento I.

La segunda es:

N4 G83 G98/99 X/Y/Z+/-4.3 I+/-4.3 B4.3 C4.3 D4.3 H4.3 J2 K2.2

I: profundidad total del mecanizado. En absolutas, respecto del cero pieza. En incrementales, respecto del plano de referencia.

B: profundización incremental para cada paso (valor positivo).

C: distancia de la profundización anterior para bajar en G00.

D: distancia entre el plano de referencia y la superior de la pieza.

H: distancia de retroceso en G00. Si la figura retrocede hasta PR.

J: cada cuantas penetraciones hay retroceso hasta PR.

K: tiempo en segundos antes de iniciarse un retroceso.

- Ciclos fijos de cajeras

Se denomina cajeras (pockets) a las operaciones de vaciado de formas cerradas. Pueden ser cajeras rectangulares o cajeras circulares. En estas operaciones la herramienta no solo recorre el contorno de la figura sino que además realiza todos los movimientos necesarios para retirar el material comprendido dentro de la figura.

- G87 cajera rectangular

El formato del bloque de esta función es el siguiente:

```
N4 G87 X/Y/Z+/-4.3 I+/-4.3 J+/-4.3 K+/-4.3 B4.3 C4.3 D4.3 N2
```

X/Y/Z: cotas del centro de la cajera.

I: profundidad total de la cajera. En absolutas, respecto del cero pieza.

En incrementales, respecto del plano de referencia.

J: distancia en X desde el centro al borde de la cajera.

K: distancia en Y desde el centro al borde de la cajera.

B: profundización incremental por pasada.

C: Incremento lateral (step-over)

D: distancia entre el PR y la superficie de la pieza.

N: número de veces que se repetirá el ciclo. Solo en G91.

➤ G88 cajera circular

Tiene el mismo formato de la cajera rectangular. Se diferencia en que J define el radio de la cajera y no se incluye el valor K.

D: distancia entre el PR y la superficie de la pieza.

N: número de veces que se repetirá el ciclo. Solo en G91.

✓ Otras funciones

Como se habrá observado en la lista completa de las funciones de programación CNC, existen muchas otras que no han sido explicadas en este apunte. Las mismas corresponden a operaciones de ejecución circunstancial y rara vez son aplicadas. Las funciones explicadas son las de utilización más frecuente.

✓ Funciones utilizadas por los sistemas CAM

Los sistemas CAM aplican solamente 4 funciones, G00, G01, G02 y G03. Eventualmente pueden generar ciclos fijos de taladrado, roscado, etc., y generar programas con compensaciones de herramienta. De hecho un CAM es un programador elemental pero sumamente veloz. Mucho más veloz que la programación manual. Si se analizan las 100 funciones de la lista, se puede concluir que la gran mayoría tienen la función de aliviar la tarea de la programación manual.

1.4. CONTROLADOR CNC

Un Control Numérico Computarizado (CNC) es un dispositivo digital de control numérico que cumple la función de controlar máquinas herramientas y sus procesos. Ofrecen capacidades que van desde el control de una simple relación de movimiento de punto a punto, hasta el control de algoritmos muy complejos, con múltiples ejes de control. Los controladores CNC se utilizan para equipar a muchos tipos de maquinaria en un taller o planta fabril.

Algunos ejemplos incluyen Centros de Mecanizado Verticales y Horizontales, tornos, Rectificadoras, equipos de Mecanizado por Descarga Electroestática (EDM), Pantógrafos de Oxicorte y Plasma-Corte, LASER y dispositivos para la inspección de equipos.



Figura 47. Controlador CNC [7].

1.4.1. Tipos de controladores

Hoy en día se ofrecen controladores CNC en forma de kits, para la modificación o conversión de una máquina herramienta manual a una máquina automática por CNC. El proceso de recambio de un sistema analógico CN a uno digital CNC o la implantación de un sistema CNC en una máquina herramienta manual, habitualmente recibe la denominación de “retrofitting”, la cual resume la idea de las tareas necesarias para la incorporación de esta mejora en el dispositivo al cual se le está aplicando.

De esta forma, es posible prolongar la vida útil de una máquina usada, en buenas condiciones generales, dotándola de los medios tecnológicos más modernos, que le permitirán ofrecer mejores prestaciones en cuanto a velocidad y precisión. Estos kits incluyen componentes comunes, tales como:

- el software,
- el cableado,
- uno o varios generadores de señales,
- controladores, y
- motores

Hoy en día son comunes los controladores CNC configurados como paneles computarizados de control, instalados en el mismo gabinete o chasis de la máquina herramienta que controla. Otros están alojados en gabinetes independientes y separados de la misma. También hay controladores “de escritorio”, los cuales permiten a los operadores controlar los equipos y procesos de forma remota o desde oficinas separadas y próximas al entorno de trabajo. Existen alternativas que responden a necesidades de mejor ergonomía, los cuales adoptan la forma de paneles “colgantes”. En estos, los controladores cuelgan de un brazo articulado fijado al chasis de la máquina herramienta,

permitiendo así su fácil reubicación de acuerdo a las necesidades del trabajo. Es también habitual encontrar controladores de “pedestal”, los cuales se asientan en la parte superior de un brazo fijo conectado a la máquina.

En estos últimos años se han generalizado los controladores con pantalla integral, pantallas táctiles y teclados en pantallas táctiles. Algunas de las características ofrecidas por los modernos controladores CNC incluyen alarmas y monitoreo de eventos, almacenamiento de datos en disco rígido, almacenamiento en dispositivos de memoria no volátil tipo “Flash”, tales como “Pen-Drives”, con conector Bus en Serie Universal (USB), “Memory Stick” con conexión tipo SD o Micro SD, así como también programas de almacenamiento de múltiples trabajos y su control simultáneo.

Los controladores CNC también se diferencian en términos del protocolo de comunicación industrial que adoptan. Los tipos más comunes son: Red de Recursos de Computador Conectado (ARCNET), Bus de Control de Red (CAN-Bus), Red de Control (ControlNet), Data Highway Plus (DH +), DeviceNet, Ethernet 10 Base T o 100 Base-T, y el Proceso de Bus de Campo (PROFIBUS ®). También se emplean protocolos de comunicación por puertos paralelos, incluidos en la normativa IEEE 1284, nivel bi-direccional del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) de Estados Unidos de América del Norte.

Algunos controladores se conectan por medio de interfaces en serie, que realizan la transmisión de datos un bit a la vez y son el RS232, RS422 y RS485. También hay controladores CNC que utilizan USB para su conexión, el cual consta de 4 cables y velocidad de transmisión de 12 Mbps. Este por lo general se emplea para conectar a velocidades bajas o medias, dispositivos periféricos o computadoras personales (PC).

Existen pros y contras, y una gran variedad de alternativas disponibles. Algunas máquinas herramientas CNC hacen un uso “coloquial” de la programación, poniendo a disposición del operador un asistente “virtual”, que se muestra gráficamente en la GUI. De este modo evita por completo el uso de código G en la instancia de programación, no obstante el mismo subyace detrás de la presentación gráfica, que se exhibe en la pantalla gráfica del controlador. Este recurso es conocido como “modo de programación conversacional” y tiene la particularidad de adoptar herramientas y procedimientos originarios del ámbito de la microinformática, resumidos en el concepto de “programación orientada a objetos”. Algunos ejemplos más populares son ProtoTRAK del fabricante Southwestern Industries, Mazatrol de Mazak, Ultimax de Hurco y el software CAPS de programación conversacional de Mori Seiki.

1.5. CONTROL DE ARTICULACIONES

Para el control de las articulaciones es necesario definir los diferentes tipos de motores actuadores que se utilizan en los manipuladores robóticos.

1.5.1. Tipos de actuadores de articulaciones

Los actuadores de las articulaciones por lo general son: motores paso a paso y servomotores. En este caso se definen los motores paso a paso y los servomotores.

1.5.2. Motores paso a paso

El motor paso a paso es un actuador o transductor electromagnético incremental que convierte pulsos eléctricos en desplazamientos angulares de

un eje. Este motor es en sí mismo un conversor digital-analógico ya que convierte una señal eléctrica digital en un desplazamiento angular del rotor.

Las características anteriormente mencionadas hacen que el movimiento sea preciso, constante y repetible; dándole al motor paso a paso una elevada capacidad de posicionamiento, lo que permite utilizarlos en sistemas que requieren un control exacto de velocidad, distancia y dirección de un movimiento.

Lo más importante del motor paso a paso es que el único error sistemático que produce es el error de paso que generalmente es menor que el 5% del valor del paso. Este error no es acumulativo, o sea que es independiente del desplazamiento total girado y del número de veces que se repita la posición final.

El motor paso a paso es generalmente controlado por una fuente de potencia de corriente continua y un circuito lógico (driver) y que constituyen un elemento clave en la performance mismo.

✓ Tipos de motor paso a paso.

Existen tres grandes grupos de motores paso a paso, según su principio de funcionamiento que son:

a) Motores de reluctancia variable.

Las máquinas de reluctancia variable son tal vez las más sencillas entre las máquinas eléctricas, y no son exclusivamente motores paso a paso, sino que también pueden ser usadas como máquinas analógicas.

Constan de un estator con devanados de excitación, y un rotor magnético con salientes. No se necesitan conductores en el rotor porque el par se produce por la tendencia del rotor a alinearse con la onda de flujo producida por el estator de acuerdo con la posición de menor reluctancia. Esto es una

característica importante porque significa que en estas máquinas todas las pérdidas resistivas del devanado se presentan en el estator. Como en general el estator tiene mejor disipación de calor que el rotor, el resultado suele ser un motor más pequeño para similar prestación.

Las máquinas de reluctancia variable se pueden clasificar en dos tipos: de saliente simple y de saliente doble.

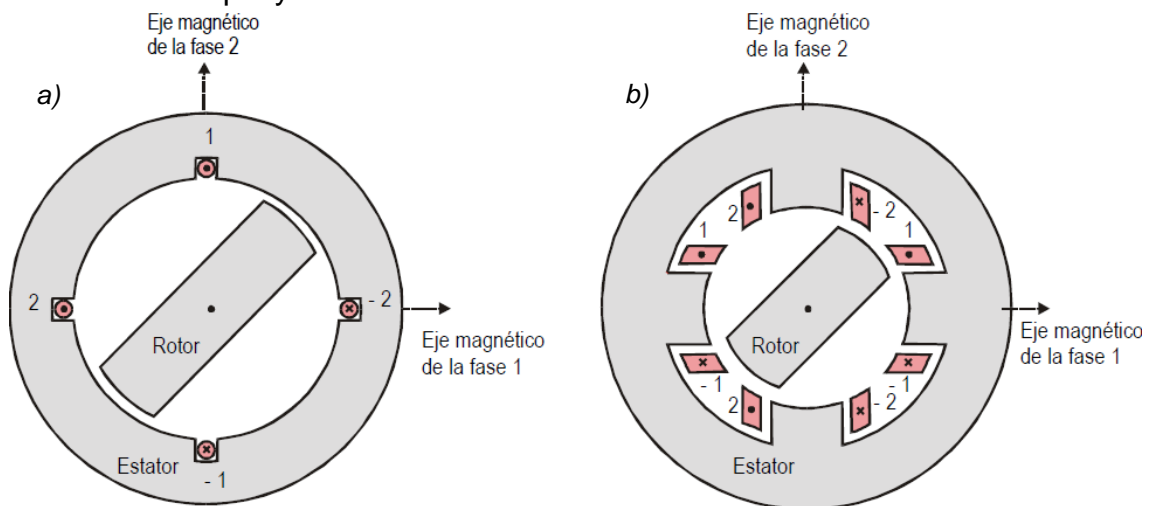


Figura 48. Cortes de máquinas de reluctancia variable. a) Saliente simple. b) Dos fases de saliente doble.

La figura 48 a muestra un corte de una máquina de reluctancia variable de saliente simple. Se observa un devanado bifásico de estator, aunque puede tener cualquier número de fases. La inductancia de cada devanado de fase de estator varía con la posición del rotor de tal modo que la inductancia es máxima cuando el eje del rotor está alineado con el eje magnético de esa fase, y es mínima cuando los dos ejes son perpendiculares.

La figura 48 b muestra el corte transversal de una máquina de reluctancia variable de dos fases de saliente doble. El estator saliente tiene cuatro polos, cada uno con un devanado. Los devanados de los polos opuestos son de la misma fase. Así, esta máquina es también bifásica. De igual modo, la

inductancia de fase de esta configuración varía desde un valor máximo, cuando el eje del rotor está alineado con el de esa fase, hasta un mínimo, cuando son perpendiculares. De hecho, la única diferencia básica entre las dos configuraciones es que la saliente del estator aumenta la diferencia entre las inductancias máximas y mínima, lo cual a su vez aumenta las características de producción de par de la máquina. Las máquinas de saliente doble son el tipo predominante de máquinas de reluctancia variable.

Cuando se excita con corriente continua una de las bobinas de fase, el rotor se alineará con la misma en la posición de mínima reluctancia. Para apartar el rotor de esa posición se requiere de una cierta cupla que se llama cupla de retención. Ésta es proporcional al cuadrado de las corrientes de fase, y por consiguiente depende tan sólo de la magnitud de las corrientes de fase y no de su dirección.

La geometría de las máquinas simétricas como las mostradas en la figura 48 presenta algún tipo de incertidumbre en cuanto al posicionamiento del rotor. A continuación se analiza un motor de reluctancia variable de 4 fases en el estator y 5 dientes en el rotor (figura 49).

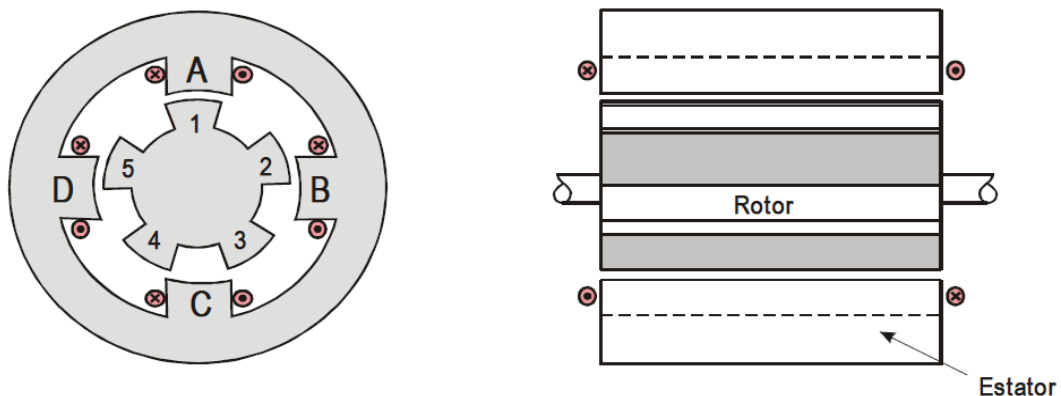


Figura 49. Motor de reluctancia variable de 4 fases y 5 dientes.

Para lograr que este motor gire en sentido horario partiendo de la posición indicada se debe seguir la siguiente secuencia de excitación.

Paso 1: Energizar la bobina B; el diente 2 se alinea con el polo B.

Paso 2: Desenergizar B; Energizar C; el diente 3 se alinea con el polo C.

Paso 3: Desenergizar C; Energizar D; el diente 4 se alinea con el polo D

Paso 4: Desenergizar D; Energizar A; el diente 5 se alinea con el polo A

En cuatro pasos el rotor ha girado 72° o sea que se trata de un motor de reluctancia variable de un paso de 18° .

El principal inconveniente del motor de reluctancia variable radica en que en condiciones de reposo (sin excitación) el rotor queda en libertad de girar.

b) Motores paso a paso de imán permanente.

En los motores paso a paso de imán permanente el rotor es un imán permanente.

Funciona con el principio básico del magnetismo: polos de igual signo se repelen y polos de signo opuesto se atraen. Si el estator tiene una sola fase constituida por uno o dos bobinados (figura 50a) al invertir la corriente en el bobinado se invertirá polaridad efectuando el rotor un giro de 180° pero no se puede predeterminar el sentido de giro. Si en cambio el estator se hace de 2 fases (figura 50b) se elimina esa incertidumbre.

Excitando las fases del estator de forma tal que las caras A y B sean polos sur y las D y C sean polos norte, el lado norte del rotor se ubicará entre las caras A y B. Si se invierte la corriente en los bobinados A y C el lado norte del rotor se ubicará entre las caras B y C efectuando un giro de 90° . En cada

cambio de sentido de la corriente en fases sucesivas el rotor girará un paso de 90° . Para cambiar el sentido de giro hay que cambiar la secuencia.

En los rotores de imanes permanentes se suele mecanizar un número de dientes limitado por su estructura física. El hecho de ser dentado hace que su posicionamiento no varíe aun desapareciendo la excitación. Esto le permite una mayor precisión.

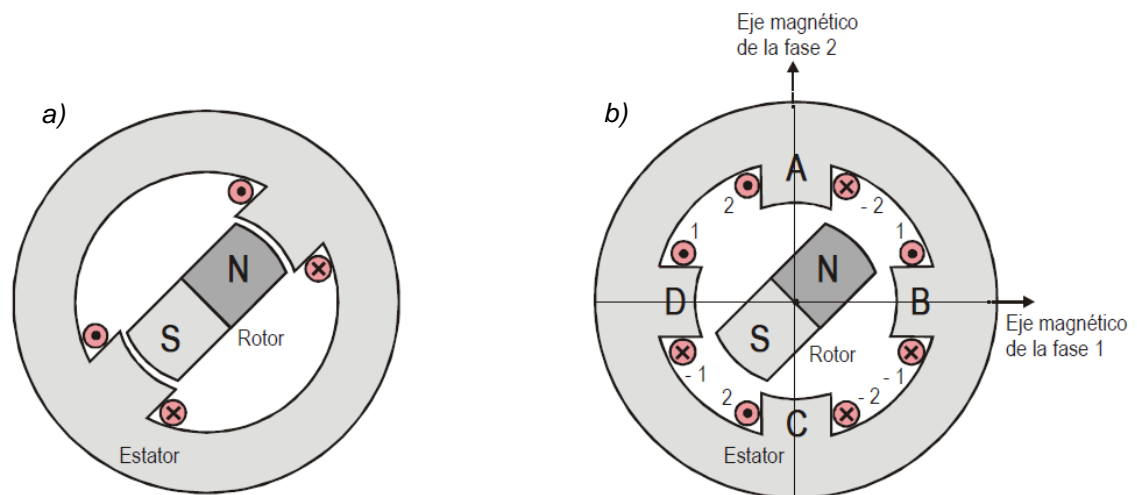


Figura 50. Motores paso a paso de imán permanente. a) una fase. b) dos fases

c) Motores paso a paso Híbridos

Los motores paso a paso híbridos son combinación de los dos tipos anteriores; el rotor suele estar constituido por anillos de acero dulce dentado en un número ligeramente distinto al del estator y dichos anillos montados sobre un imán permanente dispuesto axialmente.

En la figura 51 se muestra un motor paso a paso híbrido en donde el rotor es un imán permanente axial con dos anillos de acero de 5 dientes y el estator es de 4 dientes y dos fases.

En este caso las bobinas del estator de lados opuestos se excitan simultáneamente de forma tal que cuando a un diente le corresponde el polo norte al diente opuesto le corresponde el polo sur.

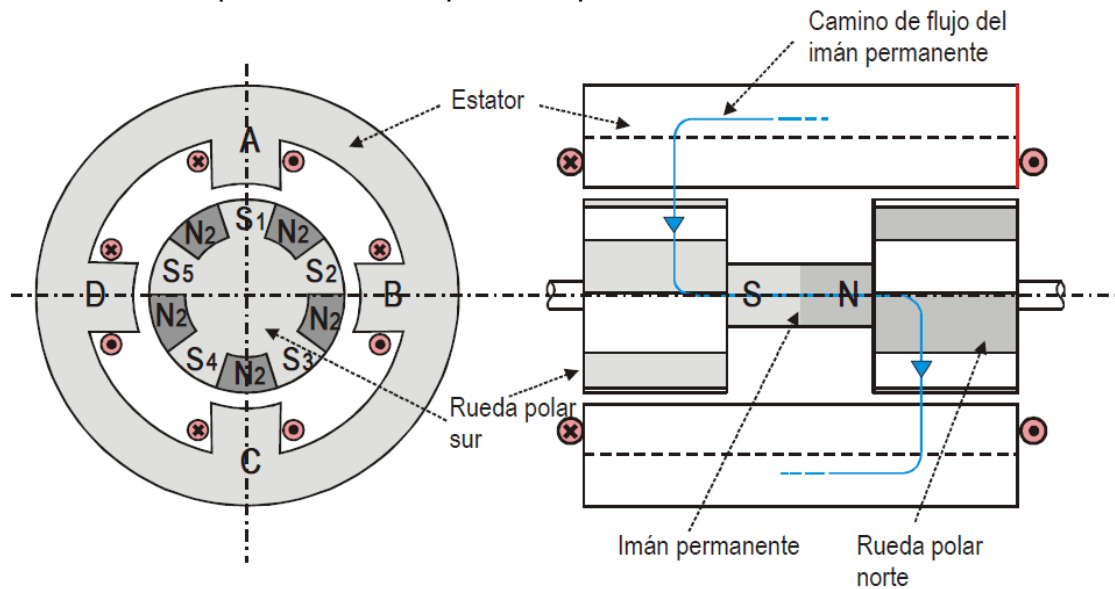


Figura 51. Motor de paso híbrido

Para lograr que este motor gire en sentido horario partiendo de la posición indicada se debe seguir la siguiente secuencia de excitación.

Paso 1: Energizar las bobinas B y D con el sentido de corriente indicado en la figura 51; el diente S2 se alinea con el diente B (norte).

Paso 2: Desenergizar B y D; Energizar las bobinas A y C con el sentido de corriente inverso al indicado en la Figura 51; el diente S3 se alinea con el diente C (norte).

Paso 3: Desenergizar A y C; Energizar las bobinas B y D con el sentido de corriente inverso al indicado en la Figura 51; el diente S4 se alinea con el diente D (norte).

Paso 4: Desenergizar B y D; Energizar las bobinas A y C con el sentido de corriente inverso al indicado en la Figura 51; el diente S5 se alinea con el diente A (norte).

En cuatro pasos el rotor ha girado 72° o sea que se trata de un motor híbrido de un paso de 18° . La diferencia con el similar de reluctancia variable es que la cupla es mayor porque la atracción magnética es ejercida en dos caras y el vínculo magnético es mucho más fuerte.

✓ Características de los motores paso a paso.

Desde el punto de vista mecánico, es importante conocer algunas de las principales características que se definen sobre un motor paso a paso.

- Par dinámico o de trabajo (Working Torque): depende de sus característica dinámicas y es el momento máximo que el motor es capaz de desarrollar sin “perder” paso, es decir, sin dejar de responder a algún impulso de excitación del estator y dependiendo, evidentemente, de la carga. Generalmente se ofrecen, por parte del fabricante, curvas denominadas de arranque sin error (pull-in) y que relaciona el par en función del número de pasos por segundo.

- Par de mantenimiento (Holding Torque): es el par requerido para desviar, en régimen de excitación, un paso el rotor cuando la posición anterior es estable; es mayor que el par dinámico y actúa como freno para mantener el rotor en una posición estable dada.

- Par de detención (Detent Torque): es un par de freno que, siendo propio de los motores de imán permanente, es debido a la acción del rotor cuando los devanados estáticos están desactivados.

Según lo anterior, las características principales que definen a un motor paso a paso son:

- Angulo de paso (Step angle): avance angular producido bajo un impulso de excitación. Se expresa en grados.
- Número de pasos por vuelta: es la cantidad de pasos que ha de efectuar el rotor para realizar una revolución completa; evidentemente

$$NP = \frac{360^\circ}{\alpha}$$
 Ec. 5; Donde NP es el número de pasos y α el ángulo de paso.

- Error de paso: indica el error total introducido por el motor en el movimiento de un paso simple. Se expresa en porciento, y en construcciones normales es inferior al 5%.
 - Frecuencia de paso máxima: es el máximo número de pasos por segundo que el rotor puede efectuar obedeciendo a los impulsos de control.
 - Momento de inercia del rotor: es su momento de inercia asociado que se expresa en [g.cm²].
 - Par de mantenimiento, de detención y dinámico: definidos anteriormente y expresados en mili Newton * metro (mN * m).

✓ Aplicación de motores paso a paso.

Cada aplicación de un motor paso a paso requiere un cuidadoso estudio. Deben tenerse en cuenta las indicaciones siguientes:

- No se puede lograr una precisión de posicionado mayor que la declarada para el motor funcionando en vacío (normalmente ésta es un 6% del paso).

- Al seleccionar la cupla de retención hay que tener en cuenta que cuando el sistema accionado presenta una fricción importante el rotor no alcanza la posición teórica de reposo.
- La carga debe estar perfectamente definida, y su inercia debe conocerse al menos en forma aproximada.
- Hay que tener en cuenta el comportamiento dinámico del conjunto (velocidades de trabajo, aceleración y desaceleración).
- Elegir una fuente de alimentación que pueda suministrar la máxima corriente requerida por el motor con la máxima tensión; ello permite utilizar resistencias externas de alto valor, que mejoren la constante de tiempo del sistema.
- Elegir incrementos de movimiento del sistema que sean múltiplos exactos del paso del motor. Ello permite obtener la máxima precisión de posicionado y simplifica el problema de control.
- Lograr una adecuada relación entre la inercia del sistema y la propia del rotor. Generalmente las curvas “cupla –velocidad” se obtienen con dinamómetros cuya inercia no es mayor de dos veces la inercia propia del motor por lo tanto en las aplicaciones prácticas es recomendable aproximarse a dicha relación.

✓ Motores de paso nema 2

National Instruments ofrece una solución completa paso a paso de control de movimiento - incluyendo motores paso a paso, unidades, controladores y software - que es fácil de instalar, configurar y programar. Motores paso a paso disponibles de NI ofrecen alta torsión, precisión y fácil conectividad a drives de motor paso a paso. Debido a su facilidad de uso,

necesidades de control simplificados, y la libertad de los requisitos de retroalimentación caros, motores paso a paso son una excelente solución para aplicaciones como el control de la máquina, pruebas de fabricación, colocación de semiconductores, equipos biomédicos, y la automatización de laboratorio.

Aplicación y tecnología



Figura 52. Motor de paso NEMA 23 (conjunto)

➤ Motores paso a paso

- NEMA 17,23 y 34
- Hasta 12.1 Nm (1710 oz-in) de torque de retención
- 3000 rpm de velocidad máxima
- 1.8 ángulo de paso
- Posee un controlador P7000 de alto rendimiento

➤ Codificadores

- 1000 cuentas/revolución
- NEMA 23 y 34, compatibilidad del motor
- Bajo perfil 1in. (25.4mm) alto diseño y fácil de montar
- Construcción Industrial

✓ Hardware

Motores paso a paso ofrecen, un efectivo control de movimiento muy preciso. Los motores de 2 fases inherentemente mueven en incrementos pequeños, precisos, 1.8° en 200 pasos/revolución, y son sin escobillas y exento de mantenimiento. La acción paso a paso es simple de controlar y no requiere dispositivos de retroalimentación complicados, caros. National Instruments también ofrece encoders (codificadores) adaptados a los motores para aplicaciones donde se requiere la verificación de la posición. Motores paso a paso están disponibles en NI en tres Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (NEMA) de diferentes tamaños de bastidor y con un único o un eje dual. Los motores proporcionan un rendimiento óptimo y una conectividad sencilla cuando se combina con las unidades P7000 serie de pasos disponibles de NI.

NEMA 23

➤ Eléctrico

-	Angulo de paso	1.8 grados
-	Paso por revolución	200
-	Precisión angular	±3%
-	Fases	2

➤ Estándares de la Industria

-	Estándar industrial	CE, CUR, UR
-	Compilación RoHS	Si

➤ Físico

-	Temperatura de operación	-20 a 40°C
-	Ambiente de temperatura nominal	40°C
-	Carga sobre el eje (20000 horas a 1500 rpm)	

- Radial 20lb (9.1kg) al centro del eje
- Empuje axial 6lb (2.7Kg)
- Tracción 50lb (22.7Kg)
- Tamaño recomendado para el disipador de calor 10x10x1/4 aluminio
- Codificador recomendado 780251-01

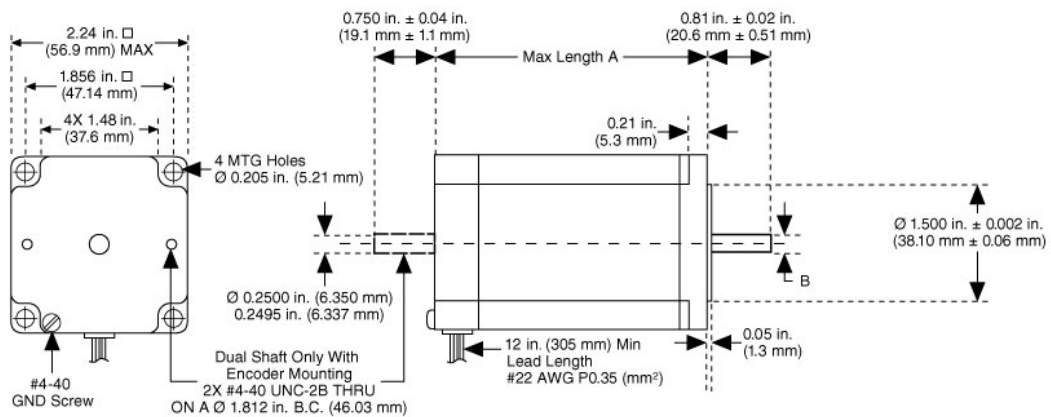


Figura 53. Dimensiones y alambrado del motor paso a paso NEMA 23 [8].

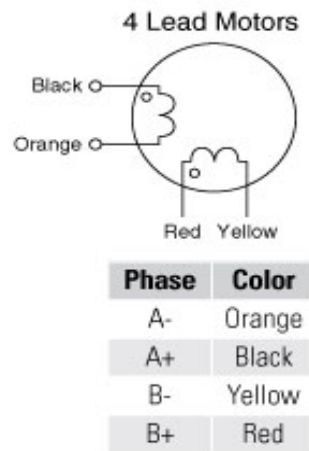


Figura 54. Conexión del motor e identificación del alambrado [8].

1.5.3. Introducción a los Servomotores

Un servomotor (o servo) es un motor de corriente continua que tiene la capacidad de ser controlado en posición.

Es capaz de ubicarse en cualquier posición dentro de un rango de operación (generalmente de 180°) y mantenerse estable en dicha posición. Los servos se suelen utilizar en robótica, automática y modelismo (vehículos por radio-control, RC) debido a su gran precisión en el posicionamiento.

En general, los servos suelen estar compuestos por 4 elementos fundamentales, pero aparte de estos elementos principales se puede observar los que se muestran en la Figura 55:

- Motor de corriente continua (DC): Es el elemento que le brinda movilidad al servo. Cuando se aplica un potencial a sus dos terminales, este motor gira en un sentido a su velocidad máxima. Si el voltaje aplicado sus dos terminales es inverso, el sentido de giro también se invierte.
- Engranajes reductores: Tren de engranajes que se encarga de reducir la alta velocidad de giro del motor para acrecentar su capacidad de torque (o par-motor).
- Sensor de desplazamiento: Suele ser un potenciómetro colocado en el eje de salida del servo que se utiliza para conocer la posición angular del motor.
- Circuito de control: Es una placa electrónica que implementa una estrategia de control de la posición por realimentación.

Para ello, este circuito compara la señal de entrada de referencia (posición deseada) con la posición actual medida por el potenciómetro. La diferencia entre la posición actual y la deseada es amplificada y utilizada para mover el motor en la dirección necesaria para reducir el error.



Figura 55. Componentes de un servo: carcasa; motor DC; potenciómetro; circuito de control; tren reductor; brazo (elemento terminal en el eje)

✓ Tipos de servomotor

Existen aproximadamente 3 tipos diferentes de servomotores según la tecnología utilizada.

1) Servomotores analógicos.

Los primeros servomotores, primera generación, eran servomotores analógicos. Dichos servomotores reciben la señal PWM que directamente es “leída”, comparada con un potenciómetro, resistencia variable unido al eje del servomotor que varía según la posición de éste, y se indica (se alimenta) al motor de rotación continua si debe moverse hacia delante, hacia atrás o no moverse.

2) Servomotores digitales.

Posteriormente aparecieron los servomotores digitales. Éstos servomotores son mucho más precisos y de reacciones más rápidas que los de primera generación, los analógicos. Los servomotores digitales básicamente

introducen una pre-etapa al tratamiento de la señal. Esta pre-etapa consiste en analizar y reconstruir la señal PWM que le llega, y una vez limpia y perfecta, es introducida en la etapa analógica. Además, suelen añadir diversos trucos como multiplicar por 5 la frecuencia de la señal PWM para que el movimiento del servomotor sea más preciso y fluido.

3) Servomotores serie.

Por último, aparecieron los servomotores de tercera generación, los servomotores serie. Se denominan servomotores serie porque su control ya no se realiza con una señal PWM, sino que se hace por el puerto serie. Los servomotores serie permiten el control de los servomotores mucho más preciso y rápido, ya que en las anteriores generaciones, al menos se debía esperar 20 ms para notificar un cambio en la posición del servomotor. Por otro lado el cableado es mucho más sencillo y corto, ya que se conectan los servomotores uno detrás de otro y el microcontrolador tan sólo debe tener una única salida (aunque ésta se suele duplicar) evitando así tener decenas de pines dedicados para el control de los servomotores.

Finalmente se añaden características especiales tanto a los servomotores digitales como a los serie, permitiendo programarles el centro, ángulos máximos de giro, y comunicación en dos direcciones donde el servomotor puede devolver información de su posición, consumo, temperatura. En los de segunda generación, ésta información se manda en el tiempo de inactividad que se produce entre pulso y pulso de la señal PWM.

✓ Funcionamiento del servo. Control PWM

La modulación por anchura de pulso (PWM), es una de los sistemas más empleados para el control de servos. Este sistema consiste en generar una onda cuadrada en la que se varía el tiempo que el pulso está a nivel alto, manteniendo el mismo período (normalmente), con el objetivo de modificar la posición del servo según se desee.

Para la generación de una onda PWM en un microcontrolador, lo más habitual es usar un temporizador y un comparador (interrupciones asociadas), de modo que el microcontrolador quede libre para realizar otras tareas, y la generación de la señal sea automática y más efectiva. El mecanismo consiste en programar el temporizador con el ancho del pulso (el período de la señal) y al comparador con el valor de duración del pulso a nivel alto. Cuando se produce una interrupción de rebose del temporizador, la subrutina de interrupción debe poner la señal PWM a nivel alto y cuando se produzca la interrupción del comparador, ésta debe poner la señal PWM a nivel bajo. En la actualidad, muchos microcontroladores, como el 68HC08, disponen de hardware específico para realizar esta tarea, eso sí, consumiendo los recursos antes mencionados (temporizador y comparador).



Figura 56. PWM para recorrer todo el rango de operación del servo ^[9].

El sistema de control de un servo se limita a indicar en qué posición se debe situar. Esto se lleva a cabo mediante una serie de pulsos tal que la duración del pulso indica el ángulo de giro del motor. Cada servo tiene sus

márgenes de operación, que se corresponden con el ancho del pulso máximo y mínimo que el servo entiende. Los valores más generales se corresponden con pulsos de entre 1 y 2 ms de anchura, que dejarían al motor en ambos extremos (0 y 180°). El valor 1.5 ms indicaría la posición central o neutra (90°), mientras que otros valores del pulso lo dejan en posiciones intermedias. Estos valores suelen ser los recomendados, sin embargo, es posible emplear pulsos menores de 1 ms o mayores de 2 ms, pudiéndose conseguir ángulos mayores de 180°. Si se sobrepasan los límites de movimiento del servo, éste comenzará a emitir un zumbido, indicando que se debe cambiar la longitud del pulso. El factor limitante es el tope del potenciómetro y los límites mecánicos constructivos.

El período entre pulso y pulso (tiempo de OFF) no es crítico, e incluso puede ser distinto entre uno y otro pulso. Se suelen emplear valores de ~ 20 ms (entre 10 y 30 ms). Si el intervalo entre pulso y pulso es inferior al mínimo, puede interferir con la temporización interna del servo, causando un zumbido, y la vibración del eje de salida. Si es mayor que el máximo, entonces el servo pasará a estar inmóvil entre pulsos. Esto provoca que se mueva con intervalos pequeños.

Es importante destacar que para que un servo se mantenga en la misma posición durante un cierto tiempo, es necesario enviarle continuamente el pulso correspondiente. De este modo, si existe alguna fuerza que le obligue a abandonar esta posición, intentará resistirse. Si se deja de enviar pulsos (o el intervalo entre pulsos es mayor que el máximo) entonces el servo perderá fuerza y dejará de intentar mantener su posición, de modo que cualquier fuerza externa podría desplazarlo.

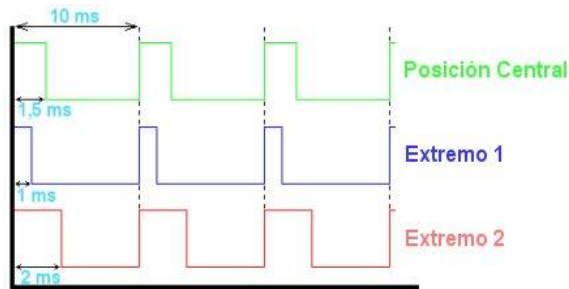


Figura 57. Tren de pulsos para control del servo [9].

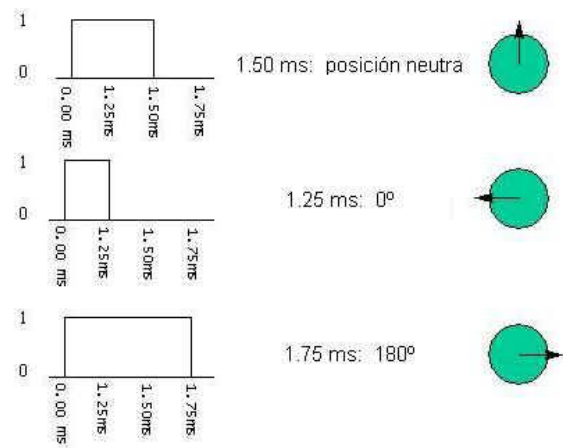


Figura 58. Otra posibilidad de pulsos de control [9].

✓ Principios de Funcionamiento

Los servos disponen de tres cables (Figura 59): dos cables de alimentación (positivo y negativo/masa) que suministran un voltaje 4.8-6V y un cable de control que indica la posición deseada al circuito de control mediante señales PWM (“Pulse Width Modulation”).

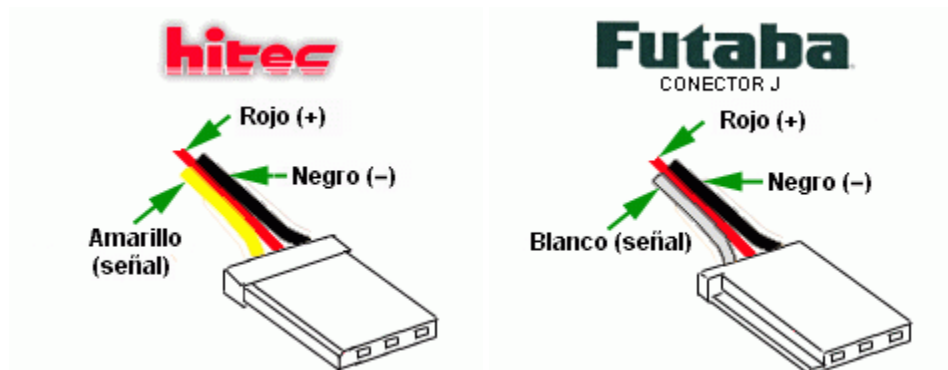


Figura 59. Colores de los cables de los principales fabricantes de servos [9].

Las señales PWM utilizadas para controlar los servos están formadas por pulsos positivos cuya duración es proporcional a la posición deseada del servo y que se repiten cada 20 ms (50 Hz). Todos los servos pueden funcionar

correctamente en un rango de movimiento de 90° , que se corresponde con pulsos PWM comprendidos entre 0.9 y 2.1 ms. Sin embargo, también existen servos que se pueden mover en un rango extendido de 180° y sus pulsos de control varían entre 0.5 y 2.5 ms (Figura 60). Antes de utilizar un servo habrá que comprobar experimentalmente su rango de movimiento para no dañarlo. Para mantener fijo un servo en una posición habrá que enviar periódicamente el pulso correspondiente; ya que si no recibe señales, el eje del servo quedará libre y se podrá mover ejerciendo una leve presión.

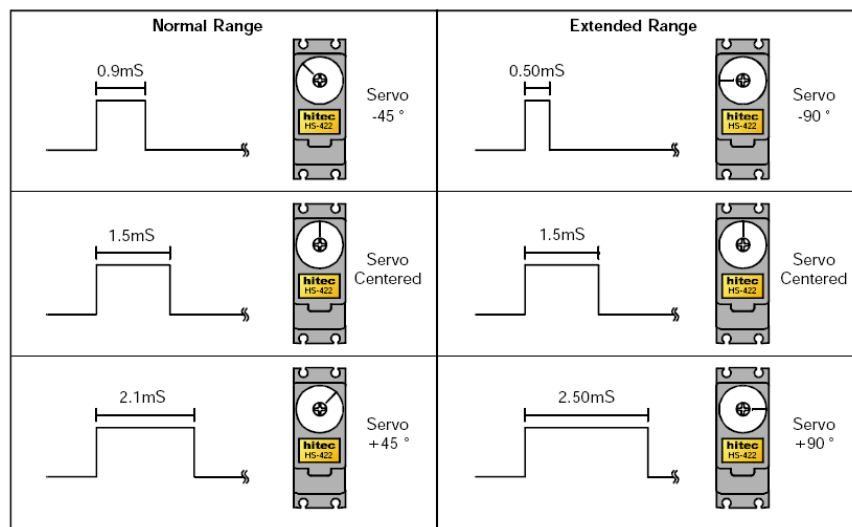


Figura 60. Diagrama de pulsos PWM para controlar servos [9].

✓ Control de Servos

Para controlar los servos se les deben enviar pulsos PWM a través del cable de control. En los sistemas de modelismo, se utilizan dos componentes para controlar los servos: un receptor y una emisora. El receptor es el componente que se encarga de recibir los comandos inalámbricamente de la emisora y transformarlos en los pulsos PWM correspondientes que son enviados a los servos. La emisora es un mando que transmite las órdenes al receptor a través de señales inalámbricas con modulación AM, FM o PCM.



Figura 61. Recepción y distribución de pulsos PWM para controlar servos ^[9].

Sin embargo, estos sistemas no se pueden conectar a un PC y la única forma de controlar los servos es con el mando. Existen otros circuitos controladores especialmente diseñados para controlar servos a través del PC. Suelen utilizar la interfaz serie (RS-232) para recibir los comandos de control. Estos comandos suelen ser diferentes dependiendo del modelo.

✓ Comparativa de Controladores Serie de Servos

Un Controlador Serie de Servo (SSC) es un dispositivo utilizado para controlar servos desde un PC a través del puerto serie. Los SSC aceptan comandos con un determinado formato desde el puerto serie del PC y los transforman en pulsos PWM que son enviados a los servos que se desea controlar.

➤ Mini SSC II

Mini SSC II (Figura 62) es un controlador de la empresa Scott Edwards Electronics Inc. Que puede controlar hasta un máximo de 8 servos. Se conecta al PC a través de un cable serie (con conector RJ11 en el extremo del controlador y conector DB9 en el extremo del PC) y puede comunicarse con el

puerto serie a dos velocidades: 2400 o 9600 bps. Este controlador requiere dos fuentes de alimentación: una de 9-12 V para la circuitería y 5 V para los servos.

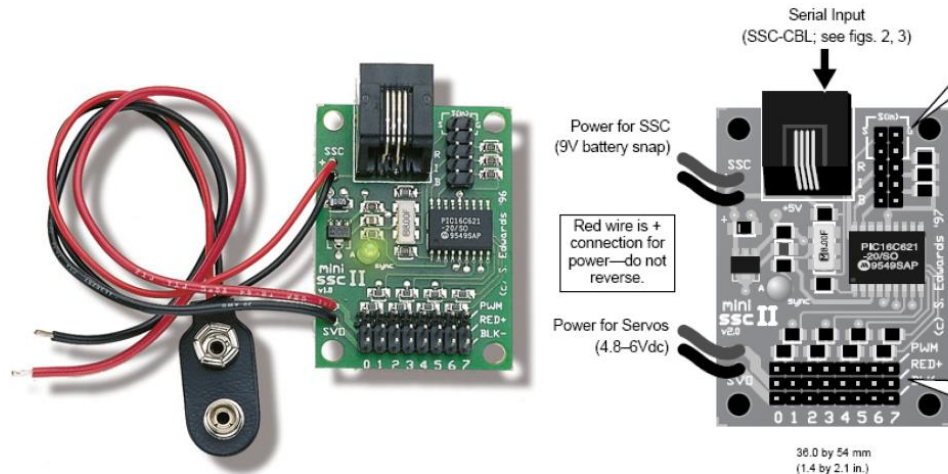


Figura 62. Controlador Mini SSC II

El Mini SSC necesita tres bytes para controlar la posición de un servo. En primer lugar, se debe mandar un byte SYNC (255, 0xFF) para indicar que comienza un nuevo comando. A continuación, se manda un byte SERVO que identifica el servo a controlar. Finalmente, se manda el byte POSITION que indica la posición donde debe moverse el servo.

Comando Mini SSC: [SYNC (255)] [SERVO (0-254)] [POSITION (0-254)]

Las principales ventajas de este controlador son su reducido tamaño y la gran cantidad de software disponible debido a su amplia utilización en estos últimos años. Sus principales inconvenientes son la discontinuidad en su desarrollo (ya no se desarrollan nuevos modelos) y la necesidad de utilizar dos fuentes de alimentación distintas.

Este dispositivo se puede hacer inalámbrico conectando un adaptador bluetooth-serie a la salida serie del controlador. El adaptador utilizado deberá poder funcionar entre 2400 9600bps, 8/N/1 y no deberá disponer de control de

flujo. El adaptador BlueRS+E de Stollman GmbH ha sido probado con éxito en aplicaciones de radio-control [7].

➤ SSC-32

SSC-32 (Figura 63) es un controlador de la empresa Lynxmotion que permite controlar hasta un máximo de 32 servos. Se trata de un controlador más completo que el Mini SSC ya que dispone de un conjunto de funcionalidades adicionales: control de servos por tiempo/velocidad/posición, movimiento síncrono de varios servos, consulta de posición de los servos y utilización de los pines de control de los servos como salidas digitales TTL. Además, dispone de 4 entradas (A, B, C y D) que pueden ser leídas de manera digital (bits) o de manera analógica (voltajes).

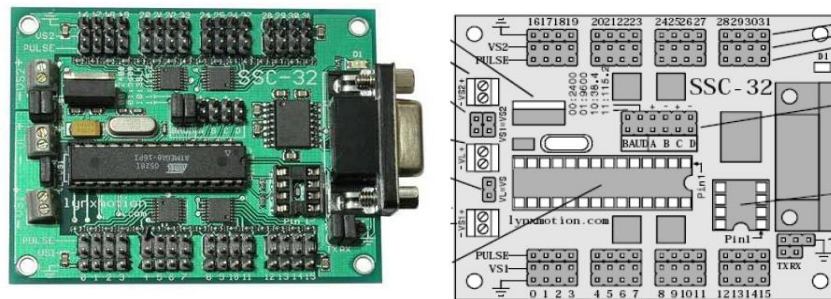


Figura 63. Controlador SSC-32

Este controlador se puede transformar en inalámbrico con un adaptador bluetooth-serie, al igual que el Mini SSC. Pero, también se puede conectar a una tarjeta modem bluetooth [8] (BlueSMiRF WRL-00582 o WRL-00158), creando un módulo más compacto sin necesidad de alimentación adicional.

Este controlador presenta un gran número de ventajas respecto al Mini SSC: control más complejo de los servos, disponibilidad de 4 entradas, diversas configuraciones de alimentación (fuente única para placa y servos o fuentes

separadas), mayor rango de velocidades del puerto serie (2.4 Kbps, 9.6 Kbps, 38.4 Kbps y 115.2 Kbps), posibilidad de conectar el SSC-32 a un microcontrolador a través de comunicación serie TTL. Su único inconveniente es su mayor tamaño al disponer de un conector DB9 estándar.

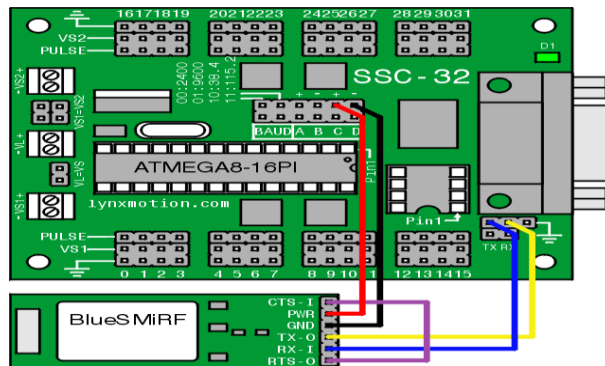


Figura 64. Conexiones entre SSC-32 y tarjeta modem bluetooth

✓ Arduino

Arduino es una plataforma open-hardware (diseño de libre distribución) basada en el diseño de una placa sencilla de entradas y salidas (analógicas y digitales) y un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje Processing/Wiring. Existen varias versiones de Arduino según la interfaz de conexión al PC: serie, USB, Bluetooth y ZigBee. Esta placa presenta una gran comunidad de desarrollo y permite la conexión de sensores y actuadores variados.

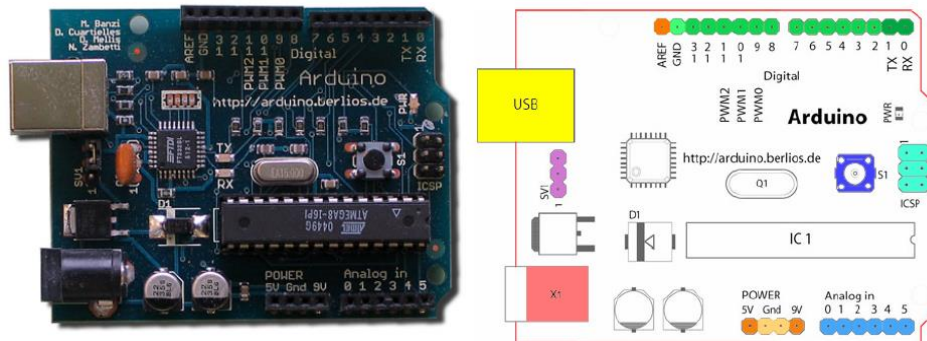


Figura 65. Controlador Arduino ^[10].

Este dispositivo no es un controlador específico para servos, como los dos anteriores, sino que es una placa de I/O que permite el control de servos. Además de controlar servos, también permite la lectura de varios tipos de sensores (acelerómetros, sensores de distancia, sensores de temperatura, sensores de humedad, sensores de luz, potenciómetros...) y el control de otros actuadores. Esta plataforma está en continua expansión y actualmente existe un distribuidor español, Libelium 10 (spin-off de la Universidad de Zaragoza), que desarrolla el sistema SquidBee. Este sistema pretende crear redes inalámbricas de sensores interconectados a través de módulos (denominados motes) basados en Arduino y ZigBee. Cada SquidBee mote está compuesto por una tarjeta Arduino con un módulo ZigBee (Maxstream XBee OEM RF) y tres sensores (humedad, temperatura y luminosidad). A este módulo se pueden añadir los sensores/actuadores que se deseen utilizando las entradas/salidas (12 digitales y 6 analógicas) de la tarjeta Arduino.

Para poder leer los datos de los sensores y controlar los actuadores mediante un PC se utilizará un módulo SquidBee gateway. Este módulo internamente tiene los mismos componentes que el mote (tarjeta Arduino y módulo ZigBee) pero se encuentra configurado para recibir los datos de los sensores a través de ZigBee y comunicarlos al PC a través de USB. La

comunicación mote-gateway es bidireccional. No obstante, esta placa presenta ciertos inconvenientes para el control de servos

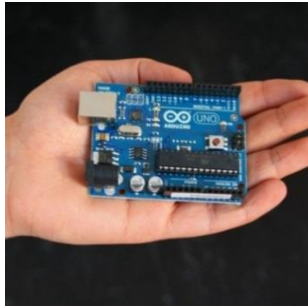


Figura 66. Arduino UNO ^[10].

2. DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS

Conociendo los diferentes sistemas mecánicos que se utilizan para en aplicaciones CNC, es necesario especificar qué tipo de sistema mecánico se utilizará para desplazar la pistola o antorcha de Plasma y así tener un concepto previo del modelo a diseñar.

2.1. DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO

Para escoger el modelo apropiado es necesario tener en cuenta las consideraciones siguientes:

- La mesa tiene que poder ser capaz de resistir todos los elementos en movimiento y también poder soportar el peso de la plancha metálica a cortar.
- Debe de diseñarse un modelo capaz de soportar las velocidades que se presentarán cuando el mecanismo esté en movimiento.
- Que sea capaz de soportar el calor proveniente de la fusión del material en el momento del corte de material.
- Que sea suficientemente fácil de dar mantenimiento.
- Sea construible el diseño del modelo.

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores se tiene previsto utilizar el concepto de una mesa con un sistema de movimiento cartesiano con el objetivo de poder así ensamblarlo a un sistema de control numérico que pueda manipularse con motores paso a paso.

En la siguiente figura 67 se muestra un modelo similar.



Figura 67 Modelo del manipulador.

2.1.1. Descripción del sistema

El sistema mecánico es comprendido por un sistema de transmisión por medio de tornillos de potencia el cual hace mover un carro en dirección lineal. Este sistema es compuesto por tres ejes, es decir, un eje "X" un eje "Y" y un eje "Z", el cual se mueven simultáneamente para lograr la trayectoria requerida o especificada en el controlador.

Dicho mecanismo descansa sobre una mesa que tiene doble función, una es soportar el mecanismo anteriormente descrito y también sostener la plancha a cortar.

El sistema de apoyo de la plancha radica en que son pequeñas platinas dispuestas en forma vertical a fin de que no sean cortadas tan fácilmente por el flujo de plasma.

En la figura 68 se muestra la disposición de las platinas en la mesa.



Figura 68 Ajuste de las platinas sobre el manipulador

2.1.2. Diseño de la Estructura

Partiendo de las consideraciones de diseño previamente mencionadas para el diseño de la estructura que sostendrá tanto el mecanismo de desplazamiento de la pistola y también la plancha metálica a cortar, es necesario mencionar las dimensiones que tendrá el modelo para poder empezar a diseñar.

Para el diseño se ha tomado en cuenta que la plancha a cortar tendrá las dimensiones de: 750 x 750 mm y un espesor de 6.35 mm ($\frac{1}{4}$ pulg) ya que se considera que con esas dimensiones se puede tener un mayor control y manejo de las trayectorias a generar con el control numérico.

La altura estimada para la mesa será de 940 mm para que pueda colocarse la pieza a cortar cómodamente, y además pueda ser accesible a la hora de darle mantenimiento.

Para poder sostener la placa o plancha se han colocado platinas verticales. Se han dispuesto de dicha manera a fin de que no sean tan afectados por el calor y el material fundido que sea desplazado por el corte.

2.1.3. Análisis

Para poder analizar la mesa es necesario saber el peso promedio que tendrá la placa y los demás componentes mecánicos que se necesitan para realizar el corte.

Peso aproximado del mecanismo de transmisión: 133.45 N (30 lb)

Peso promedio de la plancha de 750 x 750 mm y espesor 6.35 mm ($\frac{1}{4}$ pulg): 275.79 N (62 lb)

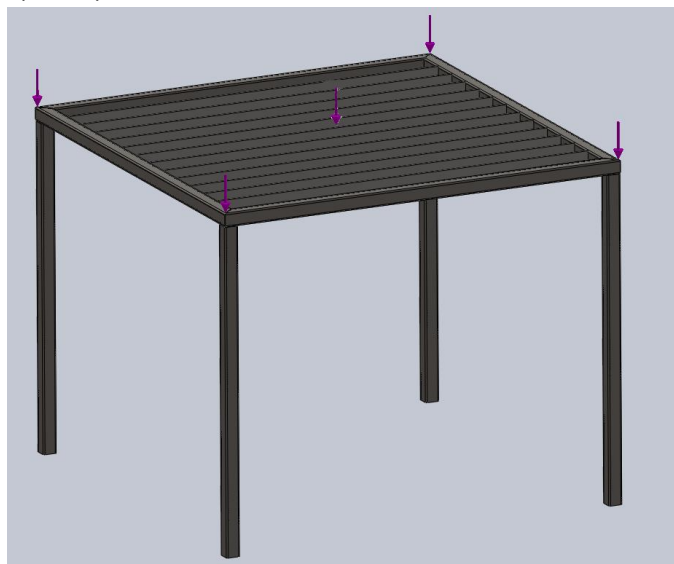
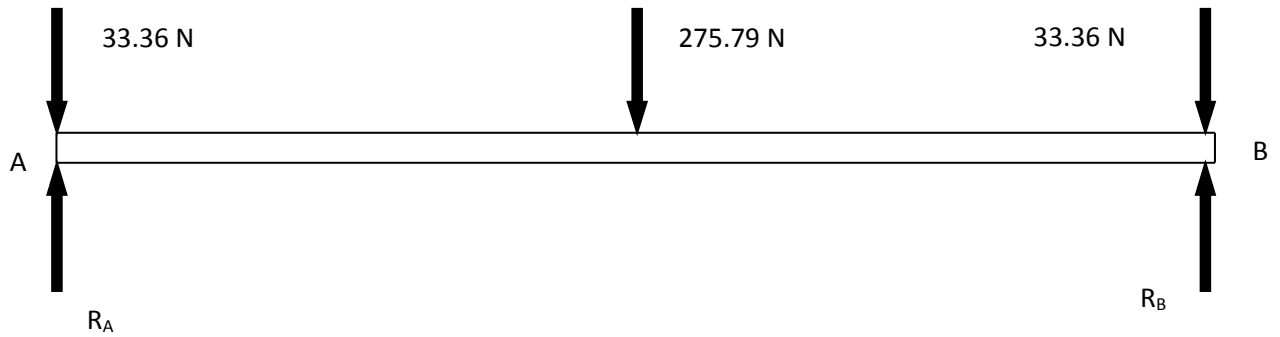


Figura 69 Distribución de fuerzas sobre la mesa.

En la figura 69 se representa en un esquema la distribución de las fuerzas en la mesa.

Analizando:

DCL



$$\sum M_a = 0$$

- $275.79(574.68) - 33.36(1149.35) + R_b(1149.35) = 0$

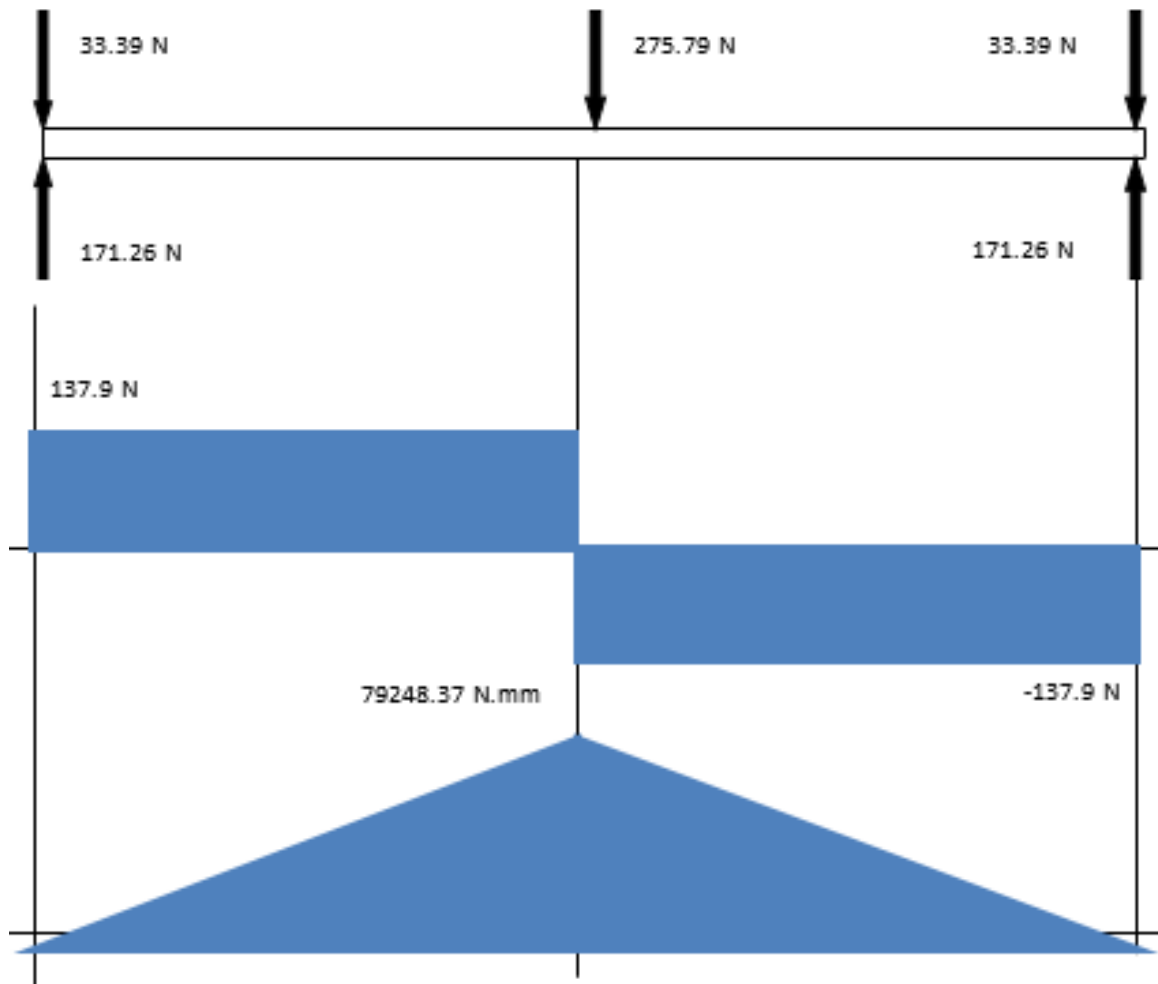
$$R_b = 171.26 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$R_a - 33.36 - 33.36 - 275.79 + R_b = 0$$

$$R_a = 171.26 \text{ N}$$

Diagrama de fuerza cortante y momento flector



Cálculos:

Esfuerzo flector

$$M = 79248.37 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$I = 60062.25 \text{ mm}^4$$

$$c = 19.05 \text{ mm}$$

$$\sigma_{perm} = \frac{Mc}{I} \quad \text{Ec. 6}$$

Sustituyendo valores:

$$\sigma_{perm} = \frac{(79248.37)(19.05)}{(60062.25)} = 25.13 \text{ MPa}$$

Esfuerzo cortante

$$\tau = \frac{3V}{2A} \quad \text{Ec. 7}$$

Datos:

$$V = 275.79N \text{ (62 lb)}$$

$$A = 290.32 \text{ mm}^2 \text{ (0.45 pulg}^2\text{)}$$

Sustituyendo valores en ecuación 7:

$$\tau = \frac{3(275.79)}{2(290.32)} = 1.42 \text{ MPa}$$

Aplicando círculo de Mohr para encontrar esfuerzos principales:

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma}{2} \pm \left[\frac{\sigma^2}{2} + \tau^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ec. 8}$$

Sustituyendo valores en la ecuación 8:

$$\sigma_{1,2} = \frac{(25.13)}{2} \pm \left[\frac{(25.13)^2}{2} + (1.42)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma_1 = 30.39 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = -5.26 \text{ MPa}$$

Aplicando la teoría de esfuerzo cortante máximo

$$\frac{S_y}{2n} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \quad \text{Ec. 9}$$

Aplicando un factor de seguridad crítico ($n = 1$) para evaluar el material se tiene:

$$\frac{S_y}{2(1)} = \frac{(30.39 - (-5.26))}{2}$$

$$S_y = 17.82 \text{ MPa}$$

Teniendo en cuenta que el material más dúctil vendido en nuestro país es el acero A36 que tiene un $S_y = 248 \text{ MPa}$ psi este cumple con las condiciones de diseño.

Análisis de flexión en las patas de la mesa.

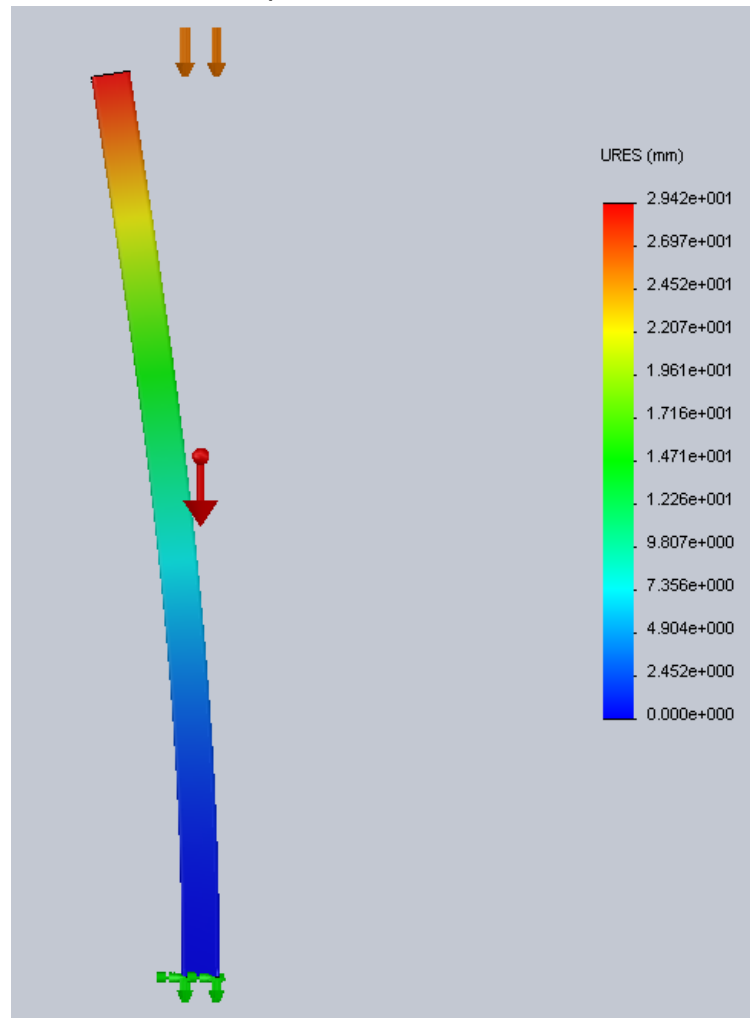


Figura 70. Flexión en las patas de la mesa.

En la simulación anterior se logró generar la flexión que tendrían las patas de la mesa, el desplazamiento que tiene es alrededor de 3 mm por lo que no hay una deformación excesiva por lo tanto está bien seleccionado el material y la altura de dichas patas.

2.1.4. Diseño de los ejes direccionales al movimiento del porta pistola, barras guías, tornillos de potencia y rodamientos

El análisis para el diseño del mecanismo de transmisión requiere tomar en cuenta varios elementos. Las barras guías permiten el movimiento lineal por el trayecto del tornillo, evitando que rote todo el sistema; los tornillos de potencia se encargan de desplazar la estructura móvil; y los rodamientos permiten facilidad de rotación al tornillo de potencia.



Figura 71 Direccionamiento de los ejes en la mesa.

2.1.5. Diseño para el movimiento en el eje X

Diseño de las barras guías

Las barras guías son las que mantienen el movimiento de la estructura, de modo que evitan el flexionamiento debido al movimiento del tornillo de potencia sobre la estructura, para lo cual se consideran los siguientes datos:

$$L_{0X} = 1149.35 \text{ mm}$$

$$d_x = 19.05 \text{ mm}$$

$$W_x = 124.55 \text{ N}$$

Se considerará un factor de seguridad de 2 para el análisis, de forma a determinar qué tipo de material se puede utilizar

Con los valores obtenidos, se proseguirá a determinar el esfuerzo de fluencia para verificar si el sistema resiste la carga (W_x), con la ecuación 10:

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma_x} \quad \text{Ec. 10}$$

dónde: η : *factor de seguridad*

S_y : *Fluencia del material*

σ_x : *Esfuerzo que soportan las barras en el eje X*

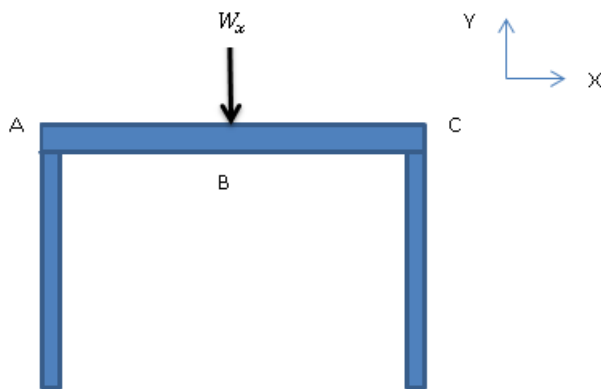


Figura 72. Perfil de la mesa respecto al eje X

De la figura 72, se puede considerar una viga sobre dos apoyos de la siguiente forma:

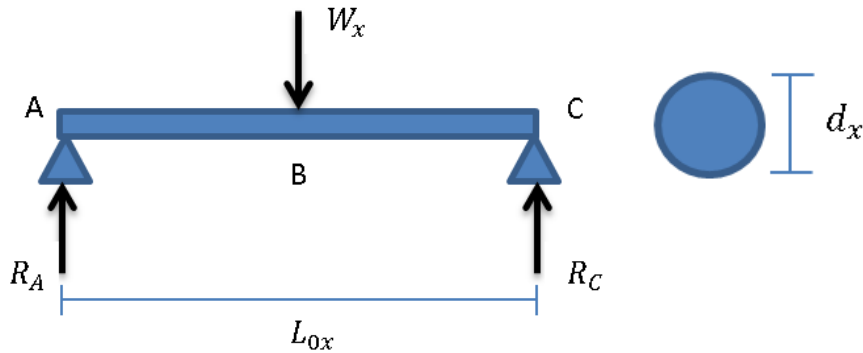


Figura 73. Reacciones en los apoyos de la barra guía del eje X.

Para determinar el esfuerzo por flexión se considera el punto crítico en la zona media de la barra, utilizando la ecuación 11:

$$\sigma_x = \frac{Mc}{I} \quad \text{Ec. 11}$$

dónde: M : momento a la distancia media de la barra

c : distancia igual al radio del perfil de la barra

I : Inercia del perfil de la barra

El momento en el punto B (figura 75) es igual a:

$$M = \frac{1}{2} W_x L_{0x}$$

$$c = \frac{1}{2} d_x$$

$$I = \frac{1}{4} \pi R^4 = \frac{1}{4} \pi \left(\frac{1}{2} d_x \right)^4$$

Entonces:

$$\sigma_x = \frac{\left(\frac{1}{2} W_x L_{0x} \right) \left(\frac{1}{2} d_x \right)}{\frac{1}{4} \pi \left(\frac{1}{2} d_x \right)^4} = \frac{W_x L_{0x}}{16 \pi d_x^3}$$

Por lo tanto, el factor de seguridad se determina:

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma_x} = \frac{16 \pi d_x^3 S_y}{W_x L_{0x}}$$

$$\eta = \frac{16 \pi (19.05)^3 S_y}{(124.55)(1149.35)} = 2$$

$$S_y = 0.83 \text{ MPa}$$

El esfuerzo de fluencia es relativamente bajo, de modo que cualquier tipo de acero puede utilizarse para la fabricación de las barras guías en el eje x

Tomando en cuenta lo anterior, se utilizara **acero AISI 1020**

➤ Deflexión de las barras guías en el eje x

Determinar la deflexión en las barras guías utilizando acero AISI 1020 con un módulo de elasticidad de 200 GPa

La deflexión se determina mediante la ecuación 12:

$$\frac{M}{EI} = \frac{d\theta}{dx} = \frac{d^2\delta}{dx^2} \quad \text{Ec. 12}$$

dónde: M : momento de flexión aplicado sobre la barra

E : Módulo de elasticidad

θ : ángulo de inclinación de la barra

δ : deflexión de la barra

Determinar el momento en función de x:

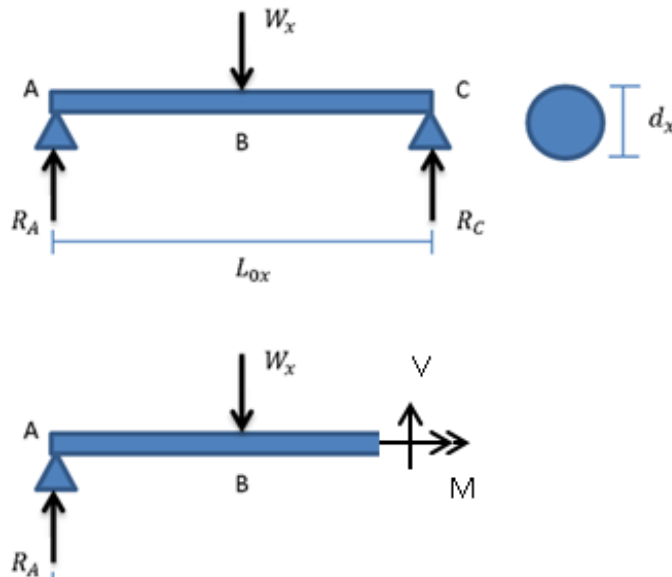


Figura 74 Esquema para el análisis de deflexión.

$$\sum F_y = 0 \qquad R_A = \frac{1}{2}W_x$$

$$R_A - W_x + V = 0$$

$$V = W_x - \frac{1}{2}W_x = \frac{1}{2}W_x$$

$$\sum M_A = 0$$

$$\left(\frac{1}{2}L_{0x}\right)W_x + \left(\frac{1}{2}L_{0x} + x\right)V + M = 0$$

$$M = \left(\frac{1}{2}L_{0x}\right)W_x - \left(\frac{1}{2}L_{0x} + x\right)\frac{1}{2}W_x$$

$$M = \frac{1}{2}W_x\left(\frac{1}{2}L_{0x} - x\right)$$

Entonces:

$$EI\theta = \int Mdx$$

$$EI\theta = \frac{1}{2}W_x \int \left(\frac{1}{2}L_{0x} - x\right) dx$$

$$EI\theta = \frac{1}{2}W_x \left(\frac{1}{2}L_{0x}x - \frac{1}{2}x^2\right)$$

La deflexión entonces es:

$$EI\delta = \frac{1}{2}W_x \int_0^{\frac{1}{2}L_{0x}} \left(\frac{1}{2}L_{0x}x - \frac{1}{2}x^2\right)$$

$$EI\delta = \frac{1}{2}W_x \left(\frac{1}{4}L_{0x}x^2 - \frac{1}{6}x^3\right)_0^{\frac{1}{2}L_{0x}}$$

$$EI\delta = \frac{1}{2}W_x \left(\frac{1}{16}L_{0x}^3 - \frac{1}{48}L_{0x}^3\right) = \frac{1}{48}W_xL_{0x}^3$$

$$\delta = \frac{W_xL_{0x}^3}{48E(1/64)\pi d_x^4} = \frac{4W_xL_{0x}^3}{3\pi d_x^4E}$$

$$\delta = \frac{4(125.706)(1149.35)^3}{3\pi(19.05)^4(200 \text{ GPa})} = \mathbf{3.07 \text{ mm}}$$

➤ Consideraciones previas al análisis dinámico

Tomando en consideración que la velocidad de corte para el espesor de la placa de 6.35 mm (¼ pulg) es de 711 mm/min (28 pulg/min). Dado que se tendrá que partir del reposo a la velocidad de corte, el tiempo de aceleración será de 0.1 segundos.

Este dato lo se ha considerado partiendo que la aceleración en ejes acoplados tiende a tener un tiempo de arranque de 0.1 – 0.2 s.

Teniendo la velocidad y el tiempo promedio se obtiene una aceleración promedio para llegar a la velocidad requerida

Datos:

$$v_f = 711 \frac{mm}{min} \left(\frac{1 min}{60 seg} \right) = 11.85 \frac{mm}{s} \quad \left(0.47 \frac{pulg}{s} \right)$$

$$t = 0.1 seg$$

Ecuación de aceleración:

$$a = \frac{v_f}{t} \quad \text{Ec. 13}$$

Sustituyendo:

$$a = \frac{(11.85)}{(0.1)} = 118.5 mm/s^2 \quad (4.7 pulg/s^2)$$

➤ Análisis dinámico del eje x

Considerando el peso de la estructura que soporta el eje x un peso de 28.26 lb es necesario tomar en cuenta el análisis dinámico por las fuerzas generadas por la aceleración de la masa cuando está en movimiento.

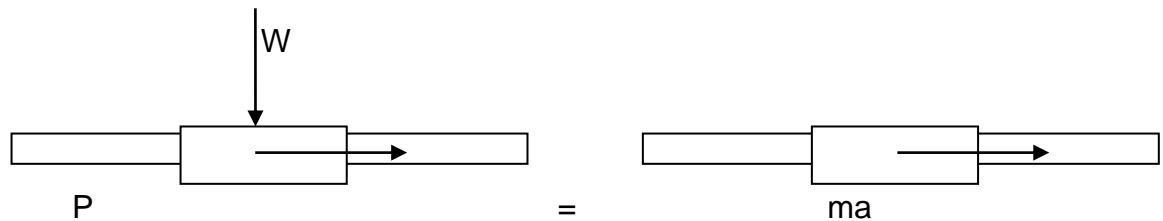
Datos:

$$W = 125.70 N (28.26 lb)$$

$$a = 118.5 mm/s^2 (4.7 pulg/s^2)$$

Aplicando Segunda Ley de Newton al Carro en X se tiene:

Diagrama de equilibrio dinámico.



Análisis

Datos:

$$W = 125.70 \text{ N } (28.26 \text{ lb})$$

$$m = \frac{W}{g}$$

$$\sum F_x = ma$$

Sustituyendo:

$$P = ma$$

$$P = \frac{W}{g} a$$

$$P = \frac{(125.70 \text{ N})(0.1185)}{9.81} = 1.56 \text{ N } (0.34 \text{ lb})$$

➤ Tornillo de potencia en el eje X

Dimensiones del tornillo de potencia:

- Longitud de tornillo: 1149.35 mm
- Diámetro de tornillo: 19.05 mm

$N = 2$ Dientes

$P = 5$ mm

$$L = NP = (2)(5) = 10 \text{ mm}$$

El diámetro medio se calcula de la siguiente manera:

$$d_m = d_{ext} - \frac{P}{2} = 19.05 - \left(\frac{10}{2}\right) = 14.05 \text{ mm}$$

Después para el ángulo de hélice:

$$\lambda = \tan^{-1}\left(\frac{L}{\pi d_m}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{10}{\pi(14.05)}\right) = 12.76^\circ$$

➤ Cálculo de la fuerza para mover la carga

En este caso el torque que se tiene que generar a la hora de girar el tornillo se define mediante la ecuación 14:

$$T = \frac{d_m W}{2} \left[\frac{\mu + \tan \lambda}{1 - \mu \tan \lambda} \right] \quad \text{Ec. 14}$$

$$T = \frac{14.05 * 125.71}{2} \left[\frac{0.125 + \tan 12.76}{1 - 0.125 \tan 12.76} \right] = 319.42 \text{ N.mm} = 45.17 \text{ onz.in}$$

➤ Selección de los cojinetes para el tornillo de potencia del eje X

Para la selección correcta de los cojinetes se tomó en cuenta la geometría disponible en los ejes y en los soportes de ejes, ya que se tiene un espacio reducido. En el caso de las fuerzas de empuje y fuerzas radiales prácticamente todos los cojinetes rodantes de una hilera los soportan. Además, las velocidades de giro también son relativamente bajas en comparación a las requeridas para este tipo de aplicación.

Para el caso del eje x se hace el análisis de cada cojinete y luego se selecciona uno de acuerdo al catálogo de SKF^[16] para tener certidumbre de que soportará dichas cargas.

Cálculos.

Suponer que solo gira la parte interna

$$V = \text{factor de rotacion} = 1$$

$$R_C = \sqrt{R_{C1} + R_{C2}} = (14.13^2 + 14.13)^{1/2} = 20 \text{ lb}$$

$$p = VR = (1)(20) = 20 \text{ lb}$$

$$d = 0.75 (1.1) = 0.825 \text{ in}$$

➤ Cojinete rodante

Seleccionar la vida útil de diseño recomendada para cojinetes, el cual seleccionar máquina industrial con una vida útil promedio de diseño de $L_{10} = 25000$ horas

$$C = R \left(\frac{L_d}{10^6} \right)^{1/2} \quad \text{Ec. 15}$$

dónde: $L_d = L_{10} * n * 60$

$$= 25000 * 100 * 60 = 150 \times 10^6$$

$$C = 77.46 \text{ lb}$$

Comprobación de la carga dinámica, se busca los valores de F_L con L_{10} y F_n con 100 rpm. $F_L = 1.05$ $F_n = 0.68$ y $R = 20 \text{ lb}$

$$C = R \left(\frac{F_L}{F_n} \right) \quad \text{Ec. 16}$$

$$C = 32.35 \text{ lb}$$

Para el caso del eje x con las fuerzas $C = 143.9 \text{ N}$ (32.35 lb), $p = 88.96 \text{ N}$ (20 lb) el Cojinete 16004 de la marca SKF con las especificaciones siguientes: $d = 20 \text{ mm}$, $D = 42 \text{ mm}$, $B = 8 \text{ mm}$, $C = 7.28 \text{ kN}$, $P = 4.05 \text{ kN}$, límite de velocidad = 24000 rpm [16].

Este cojinete cumple con las condiciones geométricas de que el B tiene que ser lo más reducido posible por motivos de espacio.

2.1.6. Diseño para el movimiento en el eje Y

Para los elementos en dirección Y se prosigue de la misma forma que para el eje X.

➤ Diseño de las barras guías

Datos:

$$L_{0Y} = 1003.3 \text{ mm}$$

$$d_y = 15.88 \text{ mm}$$

$$W_y = 47.68 \text{ N}$$

Prosiguiendo de igual forma que las barras del eje X, con el factor de seguridad de 2

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma_y}$$

σ_y : Esfuerzo que soportan las barras en el eje Y

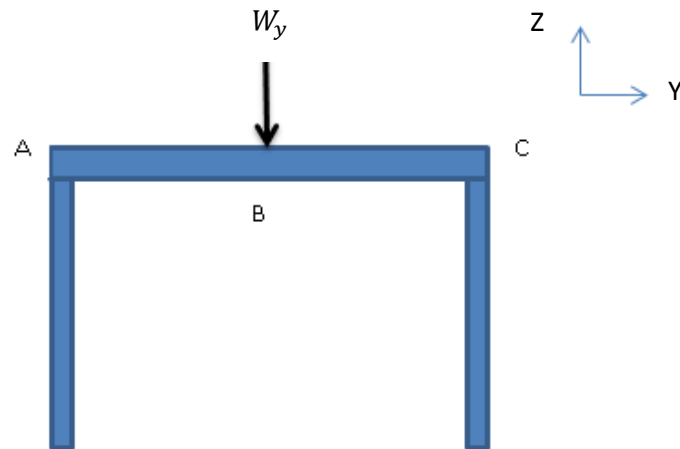


Figura 75. Perfil de la mesa respecto al eje Y.

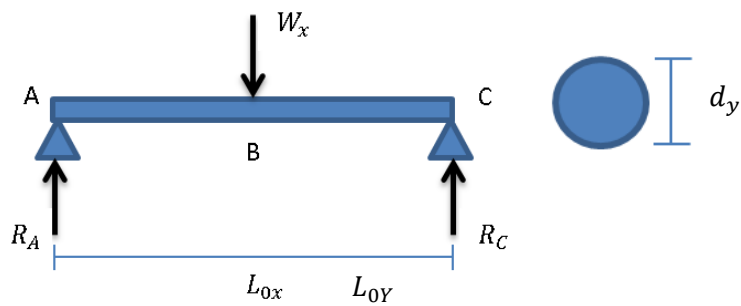


Figura 76. Reacciones en los apoyos de la barra guía del eje Y.

$$\sigma_y = \frac{Mc}{I}$$

$$M = \frac{1}{2} W_y L_{0Y}$$

$$c = \frac{1}{2} d_y$$

$$I = \frac{1}{4} \pi R^4 = \frac{1}{4} \pi \left(\frac{1}{2} d_y \right)^4$$

Entonces:

$$\sigma_y = \frac{\left(\frac{1}{2} W_y L_{0Y} \right) \left(\frac{1}{2} d_y \right)}{\frac{1}{4} \pi \left(\frac{1}{2} d_y \right)^4} = \frac{W_y L_{0Y}}{16 \pi d_y^3}$$

Por lo tanto, el factor de seguridad se determina:

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma_y} = \frac{16\pi d_y^3 S_y}{W_y L_{0Y}}$$

$$\eta = \frac{16\pi(15.88)^3 S_y}{(47.68)(1003.3)} = 2$$

$$S_y = \mathbf{0.48 MPa}$$

Se demuestra que mientras menos peso tiene el sistema, menos es el esfuerzo requerido, de modo q se omite el análisis para las guías del eje z, considerando también **acero AISI 1020**.

➤ Deflexión en las barras guías del eje Y

Evaluando para el mismo comportamiento, de la ecuación de deflexión obtenida se tiene:

$$\delta = \frac{4W_y L_{0Y}^3}{3\pi d_y^4 E} = \frac{4(47.68)(1003.3)^3}{3\pi(15.88)^4(200 \text{ GPa})} = \mathbf{1.60 \text{ mm}}$$

➤ Tornillo de potencia Y

Las dimensiones del tornillo de potencia el cual se diseñara son las siguientes:

- Longitud de tornillo: 1003.3 mm
- Diámetro de tornillo: 19.88 mm

Con estas dimensiones podremos diseñar con bastante seguridad el tornillo.

N = 2 Diente

P = 5 mm

Para el avance se tiene:

$$L = NP = (2)(5) = 10 \text{ mm}$$

El diámetro medio se calcula de la siguiente manera:

$$d_m = d_{ext} - \frac{P}{2} = 19.88 - \left(\frac{10}{2}\right) = 14.88 \text{ mm}$$

Entonces el ángulo de hélice es:

$$\lambda = \tan^{-1}\left(\frac{L}{\pi dm}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{10}{\pi(14.88)}\right) = 12.07^\circ$$

Después de haber calculado parte de la geometría del elemento que se está diseñando, que en este caso es un tornillo de potencia se procede al análisis de fuerzas.

De la tabla de coeficientes de fricción con un material del tornillo de acero en este caso lubricado y una tuerca de bronce se obtiene un coeficiente de fricción medio de $\mu = 0.125$ ya que está en un rango de 0.10 - 0.15 se elige el valor medio.

Esta consideración para el coeficiente de fricción será tomada en cuenta para los tornillos en los tres ejes (x, y, z).

➤ Cálculo de la fuerza para mover la carga

En este caso el torque que se tiene que generar a la hora de girar el tornillo se define mediante la ecuación 14:

$$T = \frac{d_m W}{2} \left[\frac{\mu + \tan \lambda}{1 - \mu \tan \lambda} \right]$$

$$T = \frac{14.88 * 47.68}{2} \left[\frac{0.125 + \tan 12.07}{1 - 0.125 \tan 12.07} \right] = 123.5 \text{ N.mm} = 17.49 \text{ onz. pulg}$$

➤ Cojinetes para el tornillo de potencia en Y

Para la selección correcta de los cojinetes se tomó en cuenta la geometría disponible en los ejes y en los soportes de ejes, ya que se tiene un espacio reducido. En el caso de las fuerzas de empuje y fuerzas radiales prácticamente todos los cojinetes rodantes de una hilera los soportan. Además,

las velocidades de giro también son relativamente bajas en comparación a las requeridas para este tipo de aplicación.

Para el caso del eje "Y" se hace el análisis de cada cojinete y luego se selecciona uno de acuerdo al catálogo de SKF^[16] para tener certidumbre de que soportará dichas cargas.

Cálculos

Suponer que solo gira la parte interna

$$V = \text{factor de rotacion} = 1$$

$$R_B = \sqrt{R_{B1} + R_{B2}} = (5.36^2 + 5.36)^{\frac{1}{2}} = 7.58 \text{ lb}$$

$$p = VR = (1)(7.58) = 7.58 \text{ lb}$$

$$d = 0.625 (1.1) = 0.6875 \text{ pulg}$$

Cojinete rodante

Seleccionar la vida útil de diseño recomendada para cojinetes, para el cual seleccionar máquina industrial con una vida útil promedio de diseño de $L_{10} = 25000 \text{ horas}$

$$C = R \left(\frac{L_d}{10^6} \right)^{\frac{1}{2}}$$

dónde: $L_d = L_{10} * n * 60$

$$= 25000 * 100 * 60 = 150 \times 10^6$$

$$C = 29.357 \text{ lb}$$

Comprobación de la carga dinámica, se buscan los valores de F_L con L_{10} y F_n con 100 rpm. $F_L=1.05$ $F_n=0.68$ y $R = 7.58 \text{ lb}$

$$C = R \left(\frac{F_l}{F_n} \right)$$

$$C = 11.70 \text{ lb}$$

Para el caso del eje y con las fuerzas $C = 52.04 \text{ N}$ (11.70 lb), $p = 33.71 \text{ N}$ (7.58 lb) el Cojinete 16003 de la marca SKF con las especificaciones siguientes: $d = 17 \text{ mm}$, $D = 35 \text{ mm}$, $B = 8 \text{ mm}$, $C=6.37 \text{ kN}$, $P=3.25 \text{ kN}$, límite de velocidad = 28000 rpm ^[16].

Este cojinete cumple con las condiciones geométricas de que el B tiene que ser lo más reducido posible por motivos de espacio.

2.1.7. Diseño del movimiento en el eje Z

El material a utilizar sería el mismo que se utilizaría para los otros ejes, de modo que se puede obviar dicho análisis para las barras guías.

➤ Diseño del tornillo de potencia z

Las dimensiones del tornillo de potencia a diseñar son:

- Longitud de tornillo: 149.35 mm
- Diámetro de tornillo: 12.7 mm

Con estas dimensiones se puede diseñar con bastante seguridad el tornillo.

$N = 1$ Diente

Tamaños de roscas cuadradas y ACME con el diámetro exterior del tornillo se determina los hilos por pulgada que tendrá el tornillo.

Procedemos a determinar el paso

$$P = 3.91 \text{ mm}$$

Para el avance:

$$L = NP = (1)(3.91 \text{ mm}) = 3.91 \text{ mm}$$

El diámetro medio se calcula de la siguiente manera:

$$d_m = d_{ext} - \frac{P}{2} = 12.7 - \left(\frac{3.91}{2}\right) = 10.75 \text{ mm}$$

Después se tiene para el ángulo de hélice:

$$\lambda = \tan^{-1}\left(\frac{L}{\pi d_m}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{3.91}{\pi(10.75)}\right) = 6.61^\circ$$

En el diseño se necesita que el tornillo en z no baje por sí solo, y para lograr esto, el torque de bajada tiene que ser igual a cero. Esto se cumple o se puede verificar con la siguiente ecuación.

$$\mu = \tan \lambda \quad \text{Ec. 17}$$

Esto es para calcular el ángulo inminente de deslizamiento y para comprobarlo se tiene;

$$\lambda = \tan^{-1}0.125 = 7.13^\circ$$

Con este ángulo es el ángulo mínimo requerido para que deslice el tornillo por sí solo.

El ángulo que de hélice para este Trabajo de Graduación es de 6.61° , se puede observar que es menor que el ángulo inminente que en este caso es 7.13° .

Ya con esto se puede decir con certeza que no deslizará.

➤ Cálculo de la fuerza para subir el tornillo

En este caso el torque que se tiene que generar a la hora de subir el tornillo se define mediante la ecuación 14:

$$T = \frac{d_m W}{2} \left[\frac{\mu + \tan \lambda}{1 - \mu \tan \lambda} \right]$$

$$T = \frac{10.75 * 28.42}{2} \left[\frac{0.125 + \tan 6.61}{1 - 0.125 \tan 6.61} \right] = 37.34 \text{ N.mm} = 5.24 \text{ onz.in}$$

➤ Cálculo para bajar el tornillo

En este caso el torque que se tiene que generar a la hora de bajar el tornillo se define mediante la siguiente ecuación:

$$T = \frac{d_m W}{2} \left[\frac{\mu - \tan \lambda}{1 + \mu \tan \lambda} \right]$$

$$T = \frac{10.75 * 28.42}{2} \left[\frac{0.125 - \tan 6.61}{1 + 0.125 \tan 6.61} \right] = 1.37 \text{ N.mm} = 0.194 \text{ onz.in}$$

➤ Cojinete para eje z

Prosiguiendo de forma similar a los ejes X e Y, basados en los mismos criterios.

Cálculos

Suponer que solo gira la parte interna

$$V = \text{factor de rotación} = 1$$

$$R_a = \sqrt{R_{A1} + R_{A2}} = (3.195^2 + 3.195)^{\frac{1}{2}} = 4.518 \text{ lb}$$

$$p = VR = (1)(4.518) = 4.518 \text{ lb}$$

$$d = 0.5(1.1) = 0.55 \text{ pulg}$$

➤ Cojinete rodante

Seleccionar la vida útil de diseño recomendada para cojinetes, el cual seleccionar máquina industrial con una vida útil de diseño promedio de $L_{10} = 25000 \text{ h}$

$$C = R \left(\frac{L_d}{10^6} \right)^{\frac{1}{2}}$$

dónde: $L_d = L_{10} * n * 60$

$$= 25000 * 100 * 60 = 1500 * 10^6$$

$$C = 55.33 \text{ lb}$$

Comprobación de la carga dinámica, se obtienen los valores de F_L con $L10$ y F_n con 100 rpm. $F_L=1.05$ $F_n=0.68$ y $R = 4.518 \text{ lb}$

$$C = R \left(\frac{F_L}{F_n} \right)$$

$$C = 6.976 \text{ lb}$$

Para el caso del eje z con las fuerzas $C=31.05 \text{ N}$ (6.98 lb), $p=20.06 \text{ N}$ (4.51 lb) el Cojinete 6001 de la marca SKF con las especificaciones siguientes: $d=12 \text{ mm}$, $D=28 \text{ mm}$, $B= 8 \text{ mm}$, $C=5.4 \text{ kN}$, $P=2.36 \text{ kN}$, límite de velocidad= 38000 rpm [16].

Este cojinete cumple con las condiciones geométricas de que el B tiene que ser lo más reducido posible por motivos de espacio.

2.1.8. Soportes, barras guías, carros y porta pistola.

Habiendo diseñado los elementos motrices como lo son los tornillos de potencia es necesario poder analizar los elementos que sostendrán y transportaran los diferentes elementos.

Para poder sostener los tornillos de potencia se han diseñado un soporte que es capaz de soportar las cargas estáticas y dinámicas las cuales está sometido tanto el tornillo como las barras guías.

➤ Diseño de soporte.

Se ha tomado como variable de diseño el peso debido a que tiene que ser lo más liviano posible para no exceder el torque de los motores, así que se ha decidido que sean de aluminio los soportes.

A continuación se muestra el soporte (Figura 77) del tornillo de potencia y las barras guías en el eje x.

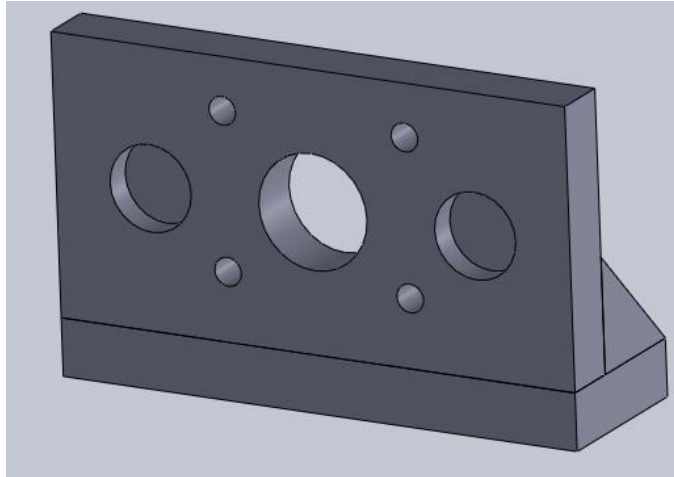


Figura 77. soporte del tornillo de potencia y las barras guías en el eje x

Se han considerado las cargas de las barras guías y el tornillo de potencia, tomando en cuenta el peso de la estructura de los mecanismos de moción arriba de ellos.

Este peso fue definido anteriormente y es ~ 125.70 N. Lo importante en el diseño de los soportes son las reacciones que se generan en los extremos de las barras guías y tornillos de potencia.

En el caso del soporte del tornillo de potencia y las barras guías en el eje Z, soporta una carga de 62.85 N. Haciendo el análisis en el programa se observan los resultados de Von Misses (Figura78) y de desplazamiento (Figura 79) para los soportes para el eje Z.

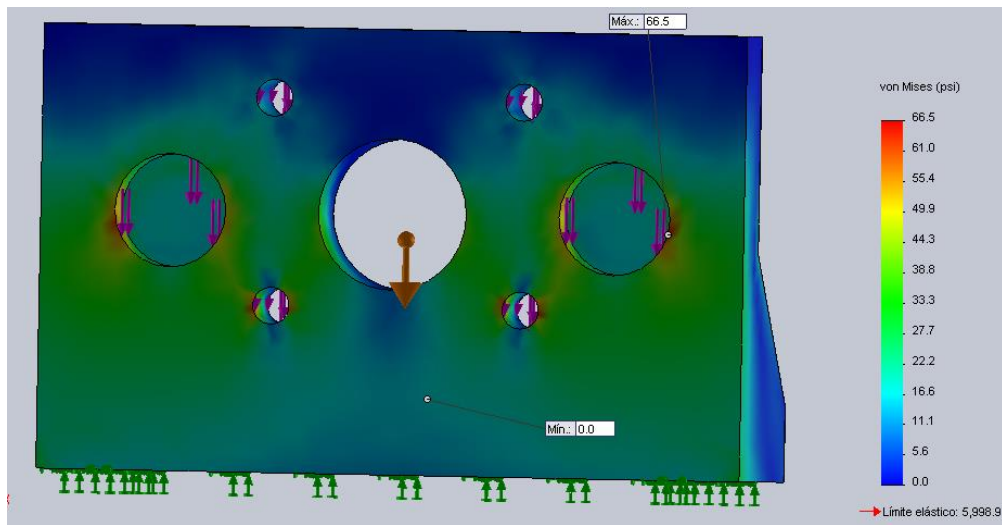


Figura 78. Análisis de Von Mises sobre el soporte en Z

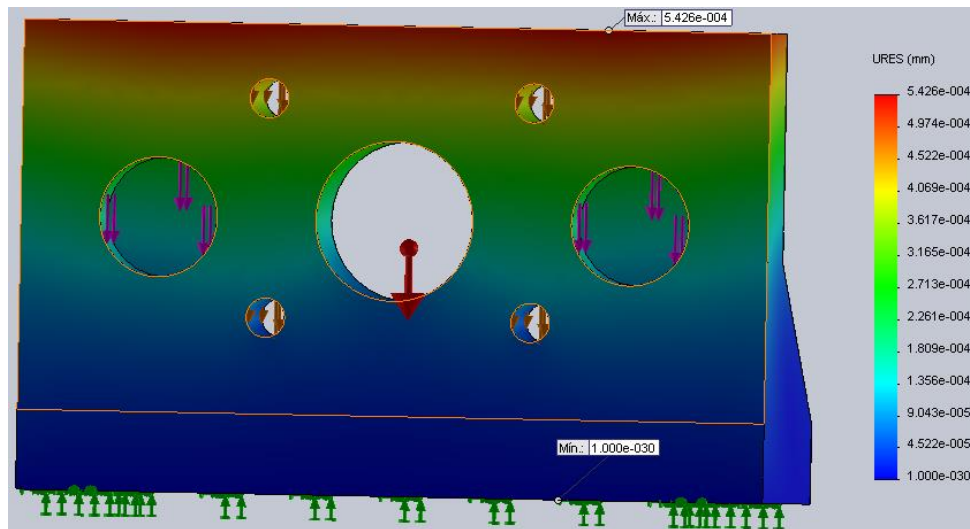


Figura 79. Análisis de desplazamiento en el soporte en Z.

➤ Soporte de tornillo y barras guías en el eje y

Se ha tomado como variable de diseño también en este caso el peso debido a que tiene que ser lo más liviano posible para no exceder el torque de los motores, así que se ha decidido que los soportes sean de aluminio.

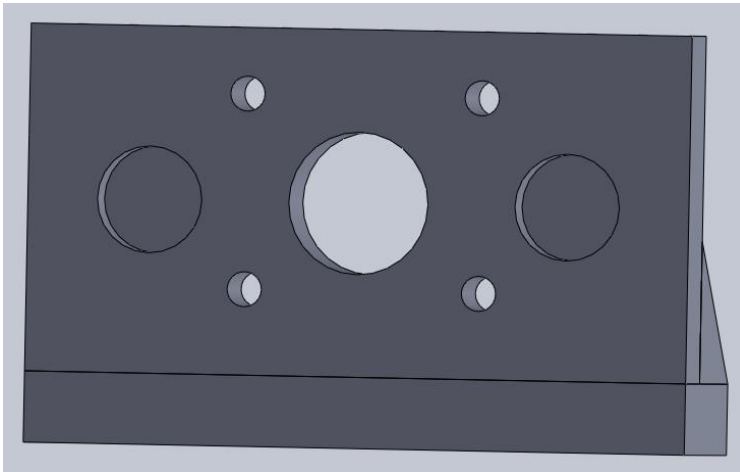


Figura 80. Soporte del tornillo de potencia y las barras guías en el eje y

Se han considerado las cargas de las barras guías y el tornillo de potencia, tomando en cuenta el peso de la estructura de los mecanismos de movimiento arriba de ellos.

Este peso fue definido anteriormente y es ~ 44.48 N. Lo importante en el diseño de los soportes (Figura 80) son las reacciones que se generan en los extremos de las barras guías y tornillos de potencia.

Haciendo el análisis en el programa (figura 81) se tiene los siguientes resultados.

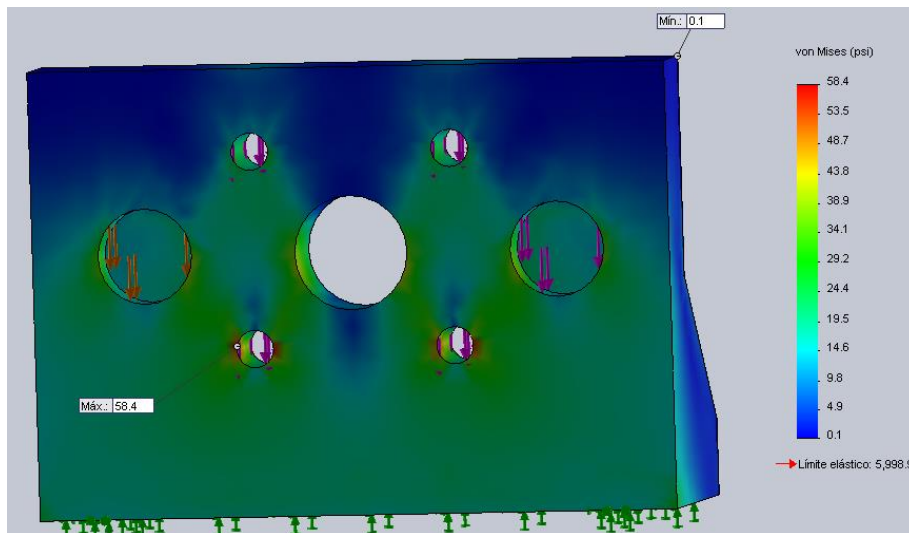


Figura 81 Análisis de Von Misses sobre el soporte en Y.

El diseño que se propone cumple con los criterios los cuales han sido tomados en cuenta en base a lo que se necesita para construir este tipo de maquinaria.

Con lo anterior se puede proceder a la construcción de las piezas necesarias y al montaje de las mismas a fin de poder cumplir con el objetivo principal.

2.2. SELECCIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

Los sistemas de control tanto de posición como de velocidad que se emplean en el proyecto, están detallados en el siguiente diagrama de bloques, figura 82.

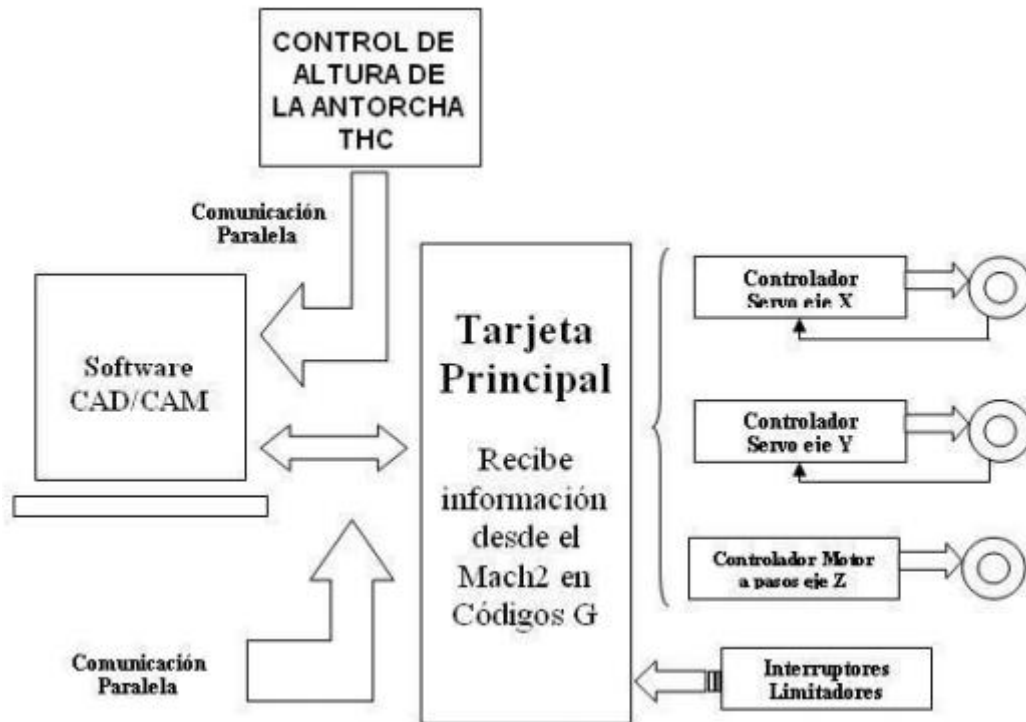


Figura 82. Sistema de control

Como se puede apreciar en la figura 82, se tiene dos sistemas de control a lazo abierto para los motores paso a paso de los ejes X,Y, un sistema de control a lazo cerrado para el motor a pasos del eje Z y que en conjunto con la THC controlan los parámetros de funcionamiento de la antorcha.

2.2.1. Sistema de control para los ejes x, y, z

➤ Sistema a lazo abierto

Son los sistemas en los cuales la salida no tiene efecto sobre la acción de control, en otras palabras en este sistema no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada.

Dado que los sistemas de motores paso a paso son de alta precisión se pueden controlar de cierta manera el giro de ellos. Esto se puede realizar mediante un tren de pulsos adecuado para el giro deseado.

➤ Sistema a lazo cerrado

En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la salida de realimentación (que puede ser la señal de salida misma o una función de la señal de salida y sus derivadas o/e integrales) a fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor conveniente.

2.2.2. Tarjeta Principal

Es un elemento primordial para este tipo de máquinas, por lo cual se tiene que diseñar en base a las tareas que necesita que realice la máquina. Es de recalcar que no se construirá dicho elemento ya que los costos de fabricación son altos y dado que en el mercado existen tarjetas que cumplen con las especificaciones necesarias para este tipo de proyectos, es por ello que el sistema de control se seleccionará la tarjeta principal adecuada que son comercializadas en internet.

Se seleccionará de acuerdo a la compatibilidad del software a utilizar y de acuerdo a la potencia de los motores que se necesita. También, se seleccionaran los controladores de los motores ya que es necesario tener bien en cuenta este elemento porque es este el que le da dirección y paso a los motores.

La tarjeta seleccionada en este caso se realizó mediante una búsqueda intensiva en internet. Se adquirió una Driver Box de la marca Xylotex que es una compañía que se encarga de fabricar accesorios para CNC.

La tarjeta mostrada (Figura 83) anteriormente es capaz de mover 4 motores paso a paso y tiene también ventaja de que puede manipular el encendido y apagado de la antorcha. Además tiene la capacidad de trabajar con limitadores, sensores de referencia y sensores de proximidad para tener un efectivo movimiento y evitar que sucedan colisiones de los elementos mecánicos.

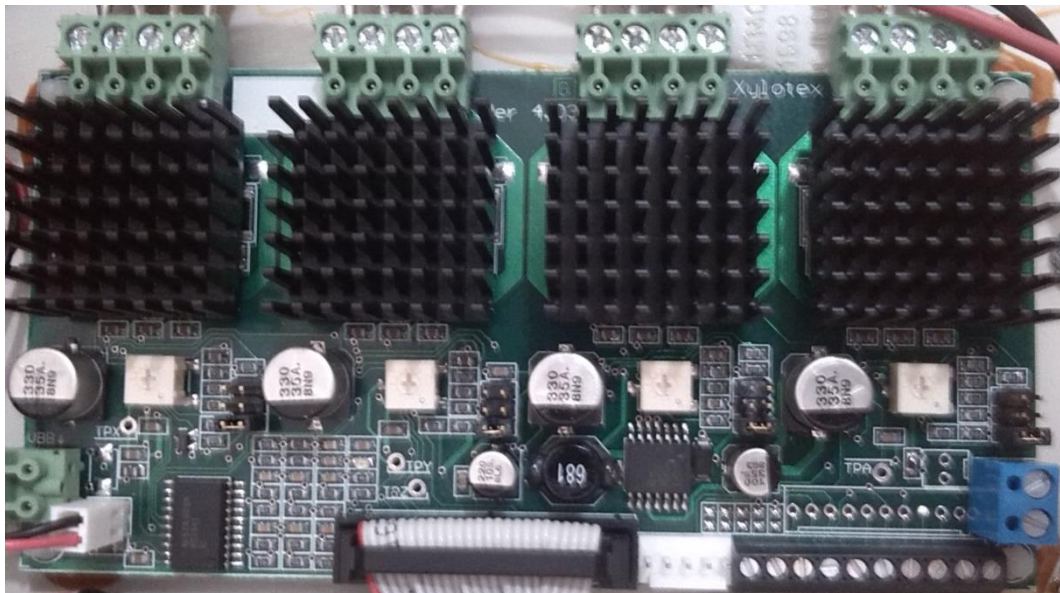


Figura 83 Tarjeta Xylotex. Foto tomada del equipo a utilizar.

La principal función de la tarjeta es ser el medio de comunicación entre el software Mach3 y los motores paso a paso. La tarjeta funciona utilizando un programa de mecanizado como lo es Mach3. Este software se encarga de manejar dicha tarjeta, utilizando el puerto paralelo de comunicación. La tarjeta ejecuta instrucciones a los mandos mecánicos (motores, sensores, limitadores, encendido/apagado, etc.). Estas tarjetas son muy usadas en el campo CNC porque facilitan la construcción de maquinaria especializada.

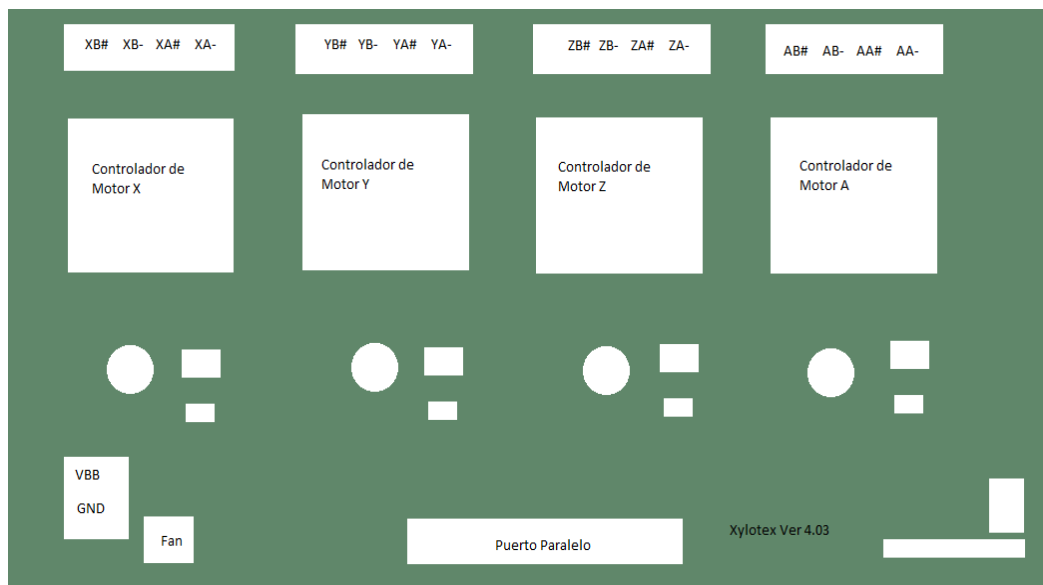


Figura 84 Esquema de la tarjeta

En la figura 84 aparece un esquema de la arquitectura de la placa principal en ella se pueden observar los principales interfaces que existen en ella.

En la parte inferior se observa el puerto de comunicación paralelo el cual sirve para comunicación con la PC. Cada pin de este puerto tiene asignado una función en específico en el caso de los motores se asignan 2 pines por cada motor. En la parte inferior izquierda se puede observar la entrada de alimentación eléctrica para las operaciones que requiere la tarjeta. Además trae un pin incorporado para mantener las condiciones de trabajo ventiladas.

En la parte de en medio aparecen los controladores de los motores paso a paso. Estos se encargan de convertir el tren pulsos generados por el programa a un tren de pulsos con mayor cantidad de voltaje y corriente suficientes para poder proporcionar rotación a los motores.

En la parte superior aparece la interface entre los controladores de los motores y los motores en sí.

El voltaje de entrada es de 110 V y el voltaje de salida de la fuente es de 24 V a 6A.

Además, esta puede funcionar con el Control de Altura de Antorcha (THC) que sirve para regular la altura de la antorcha (pistola) cuando esta efectúa un corte. Además, el encendido y apagado de la antorcha es hecho por ella.

2.2.3. Controlador de altura de la Antorcha o pistola (THC)

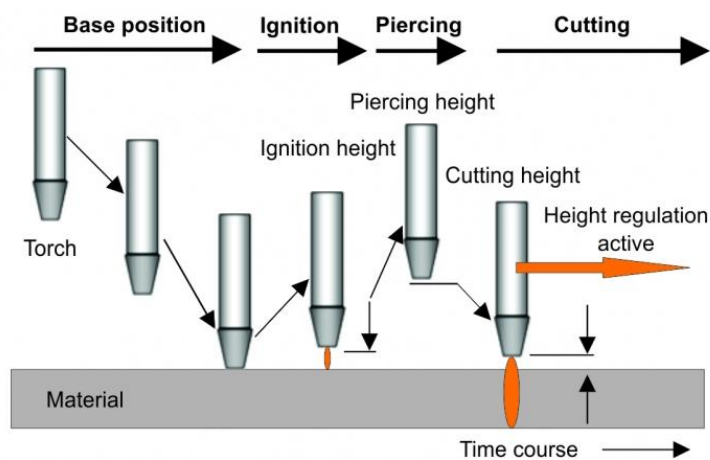
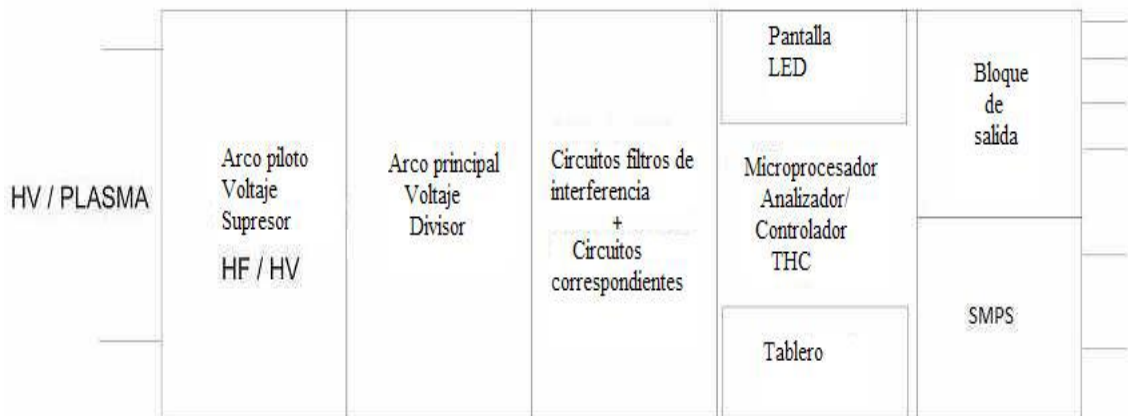


Figura 85. Proceso de control de ignición de plasma ^[11].

La unidad THC es un microprocesador análogo moderno, el controlador de la altura de antorcha del equipo plasma opera analizando los cambios de voltaje en la fuente de plasma debido a las variaciones en la altura entre la punta de la antorcha y el material que está siendo cortado.

El microprocesador calcula determinaciones para elevar o descender la antorcha en base a la fuerza de la señal del voltaje que está siendo leída. Está

equipado con una pantalla LED fácil de leer y dos botones que hacen la operación sea simple y no requiere de ningún instrumento de medición adicional.



Los valores de voltaje emitidos por el arco principal del cortador de plasma son luego enviados al “core” del dispositivo. El “core” consiste en un microprocesador programado, que además de analizar los parámetros de voltaje de corte y el control de los bloques de salida, también es compatible con la pantalla LED y las teclas de funciones.

Una fuente de poder integrada garantiza la compatibilidad en un amplio rango de voltajes de alimentación sin necesidad de amortizar el calor. La conexión de alimentación de poder está ópticamente aislada del resto del sistema lo que le permite usar y compartir la energía de los sistemas existentes proporcionándoles a sus salidas el voltaje recomendado.

El último bloque es un circuito de salida de relé, al cual se conectan las entradas del controlador/ PC, que es responsable del control del eje Z del motor de la cortadora de plasma CNC.

Tabla 6. Parámetros del THC

Nombre del Parámetro:	Aceptable	PRUEBA*
Voltaje de alimentación (V)	7 – 35V DC	36VDC*
Corriente máxima de entrada	120mA -	
Voltaje máximo de entrada directa	300VDC	1000V DC*
Voltaje de entrada máximo del Divisor 1:50	10VDC	60V DC*
Capacidad para eliminar el voltaje ionizante HV/HF	0.3kVAC	30kVAC*
Capacidad para eliminar la frecuencia ionizante HV/HF	>100kHz	75kHz
Ciclo de trabajo (%)	100%	-
Ciclo de trabajo de la eliminación de HV/HF (%)	100%	-
Capacidad de los relés	50mA / 60V DC	-
Vida de los relés usados (conmutable mínima declarada) con una capacidad de 5V / 10 mA	500000000ciclos	-
Grado de protección	P20I	-
Peso (g)	130g	-
Dimensiones externas (L * A * H) [mm]	33*89*65	-
Montaje	Riel DIN35	-

* Probado en el laboratorio.

2.2.4. Conexión de poder

El dispositivo puede ser energizado con un Voltaje de 7 a 35 V Corriente Directa. En la figura 87 aparece la conexión de entrada de poder.

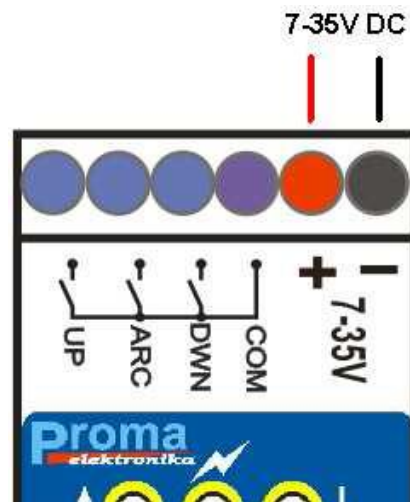


Figura 87. Conexión de poder

Para interruptores de abajo del dispositivo, se puede llevar al máximo el voltaje de salida de la fuente de plasma. En esta conexión no conecte nada a los otros terminales de entrada del controlador. (Figura 88)

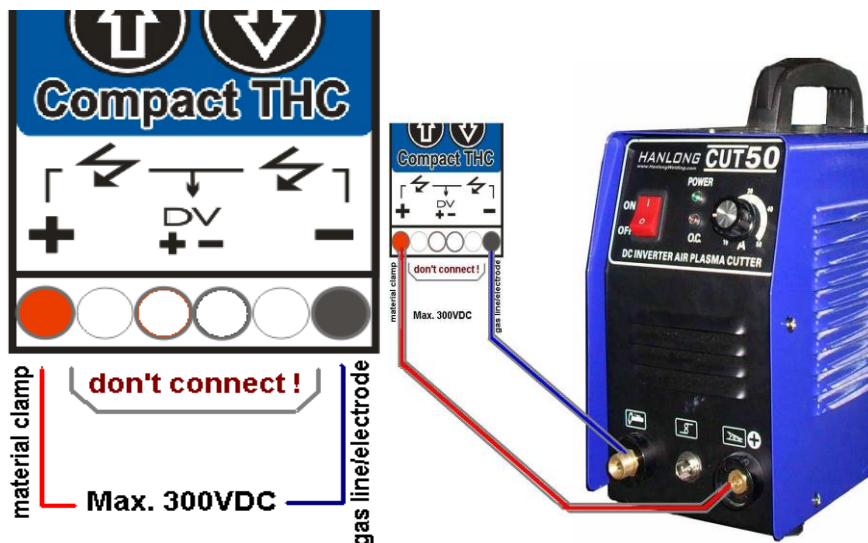


Figura 88. Conexión de salida de voltaje plasma ^[12].

Cuando se conecte directamente, se debe utilizar los cables más cortos posibles para conectar la fuente de plasma con el controlador THC - se

recomienda que el controlador esté ubicado directamente en la fuente de plasma.

Si bien es un THC universal, que acepta todo el voltaje del arco primario para cualquier cortador de plasma del mercado, una interesante característica de esta unidad es la adición de un divisor 1:50 para una instalación simple extremadamente rápida en la mayoría de las principales marcas. Lo más probable es que exista una conexión directa para esto en el exterior de la unidad cortadora para plasma.

2.2.5. Descripción de las salidas de los relés

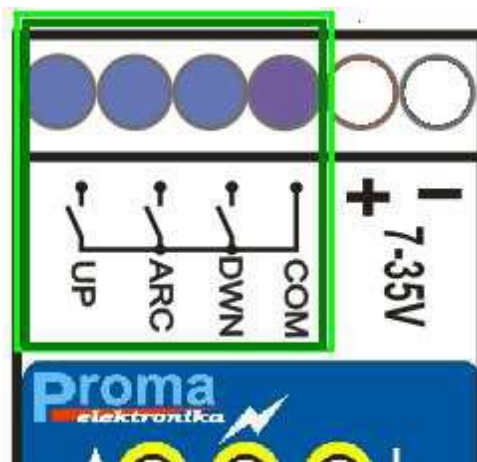


Figura 89 salida de conexión hacia tarjeta controladora ^[12].

Las salidas de los relés “Arc, Up, Down”, son controles de salidas vía relés, y no deberán ser utilizadas para ninguna otra cosa que para su uso previsto.

El terminal COM es un terminal de entrada común conectado a los contactos de los relay ARC, UP y DOWN dentro del dispositivo, según el

diagrama localizado en la cubierta (figura 90). Este terminal deberá ir conectado al GND de la tarjeta principal.

La salida ARC (también conocida como “Arco Okay”) se activa cuando se detecta la ignición del plasma. Enrute y configure para una entrada de software.

La salida UP se activa cuando el voltaje medido es más bajo que el voltaje de ajuste, reducido a la mitad del voltaje de histéresis.

La salida DOWN se activa cuando el voltaje medido es más alto que el voltaje de ajuste, reducido a la mitad del voltaje de histéresis.

Es importante mencionar que no se activan los relays de salida en el caso donde solamente se detecta el arco piloto y cuando el arco principal está roto.

Se utilizaran las conexiones periféricas HOME o LIMIT de la tarjeta controladora. Los contactos de relés THC deberán ser conectados a los terminales de la misma manera que los conectores interruptores de límite. Al mismo tiempo, el relé terminal COM común, deberá conectarse al sistema CNC a un terminal común para interruptores de límite (generalmente es un terminal GND).

Para reducir la posibilidad que un corto circuito entre al sistema CNC, la conexión deberá ser realizada con un cable apantallado - el apantallado deberá ser conectado a la tierra del lateral del sistema CNC. No conecte el apantallado al lateral del controlador THC. (Figura 90).

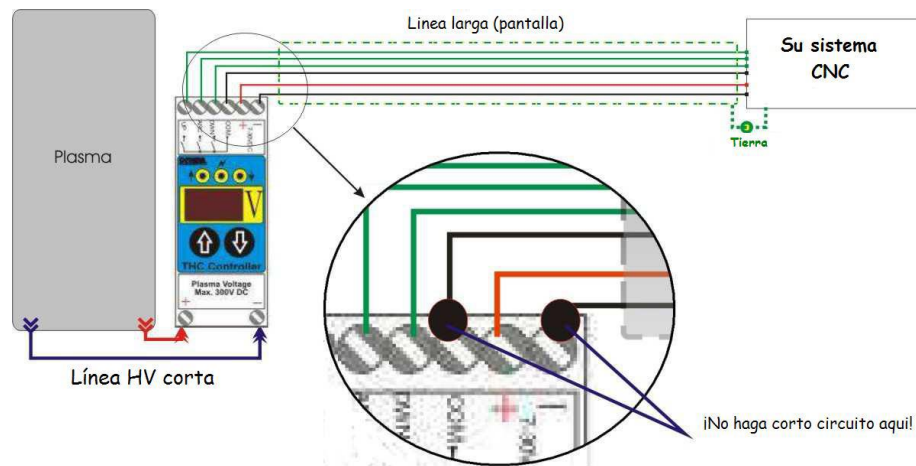


Figura 90 Conexión correcta con sistema CNC [12].

ALGORITMO DE TRABAJO

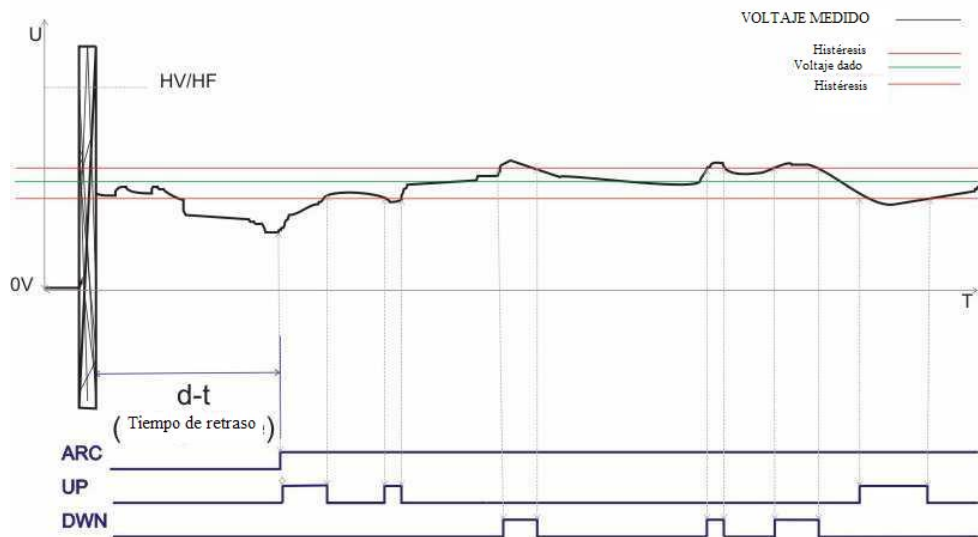


Figura 91 Algoritmo de trabajo de la THC [12].

2.2.6. Puesta en marcha y funcionamiento

El dispositivo está pre configurado de fábrica y después de haber hecho las conexiones correctas, funciona inmediatamente de manera apropiada con la mayoría de los dispositivos de plasma.

Después de colocar el interruptor en encendido, la pantalla del controlador THC muestra un mensaje "thc" "animado", y luego se presenta durante 1 segundo un valor de voltaje intermitente; el dispositivo está en calibración automática en este momento.



Figura 92. Visualización en pantalla ^[12].

Cuando el dispositivo está listo para el funcionamiento se muestra "- - -" lo cual significa, que no hay voltaje de entrada.

En este estado, pulsando ambas teclas arriba/abajo, simultáneamente y manteniéndolas por unos pocos segundos, pueden modificarse los puntos de ajuste del voltaje y así establecer la altura de la antorcha por encima del material. Presione una vez por corto tiempo para mostrar el valor establecido sin modificación.

Para determinar otros parámetros mantenga presionadas simultáneamente ambas teclas hasta que vea el parámetro deseado en la pantalla - cuando suelte las teclas, su valor será mostrado - utilizando las teclas arriba/abajo para establecer el valor deseado:

"HYS" (Histéresis) - El voltaje de histéresis - un rango en el que el voltaje es medido, en el que hay señales controlando ARRIBA/ABAJO 2 ± 1 a $30 \pm 15V$ - ajuste de fábrica: $8 \pm 4 V$



Figura 93 Visualización de Voltaje de Histéresis [12].

"d-t" (Tiempo de retraso) - tiempo de retraso de la salida cerrada aunque no haya voltaje de alimentación, cuando el sistema detecta el principal arco (corte) 0.1 - 9.9s ajuste de fábrica: 0.5 s.



Figura 94. Visualización de tiempo de retardo.

"H-U" (Voltaje alto) - Valor de la detección del voltaje de carga en el cortador de plasma - utilizado para detectar el principal arco (de corte): 50 – 300 V por defecto: 200 V.



Figura 95. Visualización de alto voltaje.

"tSt" (Prueba) Simulación de trabajo del controlador – el sistema simula la aparición de voltaje "flotante" dentro del valor seleccionado - causa la activación de entradas para probar fácilmente el sistema sin encender la cortadora.



Figura 96. Visualización de test.

Cuando el cortador de plasma está encendido, la pantalla muestra el valor medido de voltaje y los diodos LED presentan el estado actual de las salidas. El parpadeo rápido del valor medido indica la detección del arco piloto; la visualización continua indica la detección del arco principal (de corte).

Todos los parámetros pueden ser modificados durante el funcionamiento; estos cambios son reflejados en tiempo real en el control de las señales de salida.

2.2.7. Software a utilizar Mach3

Mach3 es un programa muy flexible (figura 97) diseñado para controlar máquinas como las fresadoras, tornos y cortadoras de plasma. Este programa trabaja en base a códigos G, pero para eso se necesita un convertidor de archivos dxf a código G. Es un programa para máquinas CNC que permite controlar los movimientos de los ejes X, Y y la altura de la antorcha o eje Z conjuntamente con la THC 300 mediante códigos G,

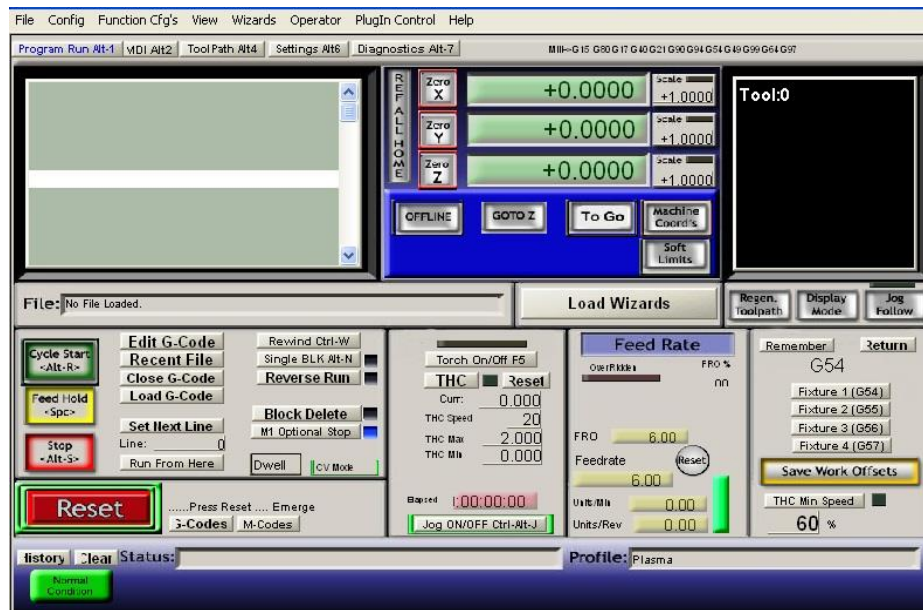


Figura 97 Interfaz Mach3.

2.2.8. Requisitos del sistema

Los requisitos del sistema para poder instalar el software mach3 son los siguientes:

➤ Requerimientos mínimos

- PC desktop
- Sistema Operativo Windows 2000, XP, Vista ó Windows 7 (de preferencia Windows XP por su compatibilidad con el interfaz).
- 1 Ghz de velocidad del CPU
- 512 de memoria RAM
- Tarjeta gráfica de 32 MB
- Puertos paralelo

2.2.9. Configuración

En la barra de menú se encuentra la opción de configuración, que es de mucha importancia, porque de ésta depende que el programa funcione sin

complicaciones, en esta opción se encuentran 14 puntos que deben ser configurados, como por ejemplo el sistema de medida (unidades), motores, encoders y demás elementos (figura 98).

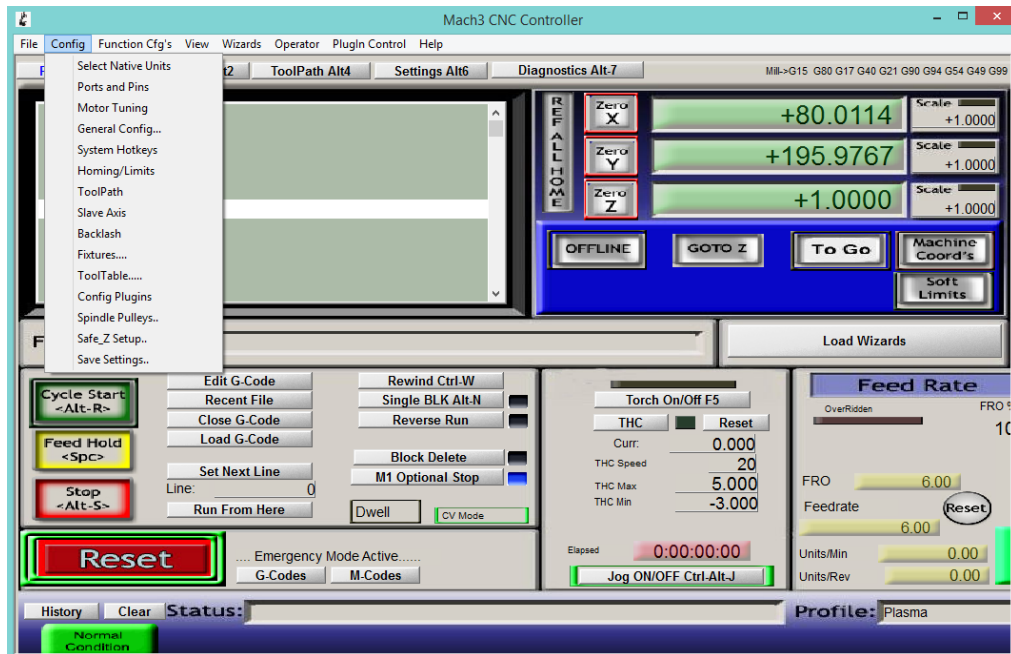


Figura 98. Configuración.

Definiendo unidades: ir a la barra de menú config>setup units, aquí se selecciona el sistema de unidades en el cual se desea trabajar, pudiendo ser este el sistema métrico o el sistema inglés (figura 99).

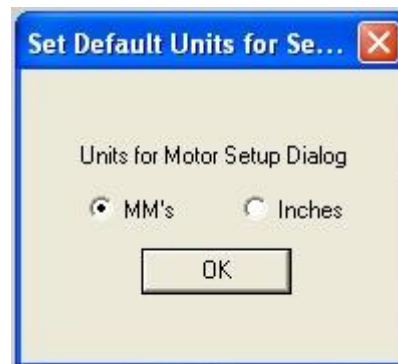


Figura 99. Configuración de unidades.

Esto es muy importante ya que de esto dependerá en que unidades se va a trabajar e influirá en la creación de los códigos G, el G20 es para el sistema inglés y el G21 para el sistema métrico.

Selección de puertos, ejes y pines: ir hacia barra de menú Config>Ports and Pins, se desplegará la siguiente pantalla (figura 100).

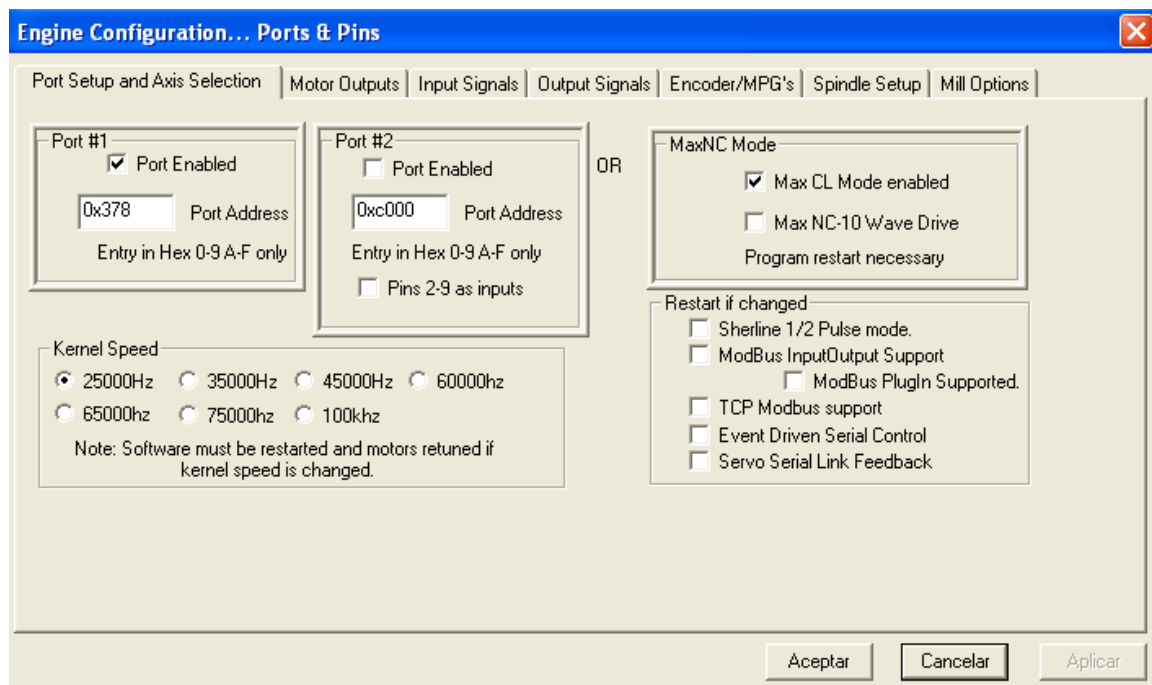


Figura 100 Configuración de puertos y selección de ejes

Si se usa un solo puerto paralelo se debe colocar la dirección en hexadecimal del puerto paralelo de la impresora, de emplearse un segundo puerto paralelo se debe ingresar la dirección en hexadecimal.

Además se debe especificar la frecuencia de trabajo; el Mach3 trabaja con frecuencias de 25,000 Hz (pulsos por segundo), 35,000 Hz y 45,000 Hz esto dependerá de la velocidad del procesador que se utilice, con una frecuencia de trabajo de 25,000 se trabaja cuando se tiene un procesador inferior a 1GHz, para la de 35,000 Hz trabaja con un procesador de 1 a 2 GHz, y para 45,000 Hz se trabaja con un procesador superior a 2 GHz.

Nota: siempre de debe dar un clic en el botón aplicar, cuando se realice alguna modificación en la configuración.

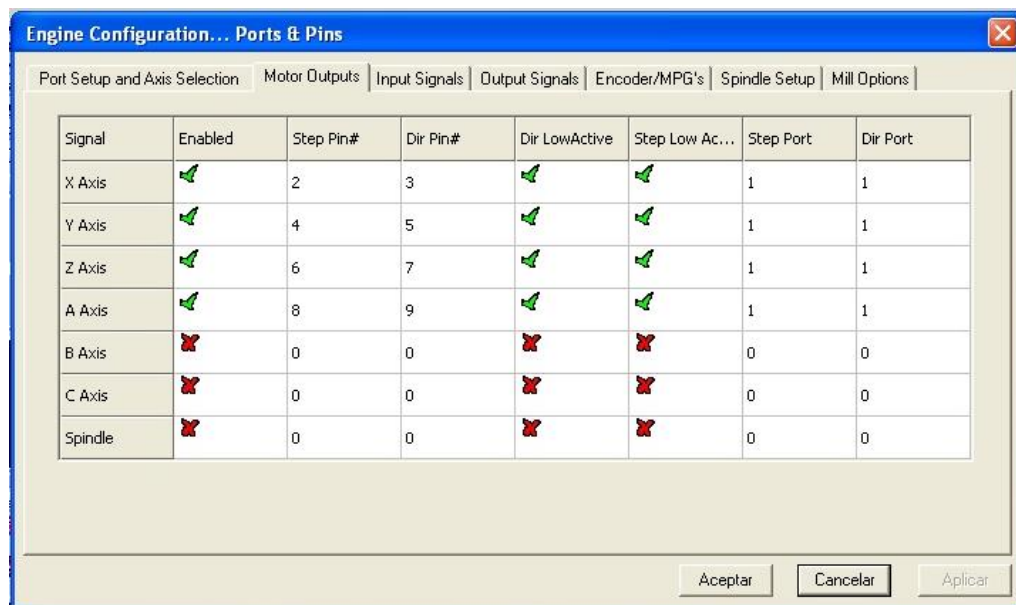


Figura 101. Configuración de pines.

2.2.10. Afinación de motores (Tuning motors)

Se necesita calcular el número de revoluciones del eje del motor (revoluciones motor por unidad) requerida para mover el eje por una unidad (una pulgada o un milímetro). Este número será probablemente mayor que uno

para pulgadas y menor de uno por milímetros, pero eso no hace ninguna diferencia para el cálculo.

Para un tornillo y tuerca, lo que necesita saber es el paso del tornillo (es decir, la distancia hilo cresta a cresta) y el número de hilos. Los tornillos ingleses suelen especificarse en hilos por pulgada (TPI). El paso se define por la siguiente ecuación:

$$P = 1/tpi$$

El paso de cada uno de los ejes son:

Eje	Paso
X	5 mm
Y	5 mm
Z	3.91 mm

El paso efectivo de los tornillos el paso multiplicado por el número de hileras que tiene el tornillo.

El paso efectivo de los tornillos X y Y son:

Eje	Paso	Paso efectivo
X	5 mm	10 mm
Y	5 mm	10 mm

Para el caso del eje Z no es necesario hacer el cálculo del paso efectivo ya que por tener una sola hilera el tornillo

Luego de calcular el paso efectivo de los tornillos es necesario calcular las revoluciones del tornillo por unidad.

$$\text{revoluciones del tornillo por unidad} = \frac{1}{\text{paso efectivo}}$$

Por lo tanto las revoluciones de los tornillos por unidad son:

Eje	Paso efectivo	Rev. Tornillos por unidad
X	10 mm	0.1
Y	10 mm	0.1
Z	3.91 mm	0.25

Se recomienda encarecidamente que se utilicen micropasos para el accionamiento de los motores paso a paso. En este sentido si no se utiliza los micropasos pueda que se tengan resonancias y esto limite el rendimiento a ciertas velocidades.

En algunos casos unos motores tienen un número fijo de micro-stepping, mientras que otros pueden ser configurados. En este caso, se tomará en consideración 10 micro-stepping, dado que es un valor considerablemente bueno. Un valor de 10 micro-stepping significa que Mach3 necesitará enviar 2000 pulsos para que el eje del motor gire una revolución. Todo esto se supone partiendo que un motor paso a paso posee una configuración básica de 200 pasos por revolución.

Ahora que se conoce el número de pasos de Mach3 por unidad, se puede finalmente calcular:

$$\text{Pasos Mach3 por unidad} = \text{Pasos Mach3 por rev} \times \text{rev del motor por unidad}$$

Los pasos Mach3 por unidad de cada motor son:

Eje	Rev. Tornillos por unidad	Pasos Mach3 por unidad
X	0.1	200
Y	0.1	200
Z	0.25	500

Una vez obtenidos estos valores se ingresan en el cuadro de diálogo de Motor tuning, como se aprecia en la figura 102 para los ejes X, Y. Para el eje Z en la figura 103.

Cada vez que se realice un cambio de configuración en cualquier eje, siempre debe pulsar el botón de Save Axis Tuning (Figura 102) para guardar los cambios realizados.

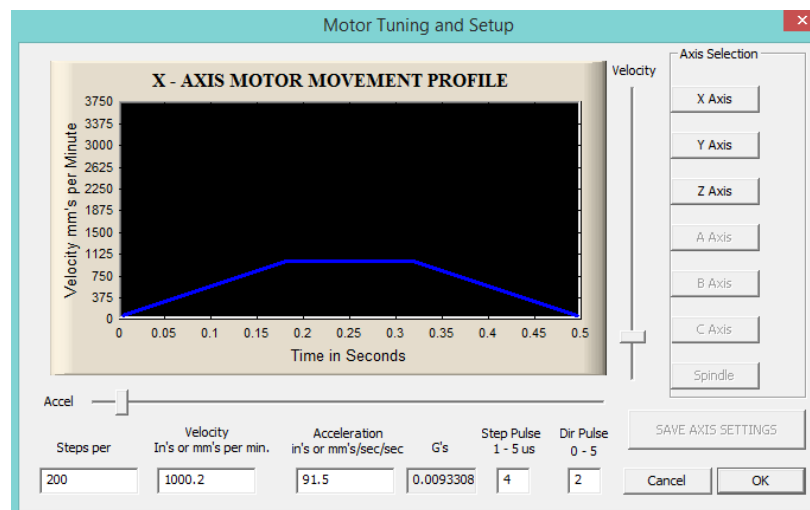


Figura 102. Configuración del motor eje X.

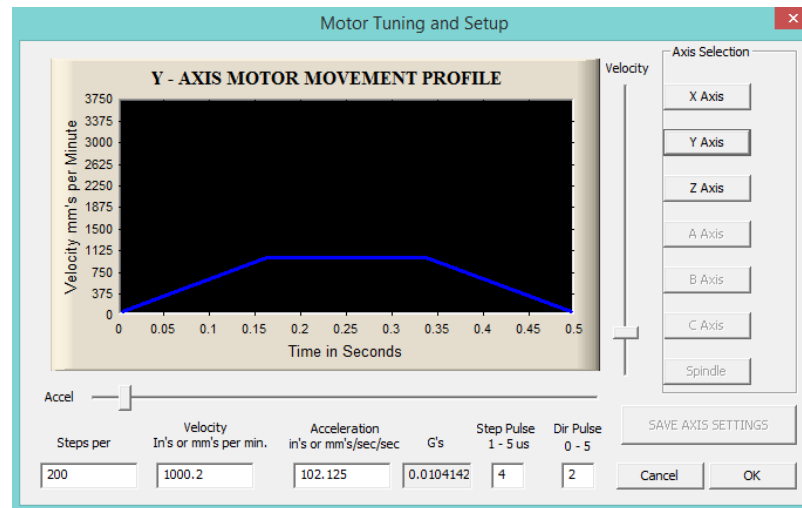


Figura 103. Configuración del motor eje Y.

Para la configuración lógica, se debe seleccionar o habilitar la opción modo de plasma y el resto de valores son los mismos por default, como se aprecia en la figura 104.

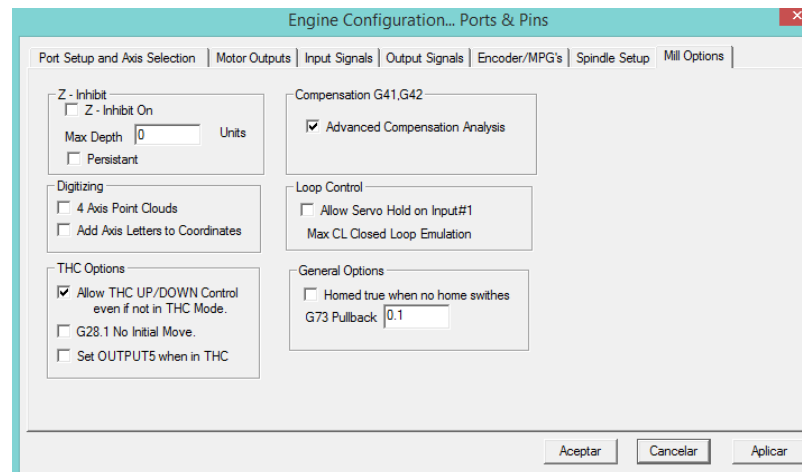


Figura 104. Habilitación modo plasma.

2.2.11. Controles del programa MACH3

En este punto se detalla los controles que posee la pantalla principal de ejecución del programa (figura 105).

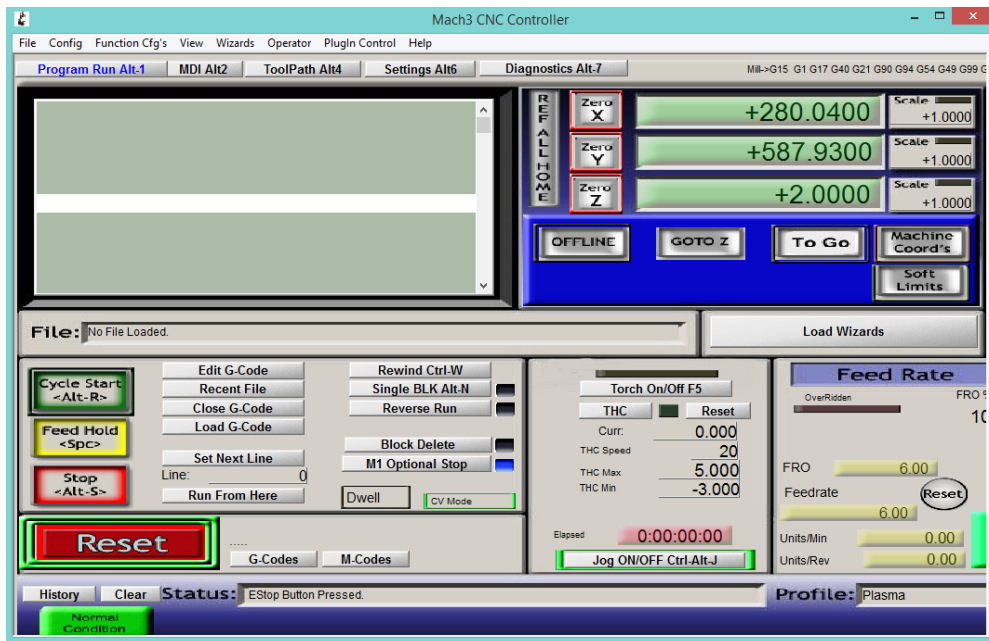


Figura 105. Pantalla de control principal.

La pantalla de visualización de los códigos G donde se observa el código generado y las líneas de código, así como las coordenadas o distancias que deben desplazarse se observa en la siguiente grafica (figura 106).

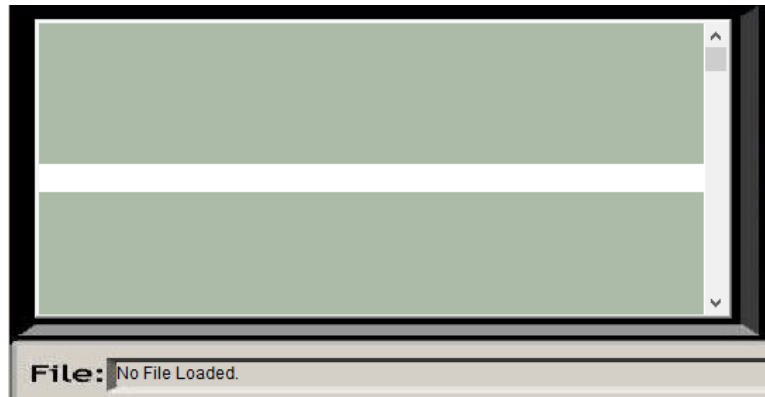


Figura 106. Cuadro de visualización código G.

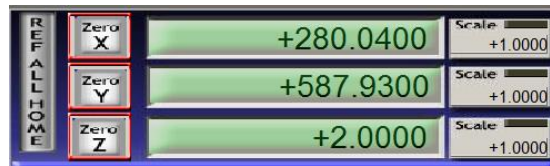


Figura 107. Visualización de la posición de la antorcha plasma

La pantalla de posición de la herramienta, muestra la posición o distancia que se desplaza cada eje al momento de ejecutar un código G, además se puede hacer cero todos los ejes al momento de llegar al punto de referencia o Home.

Como se puede apreciar en la figura 105, la pantalla posee algunos controles como los que se detallan a continuación:

- Run: este botón sirve para comenzar a ejecutar el programa.
- Stop: con este se detiene el control de los ejes rápidamente.
- Rewind: permite rebobinar el actual programa.
- Zero all: permite colocar a cero todos los ejes.
- Zero Z: coloca a cero solo el eje Z.
- Reload: permite recargar nuevamente el programa, cuando se hace cero todos los ejes, y se desea repetir el mismo proceso.
- Fire torch: este activa o desactiva la antorcha al ser pulsado y se activa también cuando se ejecuta el código M3 y se desactiva cuando se ejecuta el código M5.
- Reset: este permite apagar o parar al programa.
- Edit: permite editar el programa ingresando directamente al archivo donde se generó los códigos G.
- New: aquí el operario puede crear su propio programa ingresando los códigos por el teclado.

- Recent: abre todos los archivos usados recientemente.

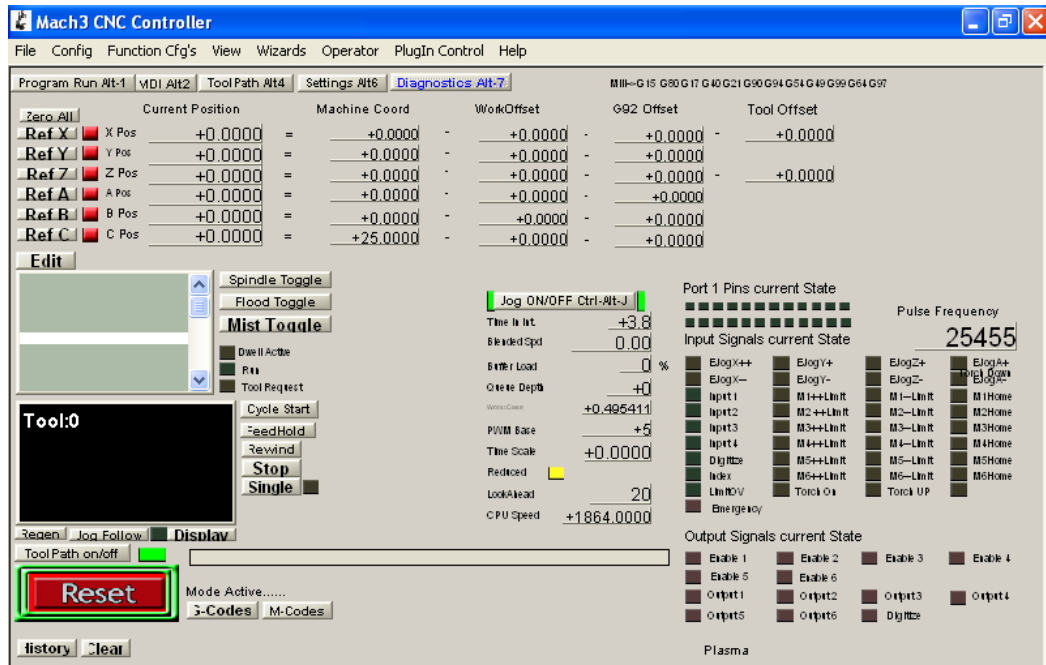


Figura 108. Visualización del diagnostic.

- Diagnostic (F7): esta opción muestra una pantalla de diagnóstico (figura 108), donde se visualiza las entradas y salidas que se encuentran activadas y desactivadas, antes y durante la ejecución del programa.

Se tiene la opción MDI (F2) (entrada de datos manualmente), donde se puede ingresar los códigos y ser ejecutados manualmente mediante el teclado, esta función se emplea cuando existe alguna anomalía en el programa o parada de emergencia, entonces se ingresa el código a fin de retornar al punto de origen; también se emplea para realizar pruebas (figura 109).

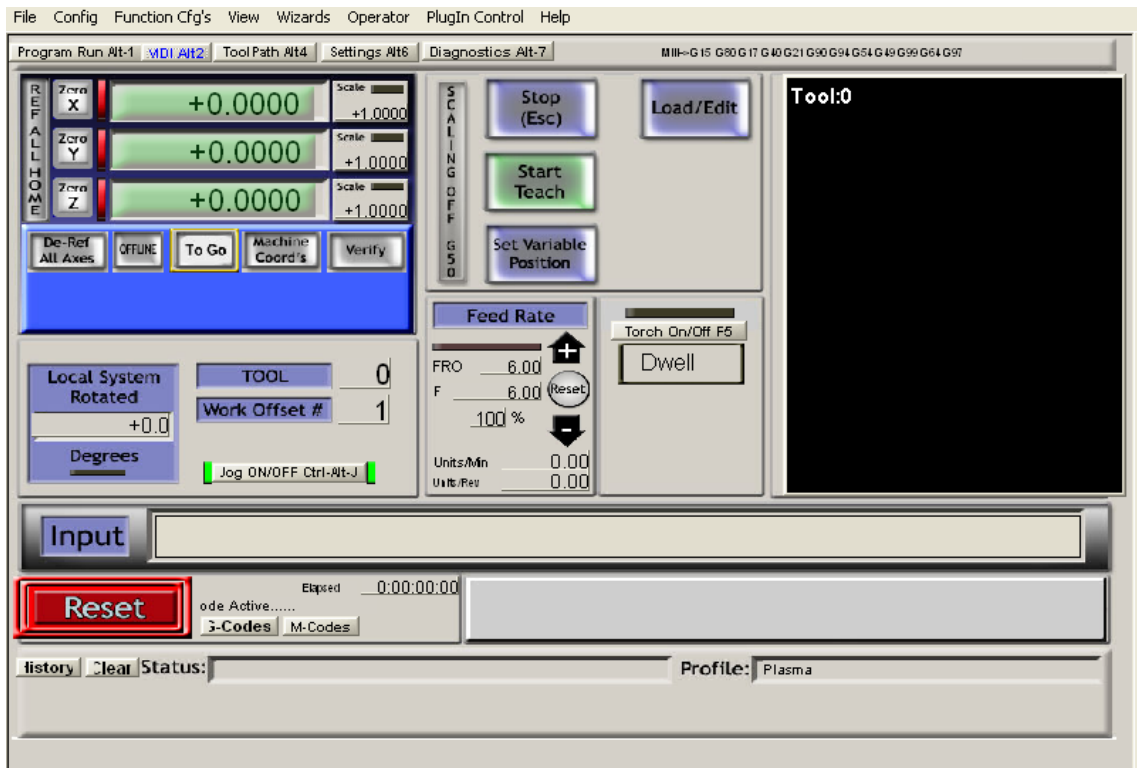


Figura 109. Visualización del MDI

La opción Corrections (F6), se usa para colocar valores como se puede apreciar en la pantalla de la figura 109, los cuales se detallan a continuación.

- Calibrate to Zero: mueve la antorcha a la posición de referencia definida por el operario.
- Enable Toggle: controla al eje Z, su movimiento está basado en la información de la altura de la unidad de plasma o THC300.
- Anti Drive Toggle: usa los valores del Anti-Drive Limit, en este caso estará deshabilitado, se asumirá que $Z = 0$ y esto habilita a la opción Enable Toggle.

➤ Configuración de Limit Switch

Los limit switch son dispositivos interruptores que se encargan de evitar colisiones en los límites de los tornillos de potencia, a fin de evitar daños mecánicos en los tornillos y componentes aledaños.



Figura 110. Limit Switch

Los limit switches se alojan en los finales de carrera de cada eje en total se requieren 6 limit switches en la maquinaria, estos irán conectados a la tarjeta principal mediante un interfaz de comunicación el cual se le asignará un pin de comunicación a cada juego de ejes. A continuación se presenta un cuadro con la configuración de pines para cada juego de limit switches:

Eje	Pin asignado
X	12
Y	13
Z	15

Los limit switches están normalmente cerrados por lo que al ser activados cortan la señal y esto hace que se pare por completo las instrucciones (figura 111).

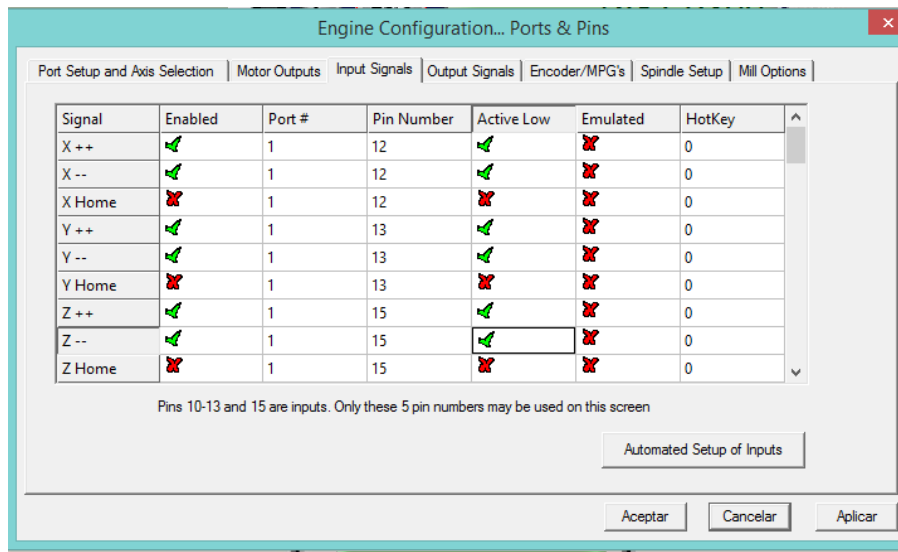


Figura 111. Configuración de pines para limit switch.

2.2.12. Procedimiento para realizar el código G y ejecución del programa Mach3

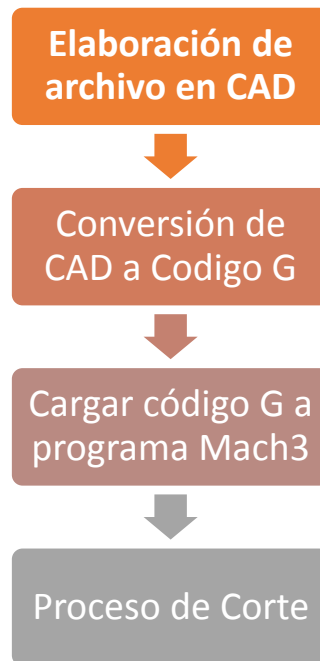
Habiendo descrito en la sección anterior la configuración para poder utilizar el programa Mach3 se debe de realizar un pequeño diagrama de proceso para poder realizar piezas.

En primer lugar se tiene que realizar el diseño CAD en un programa que pueda realizar piezas en .dxf.

Luego de esto se procede a la importación del archivo .dxf al programa que convierte los vectores realizados en el programa CAD en código G y con sus respectivas configuraciones secundarias.

Ya luego de eso se procede a cargar el programa.

En el diagrama siguiente se muestra el esquema de procesos a seguir para la elaboración de una pieza en el CNC plasma.



A continuación se describirá paso a paso la realización de una pieza a fin de comprender a profundidad el procedimiento:

- 1) Se escoge un modelo a cortar, en este caso se hace el código G para las palabras “EIM FIA UES” que significan: “Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador”. En el caso de la ejemplificación se utiliza el programa Solidworks para la elaboración del archivo .dxf.



Figura 112. Archivo DXF creado.

2) Luego de haber creado el archivo DXF se procede a la elaboración del código G. El programa que se utiliza para convertir el archivo dxf a código G se llama LazyCam, este programa reconoce las trayectorias vectoriales del archivo dxf generado anteriormente y los convierte en código G. Su fácil utilización hace que sea versátil para su manipulación.

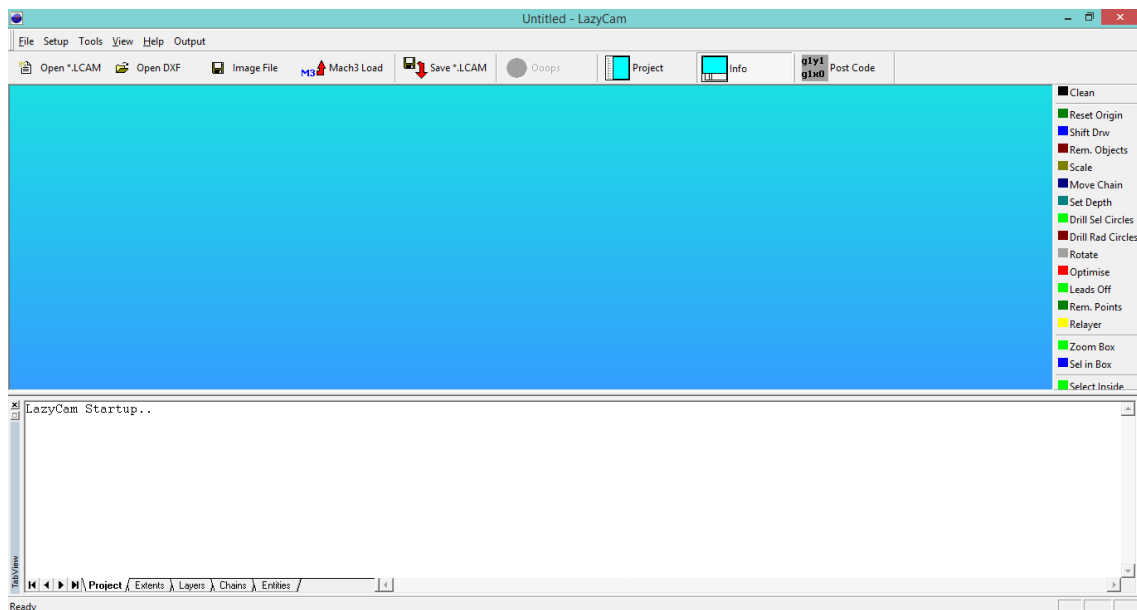


Figura 113. Visualización del programa LazyCam.

El procedimiento para convertir un archivo dxf a código G es el siguiente:

- Se carga el archivo dxf en el programa LazyCam (figura 114)

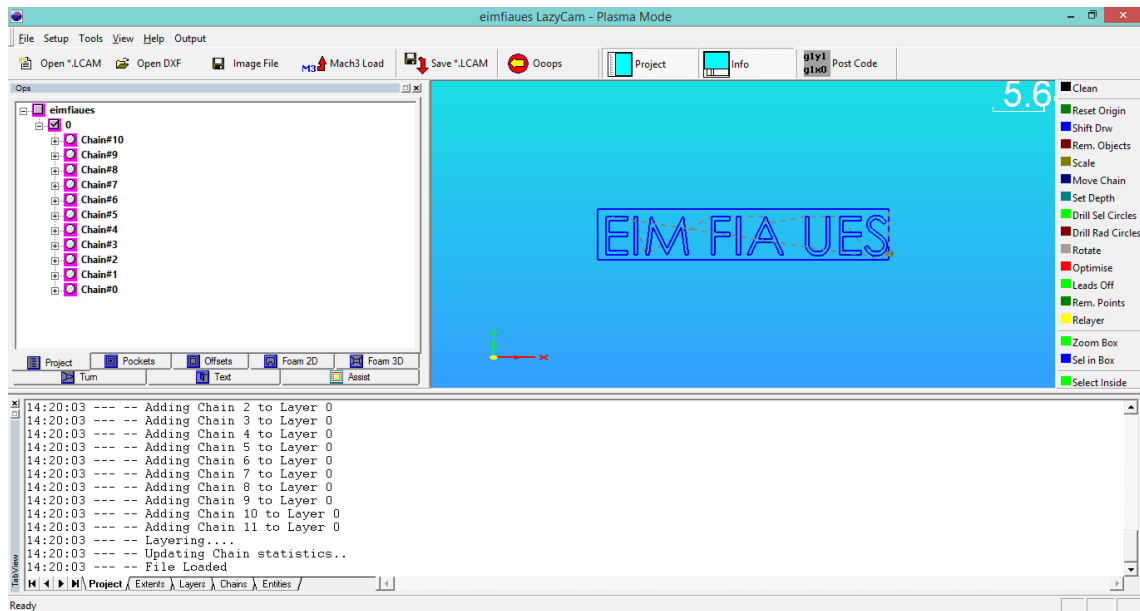


Figura 114. Archivo .DXF cargado en LazyCam.

- Luego de haber cargado el archivo .dxf se procede a la configuración de parámetros de profundidad y configuración de velocidad de corte.

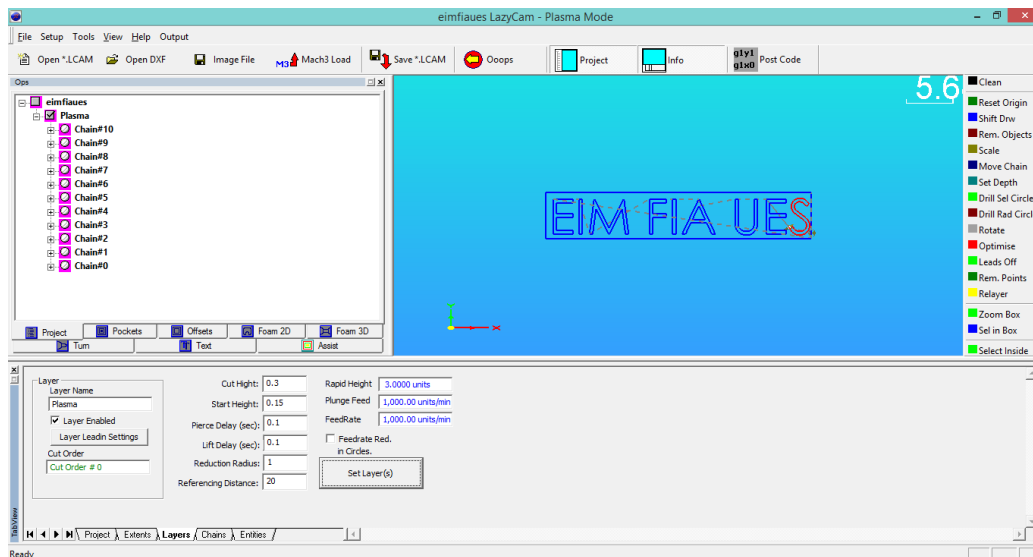


Figura 115. Configuración de la altura G00 y la velocidad de corte de la herramienta.

- Luego de haber configurado las velocidades de corte y alturas rapidas se procede al procesamiento para la generación del código G. Se genera dando click en el icono “Post Code” (figura 116).

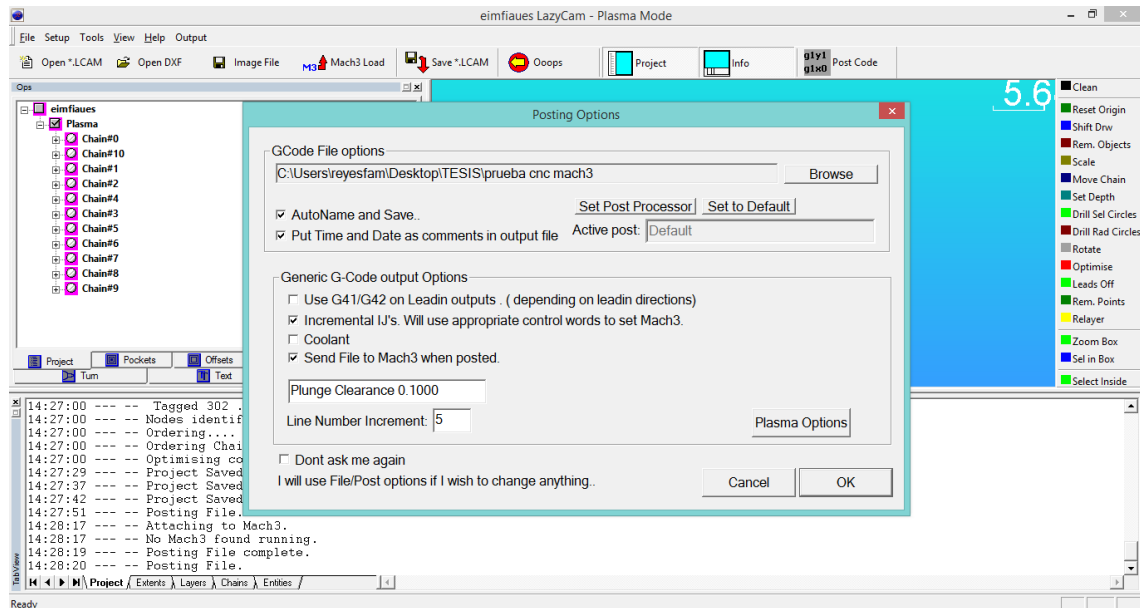


Figura 116. Generación de Código G.

En la figura aparece el cuadro de opciones de Post del Código G. Se da click en OK para generar el archivo .tap que es el archivo que luego se procede a cargar en el programa Mach3.

Luego de haber generado dicho código se carga en Mach3 para proceder a cortar el elemento creado a través del código G.

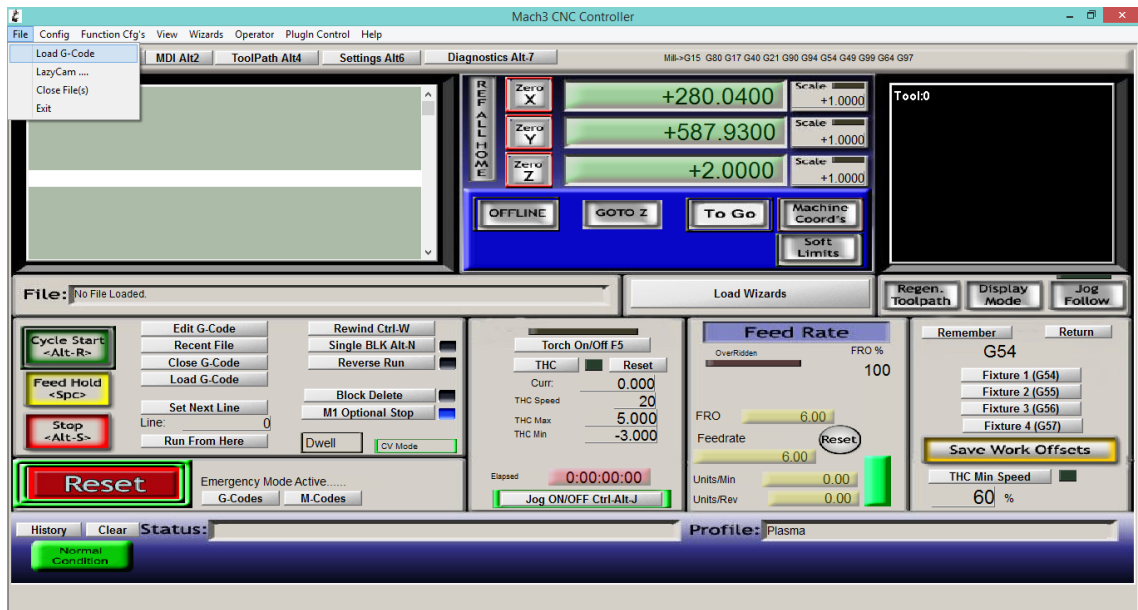


Figura 117 Cargar archivo G-code en Mach3.

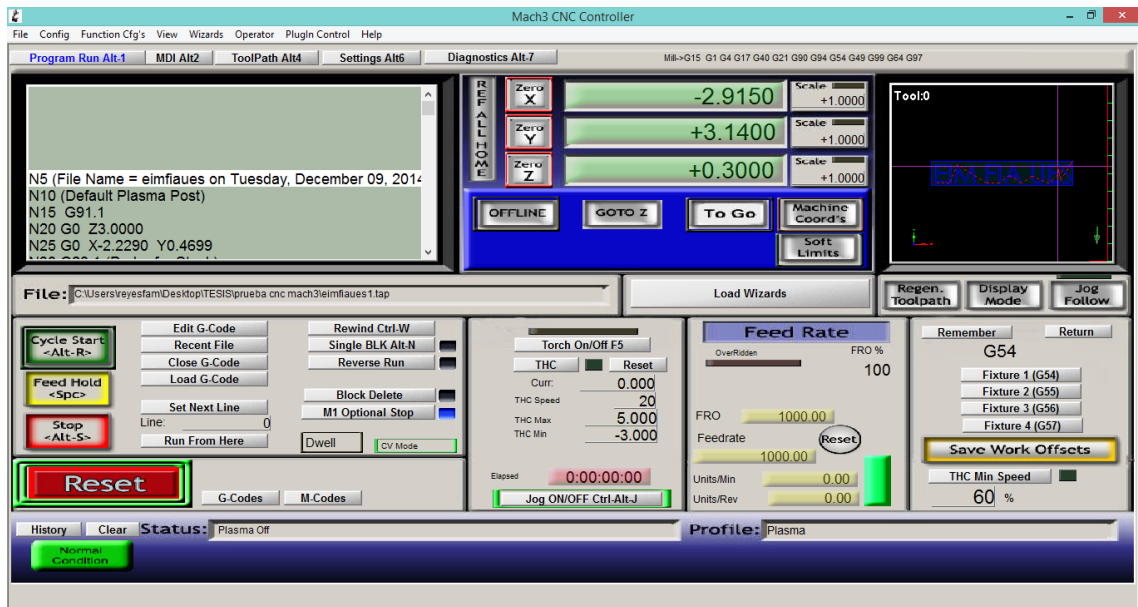


Figura 118 archivo G-code cargado en Mach3.

Cargado el G-code ya está listo para iniciar el proceso de corte por medio de Plasma.

3. CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS

En el proceso de construcción y montaje de la maquina diseñada se utilizaron las diversas máquinas y herramientas (Tabla 7) para poder construir cada elemento requerido (tabla8) para el sistema de corte por plasma.

Tabla 7. Equipo utilizado para la construcción

Equipo			
1	Soldador MIG	12	Brocas y machuelos
2	Torno	13	Tenaza de presión
3	Fresadora	14	Escuadras
4	Taladro de pedestal	15	Nivel
5	Taladro de mano	16	Martillos
6	Tronzadora	17	Punzón
7	Esmeril	18	Rayador
8	Pulidora	19	Cinta métrica
9	Cizalla	20	Pie de Rey
10	Prensa de banco	21	Prensa hidráulica
11	Arco de Sierra		

Tabla 8. Inventario de elementos necesarios para la máquina.

No.	Elemento	Cantidad	Material
1	Barra Estabilizadora eje x	4	AISI 1020
2	Barra Estabilizadora eje Y	2	AISI 1020
3	Barra Estabilizadora eje z	2	AISI 1020
4	Carro Desplazador eje x	2	Aluminio
5	Carro DEsplazador eje y	1	Aluminio
6	Carro Desplazador eje z	1	Aluminio
7	Mesa Sostenedora	1	Acero
8	Porta Pistolas	1	Aluminio
9	Sostenedor tornillo eje x	4	Aluminio
10	Sostenedor tornillo eje y	2	Aluminio

Continuación tabla 8...

No.	Elemento	Cantidad	Material
11	Sostenedor tornillo eje z	1	Aluminio
12	Tornillo de potencia eje x	2	AISI 1045
13	Tornillo de potencia eje y	1	AISI 1045
14	Tornillo de potencia eje z	1	AISI 1045
15	Tuerca eje x	2	Bronce
16	Tuerca eje y	1	Bronce
17	Tuerca eje z	1	Bronce
18	Soporte de motor eje x	2	AISI 1020
19	Soporte de motor eje y	1	AISI 1020
20	Soporte de motor eje z	1	AISI 1020
21	Acople de motor eje x	2	AISI 1020
22	Acople de motor eje y	1	AISI 1020
23	Acople de motor eje z	1	AISI 1020

3.1. OPERACIONES TECNOLÓGICAS REALIZADAS EN LA CONSTRUCCIÓN

A continuación se presentan las principales operaciones tecnológicas (tabla 9) que se requirieron para realizar cada pieza de la máquina.

Tabla 9. Operaciones tecnológicas realizadas para los elementos

Elemento	Operación	Tiempo (h)
Barra Estabilizadora eje x	Cortado	0.25
	Refrentado	0.5
Barra Estabilizadora eje Y	Cortado	0.25
	Refrentado	0.5
Barra Estabilizadora eje z	Cortado	0.25
	Refrentado	0.5
Carro Desplazador eje x	Cortado	0.5
	Soldado	0.5
	Fresado	1
	Pulido	0.25

Continuación tabla 9...

Elemento	Operación	Tiempo (h)
Carro Desplazador eje y	Cortado	0.5
	Soldado	0.5
	Fresado	1
	Pulido	0.25
Carro Desplazador eje z	Cortado	0.5
	Soldado	0.5
	Fresado	1
	Pulido	0.25
Mesa Sostenedora	Trazado	1.5
	Cortado	1
	Soldado	3
	Pulido	1
Porta Pistolas	Cortado	0.25
	Soldado	0.25
	Fresado	0.5
	Pulido	0.25
Sostenedor tornillo eje x	Cortado	0.5
Sostenedor tornillo eje x	Soldado	1
	Fresado	1.5
	Taladrado	0.5
	Pulido	0.25
Sostenedor tornillo eje y	Cortado	0.5
	Soldado	1
	Fresado	1.5
	Taladrado	0.5
	Pulido	0.25
Sostenedor tornillo eje z	Cortado	0.5
	Soldado	1
	Fresado	1.5
	Taladrado	0.5
	Pulido	0.25
Tornillo de potencia eje x	Cortado	0.25
	Torneado	8
Tornillo de potencia eje y	Cortado	0.25
	Torneado	8

Continuación tabla 9...

Elemento	Operación	Tiempo (h)
Tornillo de potencia eje z	Cortado	0.25
	Torneado	4
Tuerca eje x	Cortado	0.25
	Torneado	4
Tuerca eje y	Cortado	0.25
	Torneado	4
Tuerca eje z	Cortado	0.25
	Torneado	4
Soporte de motor eje x	Cortado	0.25
	Soldado	1
	Fresado	1
Soporte de motor eje x	Taladrado	0.5
	Pulido	0.25
Soporte de motor eje y	Cortado	0.25
	Soldado	1
	Fresado	1
	Taladrado	0.5
	Pulido	0.25
Soporte de motor eje z	Cortado	0.25
	Soldado	1
	Fresado	1
	Taladrado	0.5
	Pulido	0.25
Acople de motor eje x	Cortado	0.25
	Torneado	1
	Taladrado	0.5
	Machuelo	1
Acople de motor eje y	Cortado	0.25
	Torneado	1
	Taladrado	0.5
	Machuelo	1
Acople de motor eje z	Cortado	0.25
	Torneado	1
	Taladrado	0.5
	Machuelo	1

3.2. DESCRIPCIÓN DEL MONTAJE MECÁNICO

Para la construcción del manipulador para el corte por plasma, se comenzó con la estructura metálica de la mesa (Figura 119), la cual sería el soporte para todos los componentes que se requerirían elaborar posteriormente.



Figura 119. Estructura de la mesa con sistema mecánico incorporado

Los tornillos de potencia (Figura 120) fueron los siguientes a fabricarse. Se tienen dos tornillos utilizados para el eje X, un tornillo para el eje Y, y otro para el eje Z, cada uno con sus respectivas dimensiones (planos).



Figura 120. Tornillos de potencia. a) vista de la rosca del tornillo. b) Extremo del tornillo de potencia.

Los tornillos se elaboraron mediante el proceso de torneado, con el tiempo estipulado para completarlos tornillos aproximadamente una semana, con dificultades en los tornillos para X e Y, debido a las dos hileras contenidas. En conjunto a los tornillos se elaboraron tuercas de bronce fosfórico para tener una fricción controlada entre tuerca-tornillo.



Figura 121. Tornillos de potencia con tuerca.

Luego de ya tener los tornillos fabricados, se prosiguió con los soportes (Figura 122) para éstos, los cuales se elaboraron de aluminio puro para reducir el peso sostenido en la estructura. Se hicieron cuatro soportes para sostener a los dos tornillos para el movimiento en el eje X; dos soportes para el tornillo correspondiente al movimiento en el eje Y; y una “C” para sostener el tornillo respectivo al movimiento en Z.



Figura 122. Soportes para los tornillos de potencia

Las barras guías acompañadas a cada tornillo para facilitar su movimiento se compraron del diámetro necesario para no hacerles ninguna modificación, solo necesitarían la lubricación respectiva para reducir la fricción al momento de desplazar el “carrito”.

Los “carritos” a desplazarse también se elaboraron de aluminio puro, con una incrustación de bronce fosfórico enroscado para el paso del tornillo, de forma que al girar el tornillo, se desplazaría el “carrito” correspondiente al tornillo en movimiento. Se tienen dos “carritos” para el movimiento en X; uno para el movimiento en Y; y uno para el movimiento en Z.

Luego de todos los elementos principales fabricados, se prosiguió al montaje de la estructura, comenzando por los soportes donde estarían sujetos los tornillos para el movimiento en X seguidamente de sus respectivas guías junto con el carrito montado (figura 123); se procede con los componentes relacionados al movimiento en Y, ensamblando la estructura para solo colocarla sobre los carritos del eje X; y continuamente se coloca la estructura del

movimiento para el eje Z sobre el carrito de desplazamiento sobre el tornillo Y, terminando el ensamble principal.

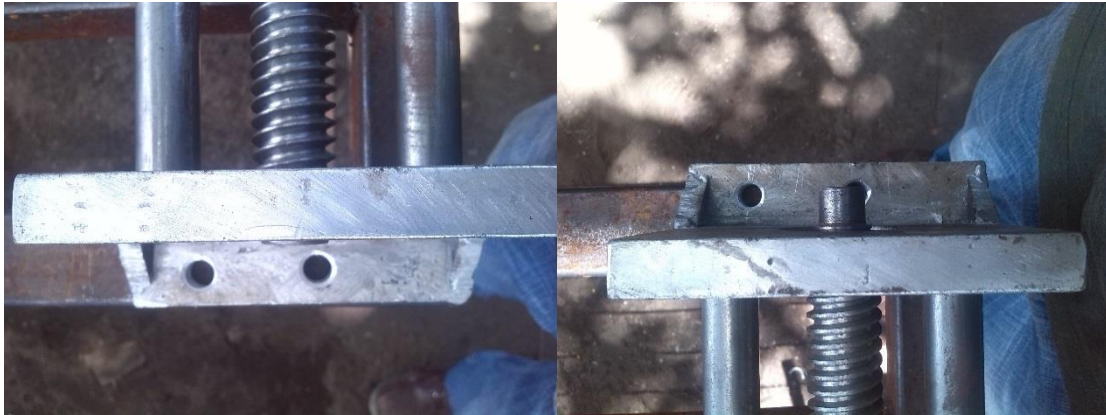


Figura 123. Ensamble de los tornillos de potencia y las barras guías

Para sujetar los ejes guías se colocaron prisioneros para evitar la rotación de los mismos ejes y facilitar el desplazamiento de los carritos por la rotación de los tornillos, respectivos para cada movimiento en las tres direcciones.

Para la colocación de los motores de paso (Figura 124) se realizaron unas estructuras apropiadas para poderlos acomodar y en dirección del eje; y se elaboraron unos acoples, sujetos con prisioneros para que el motor pueda realizar el movimiento del eje sin que deslice.

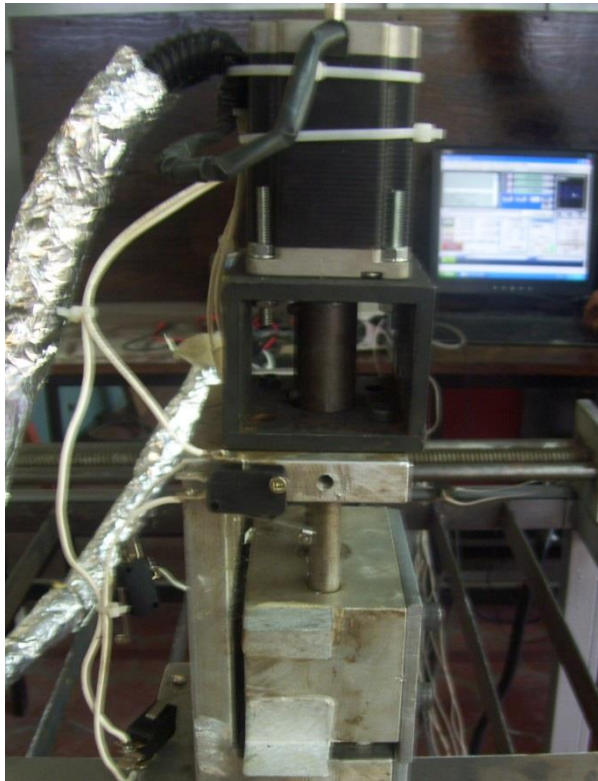


Figura 124. Motor instalado en el eje Z, acople y soporte de los motores.

3.3. INSTALACIÓN DE LOS COMPONENTES ELECTRÓNICOS

De los componentes electrónicos se seleccionaron, la tarjeta principal Xylotex, donde se conectan directamente los motores de paso y la tarjeta en puerto paralelo (figura125), Break Out Board (BOB), donde se conecta los dispositivos necesarios para poner a funcionar el plasma mediante el software seleccionado (Mach 3).

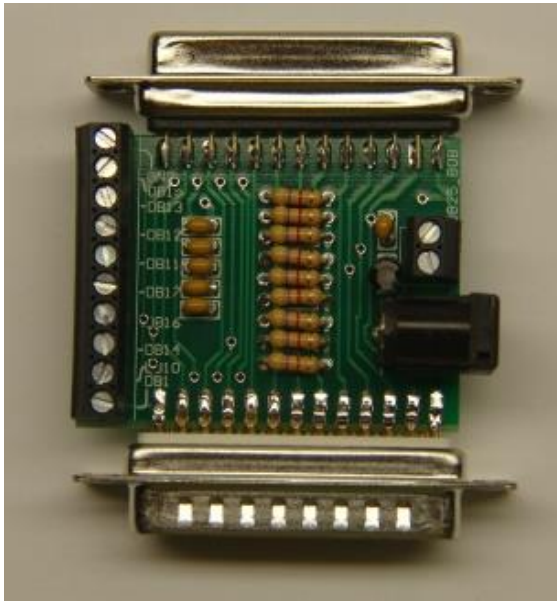


Figura 125. Tarjeta de puerto paralelo (BOB)

Se utiliza el THC (figura 126) para controlar el flujo de aire del plasma, conectándolo a la BOB.



Figura 126. THC

Para completar el circuito electrónico de puesta en marcha del sistema se presenta el circuito de la figura 127:

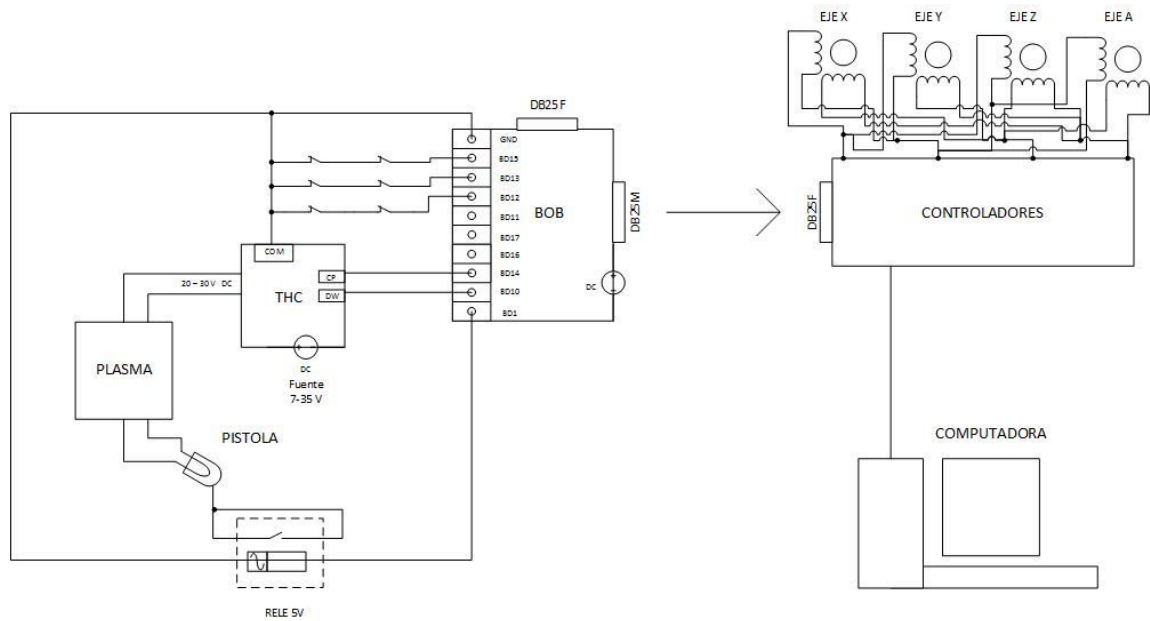


Figura 127. Circuito de instalación de los controladores y dispositivos electrónicos.

El equipo de plasma se conecta al THC; El THC se conecta a la BOB; El BOB se conecta a la tarjeta principal Xylotex; y la tarjeta principal se conecta a la computadora, de esta forma mediante el software Mach 3 se logra manipular el sistema cartesiano y controlar el flujo de aire del plasma.

3.4. PRUEBAS

Luego de instalado todos los dispositivos y sistema se procedió a configurar el programa para que tuvieran concordancia con la movilidad y requisitos del usuario.

Inicialmente el sistema se puso en marcha sin la instalación del plasma, para corroborar la ejecución del programa seleccionado en relación al sistema cartesiano.

Luego de corroborar la movilidad del sistema cartesiano se realizaron modificaciones necesarias para mejorar de cierta forma el sistema, posteriormente se inició la instalación del equipo de plasma y su puesta en marcha (figuras 128, 129, 130).

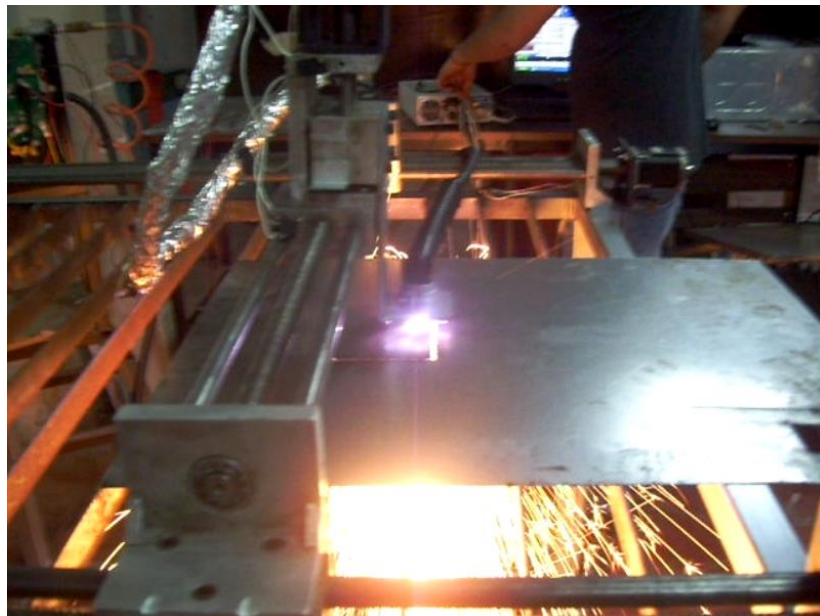


Figura 128. Puesta en marcha realizando el corte por plasma.



Figura 129. Vista el arco al momento del corte.

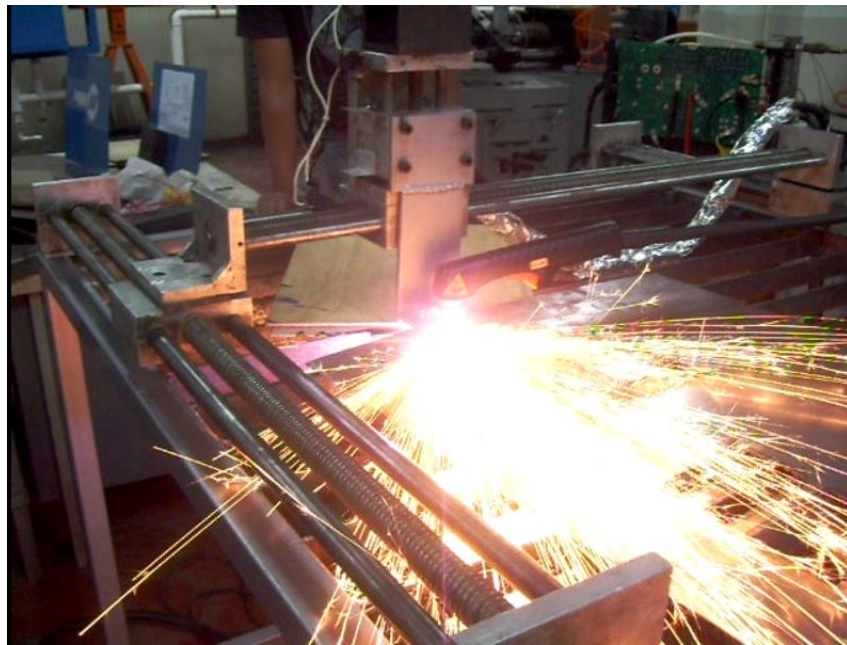


Figura 130. Imágenes de la puesta en marcha del sistema

De la prueba se realizaron formas básicas, una rectangular, letras (U, E), como se muestran en la figura 131.



Figura 131. Pruebas del corte por plasma

4. COSTOS Y PRESUPUESTO

Dentro del marco de las justificaciones para la realización de este trabajo de graduación se contempló el rubro económico como una fuerte variable; se conoce que en el mercado hoy en día, el costo de las máquinas de control numérico es relativamente elevado, por lo tanto, la adquisición de una máquina de este tipo debe ser ampliamente justificada para cualquier entidad interesada en la misma.

4.1. COSTOS

El costo real de la máquina, se divide en dos grandes rubros:

- Tiempo de diseño y construcción.
- Materia prima (materiales e implementos utilizados).

Dentro del primer rubro, se contempla la cantidad de horas/hombre dedicadas al diseño, siendo este el valor del trabajo de ingeniería llevado a cabo para el desarrollo del mismo (parte mecánica y electrónica); también, se contempla el costo de la mano de obra necesaria para construir y ensamblar los componentes de la máquina.

En el segundo rubro, se contempla el valor de todas las materias primas requeridas para la elaboración tanto de las piezas mecánicas como del circuito de control y otros accesorios tales como rodamientos y elementos de sujeción.

4.2. PRESUPUESTO

Para la construcción del equipo se utiliza diferentes tipos de materiales y elementos electrónicos; debido a la necesidad de minimizar el peso de los

componentes que moverá cada motor se elaboró una estructura requerida para poder soportar dicha carga el conjunto ensamblado

Tabla 10. Presupuesto general sobre la construcción del sistema cartesiano.

PRESUPUESTO GENERAL		
ITEM	DESCRIPCIÓN	COSTO TOTAL
1	Materiales para la construcción de la mesa metálica: tubo estructural, platina, electrodos	\$ 290.85
2	Materiales para tornillos de potencia, soportes, barras guías: barras de acero, aluminio, bronce fosfórico.	\$ 663.45
3	Componentes electrónicos: motores paso a paso, tarjeta principal, BOB, THC, cableado.	\$ 900.00
4	Fabricación del sistema mecánico: mesa, tornillos de potencia y ensamble.	\$ 1386.50
5	Instalación de los componentes electrónicos	\$ 40.00
6	Otros elementos: tornillos, tuercas, pernos, electrodos, rodamientos, canaletas de cableado.	\$ 50.00
	Sub-Total	\$ 3,330.80
7	Imprevistos (5%)	\$ 166.54
8	Honorario de ingeniero	\$ 4,000.00
	TOTAL	\$ 7,497.34

CONCLUSIONES

La construcción del sistema cartesiano para corte por plasma, usando técnicas de control numérico computarizado se realizó con la finalidad de facilitar la manufactura en el proceso de corte del metal, hasta placas de $\frac{1}{4}$ de pulgada de espesor.

El sistema cartesiano facilita el corte del metal con mayor precisión en la movilidad de la antorcha para realizar movimientos que resultan ser más complicados si se realizan de forma manual, y variando la diversidad en formas geométricas difíciles.

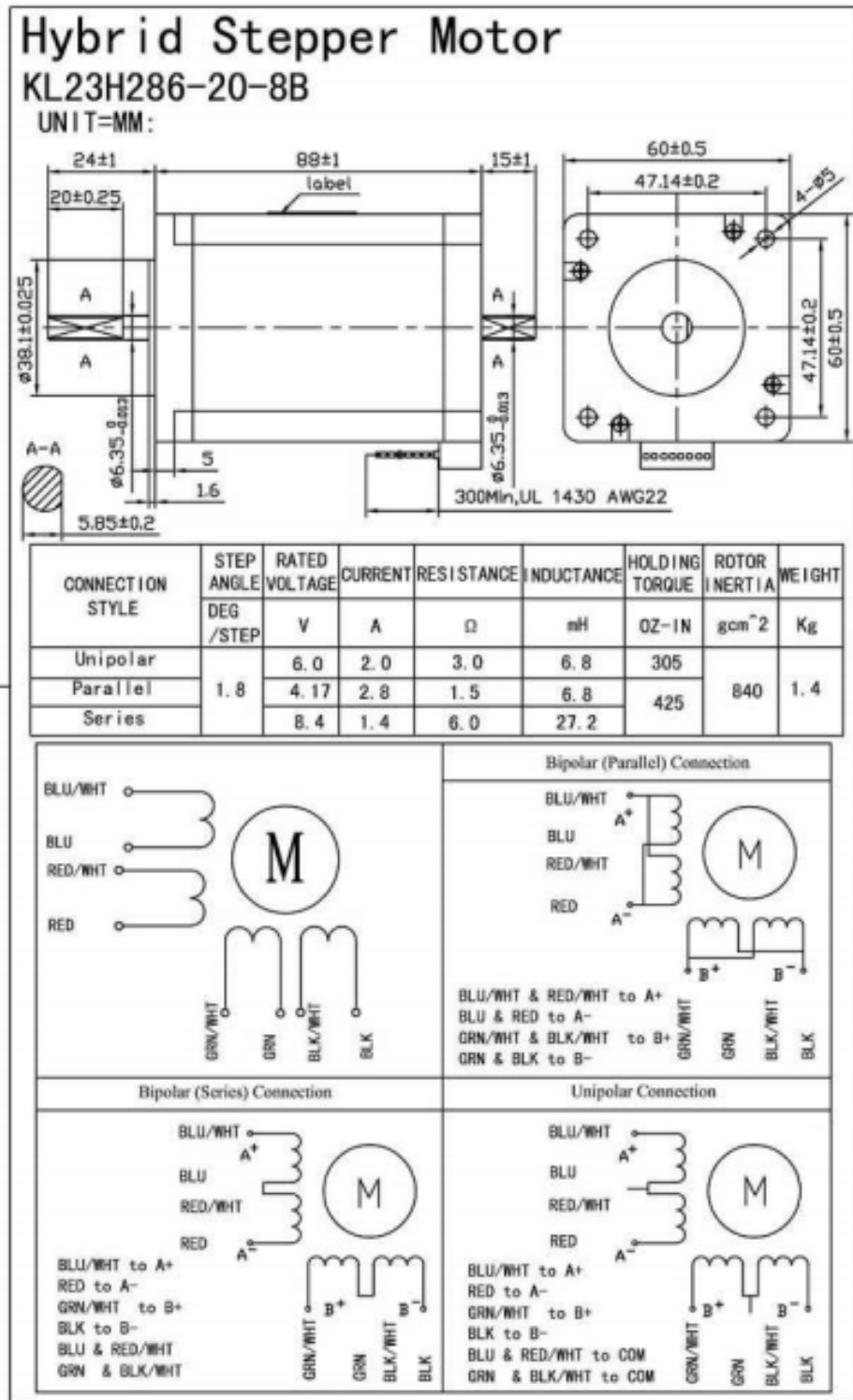
Los componentes electrónicos enlazados con un programa (Mach 3) adecuado, permiten tener una interacción más adaptable para que el operario pueda poner en marcha la máquina bajo una seguridad apropiada y una utilización del equipo correcta.

La visualización de los cortes a realizar en el programa utilizado hace efectivo un proceso de corte más óptimo, evita fallas e imprevistos y hace que los tiempos de operación se reduzcas de forma considerable.

BIBLIOGRAFIA

- [1, 7] Enciclopedia libre, Wikipedia.
 <http://es.wikipedia.org/wiki/Corte_por_plasma> [consulta: 20 de agosto de 2013];
 <http://es.wikipedia.org/wiki/Torno_control_num%C3%A9rico> [Consulta: 22 de agosto de 2013]
- [2] Axis International, Inc.
 <http://www.axisplasma.com/what_is_plasma_cutting.html> [Consulta: 20 de agosto de 2013]
- [3] Miller.
 <https://www.millerwelds.com/pdf/spec_sheets/PC9-6.pdf> [Consulta: 20 de agosto de 2013]
- [4, 5] Centro de recursos educativos interactivo, Monografias.
 <<http://www.monografias.com/trabajos99/robotica-industrial/robotica-industrial.shtml>> [consulta: 22 de agosto de 2013];
 <<http://www.monografias.com/trabajos14/manufaccomput/manufaccomput.shtml>> [consulta: 22 de agosto de 2013];
 <<http://www.monografias.com/trabajos60/servo-motores/servo-motores2.shtml>> [Consulta: 25 de agosto de 2013]
- [6] Schneider Electric. Guía aplicativa. Robot Cartesiano XY. <http://www.equiposdidacticos.com/img/desarrollos/MESAXY_WEB.pdf>
- [8] National Instruments. <<http://www.ni.com/datasheet/pdf/en/ds-311>>
- [10] Arduino. <<http://arduino.cc/>>
- [12] CNCDrive Motions Control.
 <http://cncdrive.com/downloads/CompactTHC_manual.pdf> [Consulta: 25 de agosto de 2013]
- [13] Cruz, O.; Herrera, R.; Guerra, E.; Meza, N. Diseño y construcción de una fresadora con control numérico por computadora para uso didáctico. Tesis. El Salvador. Universidad de El Salvador.
- [14] Millán Gómez, Simón (2006). *Procedimientos de Mecanizado*. Madrid: Editorial Paraninfo.
- [15] Cruz Teruel, Francisco (2005). *Control numérico y programación*. Editorial Marcombo.
- [16] SKF. Sección de rodamientos rígidos de una hilera de bolas. Catálogo de productos en línea. Productos, Rodamientos unidades y soportes. Tabla de productos. www.skf.com


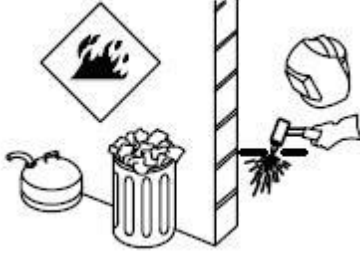
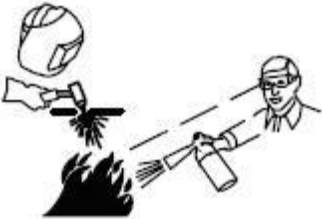

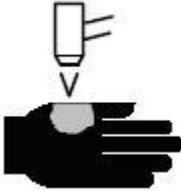
Anexo 1: Especificaciones técnicas del motor paso a paso NEMA 23

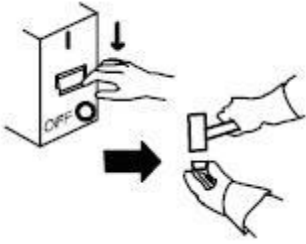
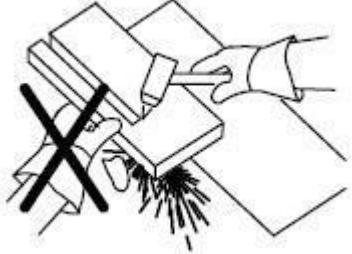




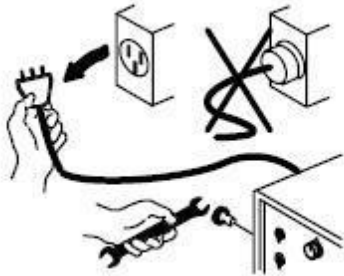



Anexo 2: Manual del Operador del Sistema de Corte por Plasma






- 1) Montar el material a mecanizar en el sistema.
- 2) Revisar las conexiones de la máquina de corte por plasma, de alimentación, conexión de aire comprimido.
- 3) Revisar las conexiones del puerto paralelo hacia la caja de control.
- 4) Encender la PC.
- 5) Encender el interruptor principal del módulo de control.
- 6) Encender la tarjeta principal y la THC.
- 7) Realizar el diseño gráfico en AutoCad de la pieza a cortar.
- 8) Guardar el archivo en extensión .dxf.
- 9) Abrir el programa convertidor a códigos LazyCam.
- 10) Abrir el programa de control Mach3.
- 11) Pulsar el botón reset en el programa.
- 12) Importar el archivo
- 13) Revisar, el archivo diseñado por el operador debe observarse en la pantalla principal del Mach2.
- 14) Encender la máquina de corte por plasma, el compresor y verificar que la presión del compresor este en su máxima potencia.
- 15) Una vez concluido con los pasos anteriores pulsar el botón RUN para comenzar a mecanizar la placa con el diseño realizado.
- 16) Estar pendiente del mecanizado, si se produce alguna anomalía pulsar el botón Reset/Stop o el pulsador de emergencia.
- 17) Maniobrar con guantes de cuero la piezas cortadas

NORMAS DE SEGURIDAD

<p>El cortar puede causar fuego o explosión.</p>	
<p>No corte cerca de materiales inflamables. Mueva los materiales inflamables por lo menos a una distancia de 35 pies (11 metros) o protéjalos con cubiertas contra llamas.</p>	
<p>Las chispas provenientes del corte pueden causar fuego. Tenga un extintor de fuego cercano y tenga una persona vigilando que esté lista a usarlo.</p>	
<p>No corte tambores, tanques, o cualquier recipiente cerrado a no ser que una persona capacitada les ha examinado y los ha declarado, o esté preparado a declararlos, seguros.</p>	
<p>El arco de plasma puede causar lesiones y quemaduras.</p>	


<p>Apague la fuente de alimentación antes de desarmar la antorcha.</p>	
<p>No agarre material que esté cerca del área de cortadura. No toque las partes calientes con las manos sin protección.</p>	
<p>Una descarga eléctrica de la antorcha o del cableado, le Puede matar</p>	
<p>Use guantes aislantes secos. No use guantes mojados o deteriorados. No toque la antorcha con la mano desnuda.</p>	
<p>Desconecte el enchufe de entrada o la potencia de entrada antes de trabajar en la máquina. No haga conexiones de entrada si usted no puede distinguir los colores, o es daltoniano. Inspeccione con frecuencia el cordón de entrada para determinar que no haya alambres averiados o desnudos; repare o reemplace el cordón</p>	

<p>inmediatamente si tiene averías. Asegúrese que el alambre de tierra de entrada esté conectado apropiadamente a un terminal de tierra en la caja de desconexión o disyuntor</p>	
<p>Instale el equipo y conecte a la tierra de acuerdo al manual del operador y los códigos nacionales estatales y locales.</p>	
<p>El humo y gases del corte pueden ser peligrosos a su salud si los respira.</p>	
<p>Mantenga su cabeza fuera del humo. No respire el humo. Use suficiente ventilación, ventile el arco, o ambos, para mantener el humo y los gases fuera de su zona de respiración y el área en general.</p>	
<p>Use ventilación forzada o ventile el área por succión forzada en el arco para quitar los gases y el humo de su área de respiración</p>	

<p>Use un ventilador para quitar los gases y humo de su zona de respiración y área de soldar. Si no está convencido de cuan buena es la ventilación o escape de los gases, haga que se mida la exposición y se las compare a los valores límites de umbral (TLV en inglés).</p>	
<p>Los rayos del arco pueden quemar sus ojos y piel.</p>	
<p>Use una gorra de soldador y anteojos de seguridad con guardas laterales. Use protección para los oídos cuando esté soldando fuera de posición o en espacios limitados. Abotónese el cuello de la camisa.</p>	
<p>Use protección de cuerpo completo. Use ropa protectora que no tenga aceite tal como guantes de cuero (piel), una camisa pesada, pantalones sin bastas y botas altas.</p>	
<p>Campos magnéticos puede afectar a marcadores de paso. Personas que usan marcadores de paso manténgase lejos de las operaciones</p>	

de soldadura de arco y cortadura y del equipo.	
Las personas que usan Marcadores de Paso deben consultar su médico antes de acercarse a procesos de soldadura de arco, de punto, cortar por arco o de ranuración.	

PARTES CALIENTES PUE DAN CAUSAR QUEMADURAS SEVERAS

<h3>PARTES CALIENTES PUE DAN CAUSAR QUEMADURAS SEVERAS</h3>	
<p>No toque partes y piezas que hayan sido soldadas o cortadas con la mano sin guante. Si tiene que manejarlas, use las herramientas apropiadas y use guantes aislados de soldadura para prevenir quemaduras.</p> <p>Permita un período de enfriamiento antes de manejar las piezas o trabajar en una antorcha o pistola de soldar.</p>	

MANTENIMIENTO

EQUIPO: SISTEMA AUTOMÁTICO DE CORTE POR PLASMA CNC DEPARTAMENTO: ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA ÁREA:					
					FECHA DE REVISIÓN DIA MES AÑO XX – XX – XXXX
CÓDIGO ACCIÓN O = Limpiar I = Inspeccionar M = Medir L = Lubricar P = Probar A = Ajuste	RESULTADOS S = Satisfactorio R = Reparar C = Cambiar V = Visto	CÓDIGO FRECUENCIA D = Diario S = Semanal M = Mensual T = Trimestral E = Semestral A = Anual			
PUNTOS DE INSPECCION	Acción	Frecuencia	Resultado	Vto. Bno	Observaciones
Máquina en general					
Carros (Coordenada X, Y Z)	I/O/L	D	S		
- Brida de sujeción de la antorcha	I/O/A	D	S		
- Guías y bocines	I/O/L	D	S		
- Tornillo y tuerca	I/O/L	D	S		
- Acoplamiento del motor a pasos	I/O/A	S	S		
- Motor a pasos	I/O	D	S		
- Finales de carrera y Home switch	I/O/M/A	S	S		
- Sistemas de control	I	E	S		
-Baleros	I/O/M/A	M	S		
Equipo de corte por plasma PAC					
FRL y acople del aire comprimido	I/P/A	S	S		
Sistema eléctrico	I	D	S		
Accesorios consumibles	I/L/A	D	S		
Cables	I	S	S		
Trabajos adicionales					
Lubricación total de la máquina después de una jornada de trabajo					
Revisión y calibración mensual de las estructuras horizontales (Coordenadas X,Y)					
Revisión y ajuste mensual del puente auxiliar de soporte					
Cambio anual de cojinetes en las ruedas de deslizamiento					
Inspector:	FECHA DE RESIVIDO:		ENCARGADO: Ing.		



OM-2239/spa 207 542N

2007-04

Procesos



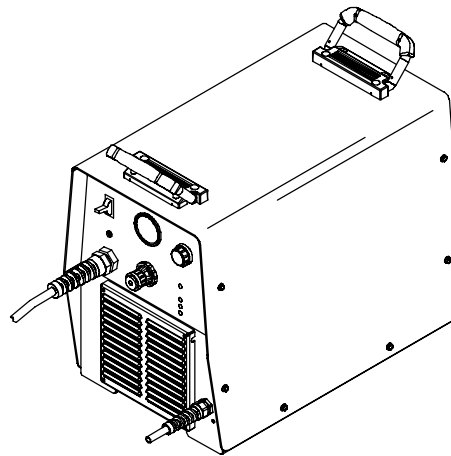
Cortadura y ranuración de aire plasma

Descripción



Cortadora por Plasma Aire

Spectrum[®] 625 y Antorcha ICE-40C



www.MillerWelds.com

MANUAL DEL OPERADOR

▲ **Advertencia:** Protéjase usted mismo y a otros contra lesiones — lea y siga estas precauciones.

1-1. Uso de símbolos



Significa ¡Precaución! ¡Cuidado! ¡Hay peligros posibles con este procedimiento! Los peligros posibles se muestra en los símbolos anexos.



Este grupo de símbolos significa ¡Precaución! ¡Cuidado! peligros posibles de CHOQUE ELECTRICO, PARTES MOVIBLES, y PARTES CALIENTES. Consulte a los símbolos y instrucciones relacionados abajo para las acciones necesarias para evitar los peligros.

▲ **Anota un mensaje especial de seguridad.**

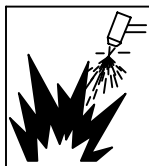
☞ Significa **NOTESE**; no relacionado con seguridad.

1-2. Peligros en soldadura de arco

▲ **Se usa los símbolos mostrados abajo por todo éste manual para llamar la atención a y identificar a peligros posibles. Cuando usted vea a este símbolo, tenga cuidado, y siga a las instrucciones relacionadas para evitar el peligro. La información de seguridad dada abajo es solamente un resumen de la información más completa de seguridad que se encuentra en los estándares de seguridad de sección 1-5. Lea y siga todas los estándares de seguridad.**

▲ **Solamente personas calificadas deben instalar, operar, mantener y reparar ésta máquina.**

▲ **Durante su operación mantenga lejos a todos, especialmente a los niños.**



EL CORTAR puede causar fuego o explosión.

El arco de corte causa que trozos de metal y chispas salten. Estas chispas y metal caliente, la pieza de trabajo caliente y el equipo caliente pueden causar fuegos y quemaduras. Chequee y asegúrese que el área donde esté trabajando esté segura antes de comenzar a cortar.

- Quite todos los materiales inflamables de un radio de 10,7 m. del arco de cortar. Si ésto no se puede, protéjalos con cubiertas apropiadas.
- No corte cuando estas chispas calientes puedan caer en material inflamable.
- Protéjase usted mismo y otros de las chispas y metal caliente que puedan volar.
- Esté conciente de que las chispas y materiales calientes del corte pueden traspasar por rajadas o aberturas pequeñas a áreas adyacentes.
- Mire que no haya fuego, y mantenga un extinguidor de fuego cerca de usted.
- Esté conciente que en el cortar en un cielo raso, piso o pared puede causar un fuego al otro lado.
- No corte recipientes cerrados como tanques o tambores.
- Conecte el cable de trabajo al trabajo tan cerca como pueda al lugar donde vaya a cortar, para evitar que la corriente de cortadura pase por un largo trecho posiblemente incrementando la posibilidad de golpes eléctricos, chispas y peligros de fuego.
- No use un cortadore por plasma para descongelar tubos helados.
- Nunca corte recipientes que tengan material inflamable adentro – tiene que primero vaciarlos y limpiarlos completamente.
- No corte en un ambiente que contenga polvo o vapor explosivo.
- No corte cilindros, tubos o recipientes presurizados.
- No corte recipientes que hayan tenido material combustible.
- Use ropa protectora que no tenga aceite y artículos como guantes de cuero, camisa gruesa, pantalones sin basta, botas y gorra.
- No ponga la unidad donde haya superficies combustibles.
- Quite de usted mismo todo artículo combustible como encendedores de butano o fósforos, antes de comenzar a cortar.
- Siga los reglamentos en OSHA 1910.252 (a) (2) (iv) y NFPA 51B para trabajo caliente y tenga una persona para cuidar fuegos y un extinguidor cerca.



UNA DESCARGA ELECTRICA puede matarlo.

El tocar partes con carga eléctrica viva puede causar un toque fatal o quemaduras severas. La antorcha y el circuito de trabajo están vivos eléctricamente cuandoquiera que la salida esté prendida.

El circuito de entrada y los circuitos internos de la máquina también están vivos eléctricamente cuanto esté la máquina prendida. El cortar con plasma requiere voltajes más altos que se usan con soldadura, para arrancar y mantener el arco (de 200 a 400 voltios cd es común), pero también se usan antorchas diseñadas con sistemas interconectantes de seguridad que apagan la máquina cuando se ha aflojado la boquilla de la antorcha o si la punta de la misma toca el electrodo dentro de la boquilla. Equipo instalado incorrectamente o inapropiadamente constituye un peligro.

- No toque partes eléctricamente vivas.
- Use guantes de aislamiento secos y sin huecos y protección en el cuerpo.
- Aíslese del trabajo y de la tierra usando alfombras o cubiertas lo suficientemente grandes para prevenir cualquier contacto físico con el trabajo o tierra.
- No toque las partes de la antorcha si usted está en contacto con el trabajo o la tierra.
- Apague la potencia de entrada antes de chequear, limpiar o cambiar las partes del antorcha.
- Desconecte la potencia de entrada antes de instalar o dar servicio a este equipo. Apague con candado o usando etiqueta inviolable ("lockout/tagout") la entrada de potencia de acuerdo a OSHA 29 CFR 1910.147 (vea Estánderes de Seguridad).
- Instale el equipo y conecte a la tierra de acuerdo al manual del operador y los códigos nacionales estatales y locales.
- Chequee y asegúrese que la potencia de entrada y el alambre de tierra estén conectados al terminal de tierra en la caja de desconexión y que el enchufe del cordón de entrada esté conectados a tierra apropiadamente y conectado a un receptáculo que también esté conectado a tierra. Siempre verifique que haya tierra en su conexión inicial.
- Cuando haga conexiones de entrada, conecte el conductor de tierra primero.
- Frecuentemente inspeccione el cordón de entrada de potencia por daño o por alambre desnudo. Reemplace el cordón inmediatamente si está dañado – un alambre desnudo puede matarlo.
- Apague todo equipo cuando no esté usándolo.
- Inspeccione y reemplace cualquier cable de la antorcha que estuviera desgastado o dañado.
- No envuelva el cable del antorcha alrededor de su cuerpo.
- Conecte la pieza de trabajo a una buena tierra eléctrica si ésto lo requiere el código.
- Use equipo bien mantenido. Repare o reemplace partes dañadas inmediatamente.
- Use tirantes de seguridad para prevenir que se caiga si está trabajando más arriba del nivel del piso.
- Mantenga todos los paneles y cubiertas en su sitio.
- No pase por un lado o trate de romper cualquier sistema interconectante de seguridad.
- Use solamente antorchas que han sido especificadas en el Manual del Operador.
- Manténgase lejos de la punta del antorcha y arco piloto cuando se presiona el gatillo.
- Ponga la grampa del cable de trabajo con un buen contacto de metal a metal al trabajo o mesa de trabajo lo más cerca de la suelda que sea práctico.
- Guarde o aisle la grampa de tierra cuando no esté conectada a la pieza de trabajo para que no haya contacto con ningún metal o algún objeto que esté aterrizado.
- Aísle la abrazadera de tierra cuando no esté conectada a la pieza de trabajo para evitar que contacto cualquier objeto de metal.

UN VOLTAJE SIGNIFICANTE DE CORRIENTE DIRECTA existe despues de quitar la potencia de entrada en las inversoras.

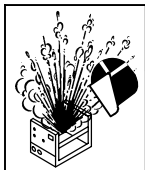
- Apaga la inversora, desconecta la potencia de entrada y descarga los capacitadores de entrada de acuerdo con las instrucciones en la sección de Mantenimiento antes de tocar cualquier parte.



UNA DESCARGA ELÉCTRICA le puede matar.

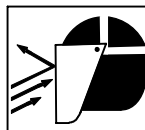
UN VOLTAJE CD SIGNIFICANTE existe en las fuentes inversoras de poder DESPUÉS DE que se las haya separado de la potencia de entrada.

- Apague la unidad, desconéctela de la potencia de entrada, verifique el voltaje en los condensadores de entrada, y asegúrese que estén cerca de cero (0) voltios antes de tocar cualquier parte. Chequee los condensadores de acuerdo a las instrucciones en la Sección de Mantenimiento del manual del operador o el manual técnico antes de tocar cualquier pieza interna.



PIEZAS QUE ESTALLEN pueden lesionarle

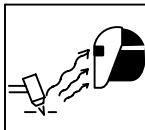
En las fuentes inversoras de poder, las piezas que han fallado pueden estallar, o causar que otras piezas estallen cuando se las conecta a la potencia eléctrica. Siempre use una máscara o protección para la cara, y mangas largas cuando esté dando servicio a máquinas inversoras.



CHISPAS QUE VUELAN pueden causar lesiones.

El arco de cortadura dispara chispas y metal caliente. El picar o esmerilar puede causar que el metal vuele.

- Use resguardo para la cara y anteojos de seguridad con resguardos laterales.
- Use la protección del cuerpo necesaria para proteger su piel.
- Use tapones para los oídos y orejas que sean resistentes a las llamas para evitar que chispas entren en sus oídos.



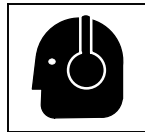
LOS RAYOS DEL ARCO pueden quemar sus ojos y piel.

Los rayos del arco del proceso de cortadura producen rayos intensos visibles e invisibles (ultravioleta y ultrarojos) que pueden quemar los ojos y la piel.

- Use protección para la cara (yelmo o careta) con lentes filtros aprobada del color correcto para proteger sus ojos y su cara cuando esté cortando o mirando. El código ANSI Z49.1 (véase Estandares de Seguridad), recomiendan filtro No. 9 (con el No. 8 como mínimo) para las corrientes de cortadura de menos de 300 amperios. El código Z49.1 añade que pueden usarse filtros más livianos cuando el arco está escondido detrás de la pieza de trabajo. Como ésto es normalmente el caso cuando se corta con corriente baja, los números de filtro sugeridos en la tabla 1 se dan para la conveniencia del operador.
- Use anteojos de seguridad con protección lateral debajo de su careta o yelmo.
- Use pantallas de protección o barreras para proteger a otros del destello del arco y reflejos de luz y chispas; siempre alerte a otros que no miren el arco.
- Use ropa protectora hecha de un material durable y resistente a la llama (cuero, algodón grueso, o lana) y protección a los pies.

Tabla 1. Protección para los Ojos para el Arco de Plasma

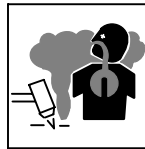
Nivel de la Corriente en Amperios	Número de Filtro Mínimo
Menos de 20	#4
20 – 40	#5
40 – 60	#6
60 – 80	#8



EL RUIDO puede dañar su oído.

El ruido prolongado de algunas aplicaciones en cortadura puede dañar el oído si los niveles exceden los límites especificados por OSHA (véase los Estándares de Seguridad).

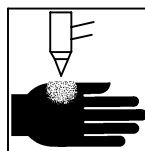
- Use protección para el oído o ensordecedores, si el nivel de ruido es muy alto.
- Advierta a otras personas acerca de el peligro del ruido.



HUMO y GASES pueden ser peligrosos

El cortar produce humos y gases. Respirando estos humos y gases pueden ser peligrosos a su salud.

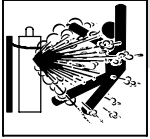
- Mantenga su cabeza fuera del humo. No respire el humo.
- Si estuviera adentro, ventile el área y/o use un ventilador de extracción cerca del arco para quitar los gases y humos del corte.
- Si la ventilación es mala, use un respirador de aire aprobado.
- Lea las Hojas de Datos de Seguridad de Materiales (MSDSs) y las instrucciones del fabricante acerca de los metales que pueden ser cortados, los recubrimientos, y los químicos de limpieza.
- Trabaje en un lugar estrecho y cerrado solamente si estuviese bien ventilado, o mientras esté usando un respirador de aire. Los humos y vapores pueden desplazar el oxígeno y alterar la calidad del aire lo cual puede causar lesiones o muerte. Asegúrese que el aire de respirar esté seguro.
- No corte en lugares cerca a operaciones de quitar grasa, limpieza, o de rocío. El calor y rayos del arco pueden reaccionar con estos humos y causar gases altamente tóxicos e irritantes.
- No corte en materiales con recubrimiento como acero galvanizado, plomo o acero plateado con cádmio a no ser que se haya quitado el recubrimiento del área de cortar, el área esté bien ventilada y mientras esté usando un respirador para aire. Los recubrimientos de cualquier metal que contiene estos elementos pueden emitir humos tóxicos cuando se los corta.
- No corte recipientes que tengan materiales tóxicos o reactivos adentro, o recipientes que hayan tenido materiales tóxicos o reactivos. Hay que vaciarlos y limpiarlos apropiadamente primero.



El Arco de Plasma puede causar lesiones.

El calor del arco de plasma puede causar quemaduras graves. La fuerza del arco añade enormemente al riesgo de la quemadura. El arco, intensamente caliente y poderoso, puede rápidamente cortar a través de los guantes y tejido corporal.

- Mantenga sus manos lejos de la punta del antorcha.
- No agarre ningún objeto cerca del camino de cortar.
- El arco piloto puede causar quemaduras – manténgase lejos de la punta del antorcha cuando haya presionado el gatillo.
- Use ropa que resiste o retarda las llamas cubriendo cualquier parte expuesta del cuerpo.
- Apunte la antorcha lejos de su cuerpo y hacia la pieza del trabajo cuando presione el gatillo – el arco piloto se prende inmediatamente.
- Apague la fuente de poder y desconecte la potencia de entrada antes de desarmar o cambiar la antorcha o sus partes.
- Use solamente antorchas especificadas en el Manual del Operador.



LOS CILINDROS pueden estallar si están dañados.

Los cilindros de gas contienen gas bajo alta presión. Si estuvieran dañados, un cilindro puede estallar. Como los cilindros de gas son una parte del proceso para trabajar con metales, trátelos con cuidado.

- Proteja cilindros de gas comprimido del calor excesivo, golpes mecánicos, daño físico, escoria, llamas, llamas, chispas y arcos.
- Instale y asegure los cilindros en una posición vertical encadenándolos a algún sostén estacionario o un sostén-cilindros para evitar que se caigan o se volteen.
- Tenga los cilindros lejos del área donde esté cortando o donde haya circuitos eléctricos.
- Nunca permita que haya contacto eléctrico entre la antorcha de plasma y el cilindro.

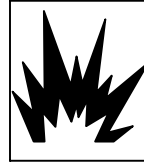
- Nunca permita que un electrodo de soldadura toque ningún cilindro.
- Nunca corte en un cilindro presionado – puede estallar.
- Use los cilindros de gas, reguladores, mangueras y acoples correctos, diseñados para una aplicación específica; mantenga estos cilindros y sus partes en buena condición.
- Siempre mantenga su cara lejos de la salida de una válvula cuando esté operando la válvula de cilindro.
- Mantenga la tapa protectora en su lugar sobre la válvula excepto cuando el cilindro está en uso o conectado para ser usado.
- Use el equipo correcto, procedimientos correctos, y suficiente número de personas para levantar y mover los cilindros.
- Lea y siga las instrucciones de los cilindros de gas comprimido, equipo asociado y la publicación de la Asociación de Gas Comprimido (CGA) P-1 que están enlistados en los Estándares de Seguridad.

1-3. Símbolos adicionales para instalación, operación y mantenimiento



PARTES CALIENTES pueden causar quemaduras severas.

- No toque a partes calientes sin guantes.
- Permita que haya un período de enfriamiento antes de trabajar en la antorcha.
- Para manejar partes calientes, use herramientas apropiadas y/o póngase guantes pesados, con aislamiento para solar y ropa para prevenir quemaduras.



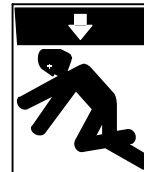
Peligro de HIDROGENO QUE ESTALLA.

- Cuando se corte aluminio debajo del agua o con el agua tocando en la parte de abajo del aluminio, el gas hidrógeno puede acumularse debajo de la pieza de trabajo.
- Vea a su ingeniero de cortadura y las instrucciones sobre la mesa de agua para mayor ayuda.



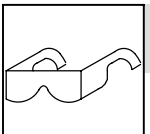
PARTES QUE SE MUEVEN pueden causarle heridas.

- Manténgase lejos de todas partes que se mueve como ventiladores.
- Mantenga todas las puertas, paneles, cubiertas y guardas cerradas y en su lugar.
- Consiga que sólo personas cualificadas quiten puertas, paneles, tapas, o resguardos para dar mantenimiento como fuera necesario.
- Reinstale puertas, tapas, o resguardos cuando se acabe de dar mantenimiento y antes de reconectar la potencia de entrada.



EQUIPO CAYENDO puede causar heridas.

- Use solamente al ojo de levantar para levantar la unidad, NO al tren de rodaje, cilindros de gas, ni otros accesorios.
- Use equipo de capacidad adecuada para levantar la unidad.
- Si use un carro montecargas para mover la unidad, asegure que los dedos son bastante largas para extender más allá al lado opuesto de la unidad.



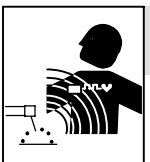
PEDAZOS DE METAL puede dañar a los ojos.

- Use lentes de seguridad con protección lateral o protección total de la cara.



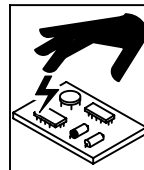
Peligro de FUEGO O EXPLOSION

- No ponga la unidad encima de, sobre o cerca de superficies combustibles.
- No instale la unidad cerca a objetos flamables.
- No sobrecarga a los alambres de su edificio – asegure que su sistema de abastecimiento de potencia es adecuado en tamaño capacidad y protegido para cumplir con las necesidades de esta unidad.



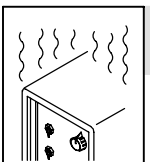
CAMPOS MAGNETICOS puede afectar a marcadores de paso.

- Las personas que usan Marcadores de Paso deben mantenerse lejos.
- Las personas que usan marcadores de paso deben de consultar a su doctor antes de acercarse a operaciones de cortadura de plasma.



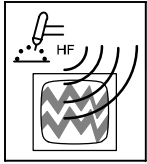
ELECTRICIDAD ESTATICA puede dañar a las tarjetas impresas de circuito.

- Ponga los tirantes aterrizados de muñeca ANTES de tocar los tableros o partes.
- Use bolsas y cajas adecuadas anti-estáticas para almacenar, mover o enviar tarjetas impresas de circuito.



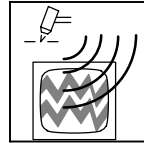
SOBREUSO puede causar SOBRECALENTAMIENTO DEL EQUIPO

- Permite un periodo de enfriamiento; siga el ciclo de trabajo nominal.
- Reduzca el amperaje (el grosor) o reduzca el ciclo de trabajo antes de comenzar a cortar otra vez.



RADIACION de ALTA FRECUENCIA puede causar interferencia.

- Radiación de alta frecuencia puede interferir con navegación de radio, servicios de seguridad, computadores, y equipos de comunicación.
- Asegure que solamente personas calificadas, familiarizadas con equipos electrónicos instala el equipo.
- El usuario es responsable por tener un electricista calificada corregir cualquiera interferencia causada resultando de la instalación.
- Si la FCC (Comisión Federal de Comunicación) le notifique que hay interferencia, deje de usar el equipo al inmediato.
- Asegure que la instalación recibe chequeo y mantenimiento regular.
- Mantenga las puertas y paneles de una fuente de alta frecuencia cerradas completamente, mantenga la distancia de la chispa en los platinos en su fijación correcta y use el aterrizaje o el blindar contra corriente para minimizar la posibilidad de interferencia.



CORTADURA por medio de ARCO puede causar interferencia.

- La energía electromagnética puede interferir con equipo electrónico sensible como computadoras, o equipos impulsados por computadoras, como robots.
- Para reducir posible interferencia, mantenga los cables de soldadura lo más cortos posible, lo más juntos posible o en el suelo, si fuera posible.
- Ubique la operación de cortar por lo menos a 100 metros de distancia de cualquier equipo electrónico sensible.
- Asegúrese que esta fuente de poder de cortadura se ha instalado y aterrizado de acuerdo a este manual.
- Si todavía ocurre interferencia, el operador tiene que tomar medidas extras como el de mover la máquina de soldar, usar cables blindados, usar filtros de línea o blindar de una manera u otra la área de trabajo.

1-4. CALIFORNIA Proposición 65 Advertencia

- ▲ Este producto cuando se usa para soldar o cortar, produce humo o gases que contienen químicos conocidos en el estado de California por causar defectos al feto y en algunos casos, cáncer. (Sección de Seguridad del Código de Salud en California No. 25249.5 y lo que sigue)
- ▲ Los postes de la batería, los terminales y los accesorios relacionados contienen plomo y compuestos de plomo que son químicos, conocidos por el estado de California, como capaces de causar cáncer, defectos de nacimiento y otros daños al sistema reproductor. Lávese las manos después de manipularlos.

Para un motor de gasóleo:

- ▲ Los gases del escape de un motor de gasóleo contienen químicos, conocidos por el estado de California, como capaces de causar cáncer, defectos de nacimiento y otros daños al sistema reproductor.

Para un motor de diesel:

- ▲ El humo que despiden un motor de gasoil y alguno de sus constituyentes se reconocen en el estado de California que pueden causar cáncer, defectos al feto, y otros daños al sistema reproductor.

1-5. Estándares principales de seguridad

Seguridad en Soldar, Cortar y Procesos Asociados, estándar ANSI Z49-1, de los Documentos de Ingeniería Global (teléfono 1-877-413-5184, red mundial: www.global.ihs.com).

Prácticas Recomendadas para Cortar por Plasma, American Welding Society Standard AWS C5.2, de los Documentos de Ingeniería Global (teléfono: 1-877-413-5184, red mundial: www.global.ihs.com).

Prácticas seguras recomendadas para la preparación de soldar y cortar en recipientes que contengan sustancias peligrosas, American Welding Society Standard AWS F4.1, de los Documentos de Ingeniería Global (teléfono: 1-877-413-5184, red mundial: www.global.ihs.com).

Código Nacional Eléctrico, NFPA estándar 70, de la Asociación Nacional de Protección de Fuego, Batterymarch Park, Quincy, Ma 02269.

El manejo seguro de gases comprimidos en cilindros, pamfleto CGA P-1, de la Compressed Gas Association, 1235 Jefferson Davis Highway, Suite 501, Arlington, VA 22202.

Código para seguridad en cortar y soldar, estándar CSA W117.2, de la

Canadian Standards Association, ventas estándares, 178 Rexdale Boulevard, Rexdale, Ontario, Canada M9W 1R3.

Práctica segura para la protección de ojos y cara en ocupación y educación, estándar ANSI Z87.1 del Instituto Americano Nacional de Estándar, 1430 Broadway, New York, NY 10018.

Procesos de cortar y soldar, estándar NFPA 51B de la Asociación de Protección del Fuego, Batterymarch Park, Quincy, MA 02269.

El Estándar para Prevención de Fuegos durante la soldadura, corte, y otros trabajos calientes, estándar NFPA 51B de la Asociación de Protección del Fuego, P.O. Box 9101, 1 Battery March Park, Quincy, MA 02269-9101 (teléfono: 617-770-3000, red mundial: www.nfpa.org).

Estándares de seguridad y salud, Estándares para la industria en General de OSHA 29 CFR 1910, Subpart Q, y Part 1926, Subpart J, del U.S. Government Printing Office, Superintendent of Documents, P.O. Box 371954, Pittsburgh, PA 15250 (existe 10 oficinas regionales—Teléfono para región 5, Chicago, is 312-353-2220, website: www.osha.gov).

1-6. Información del EMF

Consideración acerca de Soldadura y los Efectos de Campos Eléctricos y Magnéticos de Baja Frecuencia

La corriente de soldadura o de cortadura cuando fluye por los cables de soldadura o de cortadura causará campos electromagnéticos. Ha habido una preocupación acerca de estos campos. Sin embargo, después de examinar más de 500 estudios sobre el transcurso de 17 años, un comité especial del National Research Council concluyó que:

“La evidencia, en el juicio del comité, no ha demostrado que la exposición a campos de frecuencia de potencia eléctrica y magnéticos es un peligro para la salud humana”. Sin embargo, todavía hay estudios que están haciéndose y la evidencia continua siendo examinada. Hasta que se lleguen a hacer las conclusiones finales de esta investigación, usted debería preferir minimizar su exposición a los campos electromagnéticos cuando esté soldando o cortando.

Para reducir los campos magnéticos en el área de trabajo, úsese los siguientes procedimientos:


















1. Mantenga los cables lo más juntos posible, trenzándolos o pegándolos con cinta pegajosa.
2. Ponga los cables a un lado y apartado del operador.
3. No envuelva o cuelgue cables sobre su cuerpo.
4. Mantenga las fuentes de poder de soldadura y los cables lo más lejos que sea práctico.
5. Conecte la grampa de tierra en la pieza que esté trabajando lo más cerca posible de la suelta.

Acerca de Marcadores de Paso:

Personas que usan marcadores de paso consulten a su doctor antes de soldar/cortar o de acercarse a operaciones de soldadura/cortadura. Si su doctor lo permite, entonces siga los procedimientos de arriba.

SECCIÓN 2 – DEFINICIONES

2-1. Símbolos y definiciones para placa de nombre y número de serie/etiqueta de capacidades

A	Amperios		Corte de arco de plasma (PAC)		Ajuste de presión de aire/gas		Luz indicadora de presión baja de aire
V	Voltios		Incrementar		No, no haga esto		Temperatura
	Conexión a tierra protegida		Monofásica		Corriente constante		Entrada de voltaje
I	Prendido		Apagado	%	Por ciento		Corriente directa
U₀	Voltaje nominal sin carga (término medio)	U₁	Voltaje primario	U₂	Voltaje de carga convencional		Conexión a la línea
I_{1max}	Máxima corriente de entrada nominal	I₂	Corriente de soldadura nominal	X	Ciclo de trabajo		Transformador, rectificador, convertidor monofásico de frecuencia estática
IP	Grado de protección		Boquilla de protección de resguardo flojo		Entrada	Hz	Hertz
I_{1eff}	Máxima corriente efectiva de entrada	pf	Factor de potencia		Apto para algunas ubicaciones peligrosas	S₁	Tasación de potencia, producto de voltaje y corriente (KVA)

SECCIÓN 3 – INSTALACIÓN



3-1. Especificaciones

50/60 Hz	Entrada de amperios a la salida nominal de corriente, 50/60 Hz		Salida nominal		Tipo de salida	Gas de plasma	Flujo/ Presión	Capacidad nominal de corte	Voltaje de circuito abierto máximo (CD)	
	208 V	230 V	KVA	KW						
Monofásica	33	30	6,8	6,7	40 A a 140 Voltios CD, ciclo de trabajo 50%	Corriente directa, polaridad directa (DCEN)	Sólo aire o nitrógeno	6 pies ³ /min. (170 L/min.) a 75 lb./pulg ² (517 kPa)	0,5 pulg. (12,7 mm) a 16 pulg./min.	260

3-2. Especificaciones de la antorcha

Antorcha para corte por plasma refrigerada por aire (PAC)
Ciclo de trabajo 50%
Dispositivo de bloqueo de seguridad para desactivar la fuente de poder
Protección de seguridad para el gatillo
Capacidad de corte: vea Sección 3-1

3-3. Ciclo de trabajo y el sobrecalentamiento





Para unidades conectadas a un circuito de 208 Voltios o a uno de 230 Voltios:
Ciclo de trabajo de 50% a 40 amperios, 140 voltios CD (corte típico)

Ciclo de trabajo es un porcentaje de 10 minutos que la unidad puede cortar a la carga nominal sin recalentarse.


Si la unidad se recalienta, la salida se detiene, el indicador luminoso de temperatura se enciende y el ventilador de enfriamiento funciona. Espere quince minutos para que la unidad se enfríe o para que el indicador de temperatura se apague. Reduzca el amperaje o el ciclo de trabajo antes de cortar o ranurar.

▲ Soldando más allá del ciclo de trabajo puede dañar la unidad o antorcha e invalidar la garantía.



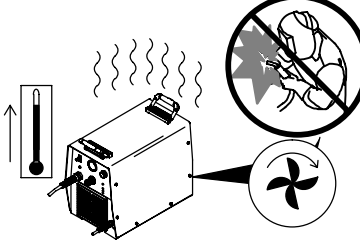
5 minutos cortando


→



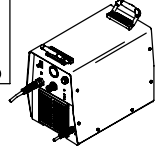
5 minutos enfriando

Sobrecalentando






Minutos

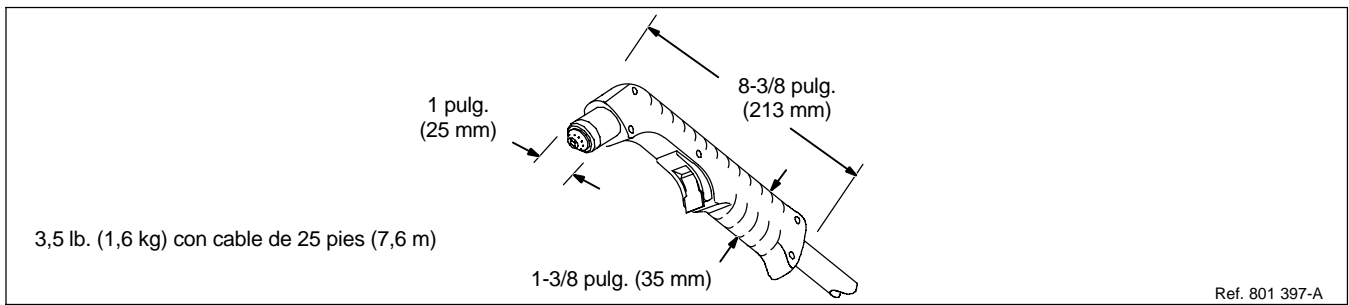


A
O
reduzca el ciclo de trabajo



Ref. 803 219

3-4. Dimensiones y peso de la antorcha



3-5. Dimensiones, peso y movimiento de la unidad

Dimensiones y Peso
57 lb. (25,9 kg)

17-1/4 pulg. (438 mm)

15-1/4 pulg. (387 mm)

10-1/4 pulg. (260 mm)

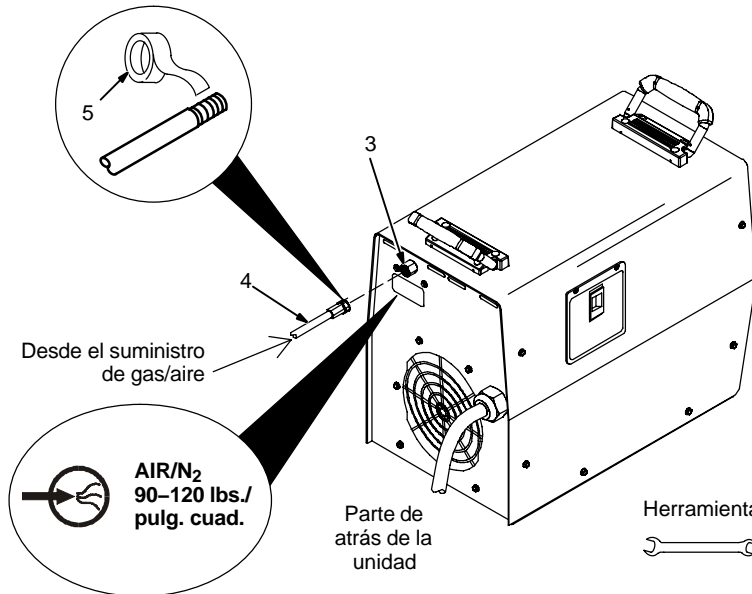
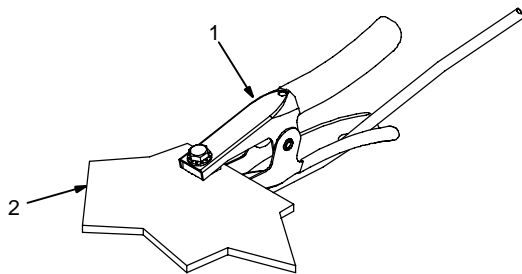
Movimiento

▲ **No mueva o opere la unidad donde podría voltearse.**

- 1 Manijas para levantar
Use las manijas para levantar la unidad.
- 2 Carrito de mano
Use el carro o un dispositivo similar para mover la unidad.

loc_2 3/96 - Ref. 803 219 / 803 220

3-6. Conexión de la pinza de trabajo y el suministro de gas/aire



- 1 Pinza de trabajo
- 2 Pieza de trabajo

Conecte la pinza de trabajo a un lugar limpio, sin pintura en la pieza de trabajo, lo más cerca posible al lugar donde se va a cortar.

Use sólo aire seco y limpio con 90 a 120 lbs./pulg² (621 a 827 kPa) de presión. Impida la formación de humedad en el suministro de aire a temperaturas extremadamente frías.

- 3 Abertura de entrada de gas/aire
- 4 Manguera

La manguera debe tener un diámetro interno mínimo de 3/8 pulg. (9,5 mm).

- 5 Cinta de teflón

Obtenga la manguera con acople 1/4 NPT con rosca de mano derecha. Envuelva las roscas con cinta teflón (opcional) o aplique sellador de tubo, e instale el acople en la abertura. Encamine la manguera al suministro de gas/aire.

O

Instale el acople macho de conexión rápida suministrado en el acople del tubo de 1/4 pulg. NPT.

Conecte el acople hembra de conexión rápida al acople del tubo.

Encamine la manguera al suministro de gas/aire.

▲ El uso de gas para plasma incorrecto puede ocasionar daños en la antorcha y en la fuente de poder. Utilice sólo aire o nitrógeno como gas de plasma.

Herramientas necesarias:
5/8, 1-1/8 pulg.

3-7. Guía de servicio eléctrico

	50/60 Hz monofásico	
Voltaje de entrada	208	230
Amperios de entrada a la salida nominal	33	30
Máximo calibre de fusible recomendado en Amperios		
Disyuntor ¹ , con tiempo de demora ²	40	35
de operación normal ³	50	45
Tamaño mínimo de conductor de entrada en AWG ⁴	10	10
Largo máximo recomendado del conductor de entrada en pies (metros)	80 (24)	98 (30)
Tamaño mínimo de conductor de tierra en AWG ⁴	10	10

Referencia: Código Nacional Eléctrico (NEC) de 2005 (incluye el artículo 630)

1 Escoja un disyuntor con curvas de tiempo/corriente comparables a aquéllos de un fusible con demora de tiempo.

2 Los fusibles de “demora de tiempo” son de la clase “RK5” de UL.

3 Los fusibles de “operación normal” (de propósito general, sin demora intencional) son los de la clase “K5” de UL (hasta aquéllos, e incluyendo 60 amps.) y los de la clase “H” (65 amperios y más).

4 Los datos del conductor en esta sección especifican el tamaño del conductor (excluyendo el cordón o cable flexible) entre el tablero del panel y el equipo según tabla NEC 310.16. Si se usa un cordón o cable flexible, el tamaño mínimo del conductor pudiera incrementar. Vea la tabla NEC 400.5(A) para los requisitos del cordón y cable flexibles.

▲ **Precaución: Si no se siguen estas recomendaciones de fusibles y disyuntores se puede crear peligros de descarga eléctrica e incendio.**

3-8. Datos del cordón de extensión

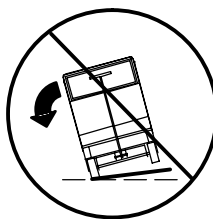
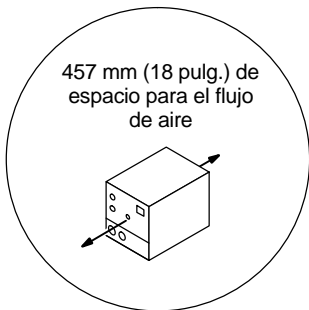
<p>NÓTESE </p>	<p><i>Cuando calcule la longitud máxima del cordón, recuerde de incluir la longitud del conductor entre el disyuntor al receptáculo de potencia de entrada.</i></p>
-----------------------	---

Voltaje de entrada	Fase de la potencia de entrada	Herís	Tamaño de fusible o capacidad nominal del disyuntor	Tamaño del conductor	Longitud máxima del cordón
208 V	1	50/60	Demora de tiempo ² 40 A Operando normalmente ³ 50 A	10 AWG	80 pies (24 m)
230 V	1	50/60	Demora de tiempo ² 35 A Operando normalmente ³ 45 A	10 AWG	98 pies (30 m)

2 Los fusibles de “demora de tiempo” son de la clase “RK5” de UL.

3 Los fusibles de “operación normal” (de propósito general, sin demora intencional) son los de la clase “K5” de UL (hasta aquéllos, e incluyendo 60 amps.) y los de la clase “H” (65 amperios y más arriba).

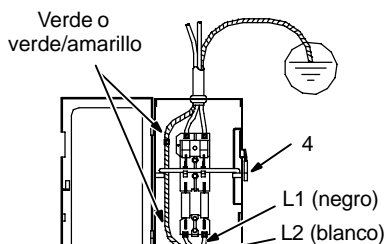
3-9. Selección de una ubicación y conexión de potencia de entrada



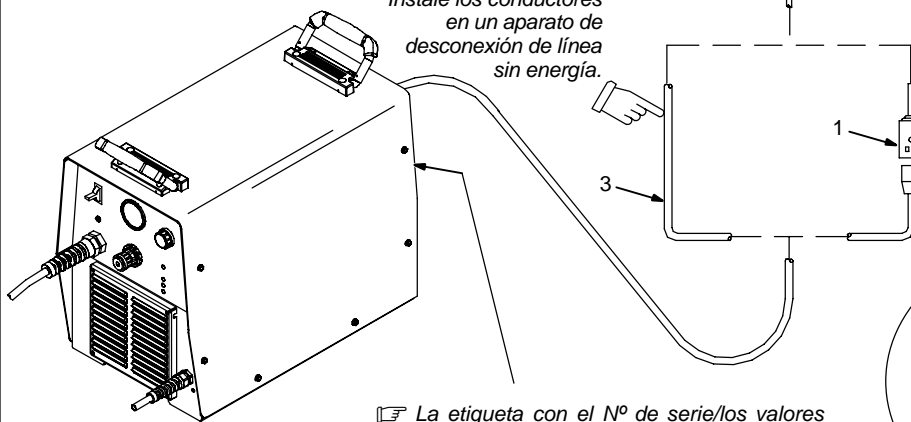
▲ No mueva o opere la unidad donde podría voltearse.

⊕ = GND/PE

▲ Siempre conecte el conductor de tierra primero.



Instale los conductores en un aparato de desconexión de línea sin energía.



La etiqueta con el N° de serie/los valores eléctricos está ubicada en el panel trasero de la cortadora por plasma; utilice esta etiqueta para determinar la alimentación eléctrica de la unidad.

- 1 Enchufe tipo 6-50P de NEMA
- 2 Receptáculo (tipo 6-50R de NEMA)

Conecte el enchufe al receptáculo.

- 3 Conductores de entrada y de tierra

Para operación monofásica:

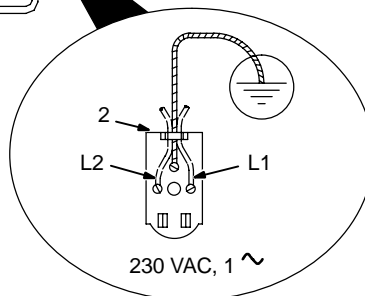
▲ Haga las conexiones de alimentación a la máquina antes de conectarla a un dispositivo de corte desenergizado. En el dispositivo de corte, conecte siempre primero el cable verde o verde/amarillo de puesta a tierra al terminal de puesta a tierra del suministro, nunca a un terminal de la línea.

Si se necesita un cableado permanente, conecte directamente al dispositivo de corte de línea.

- 4 Dispositivo para desconectar de la línea

Véase Sección 3-7.

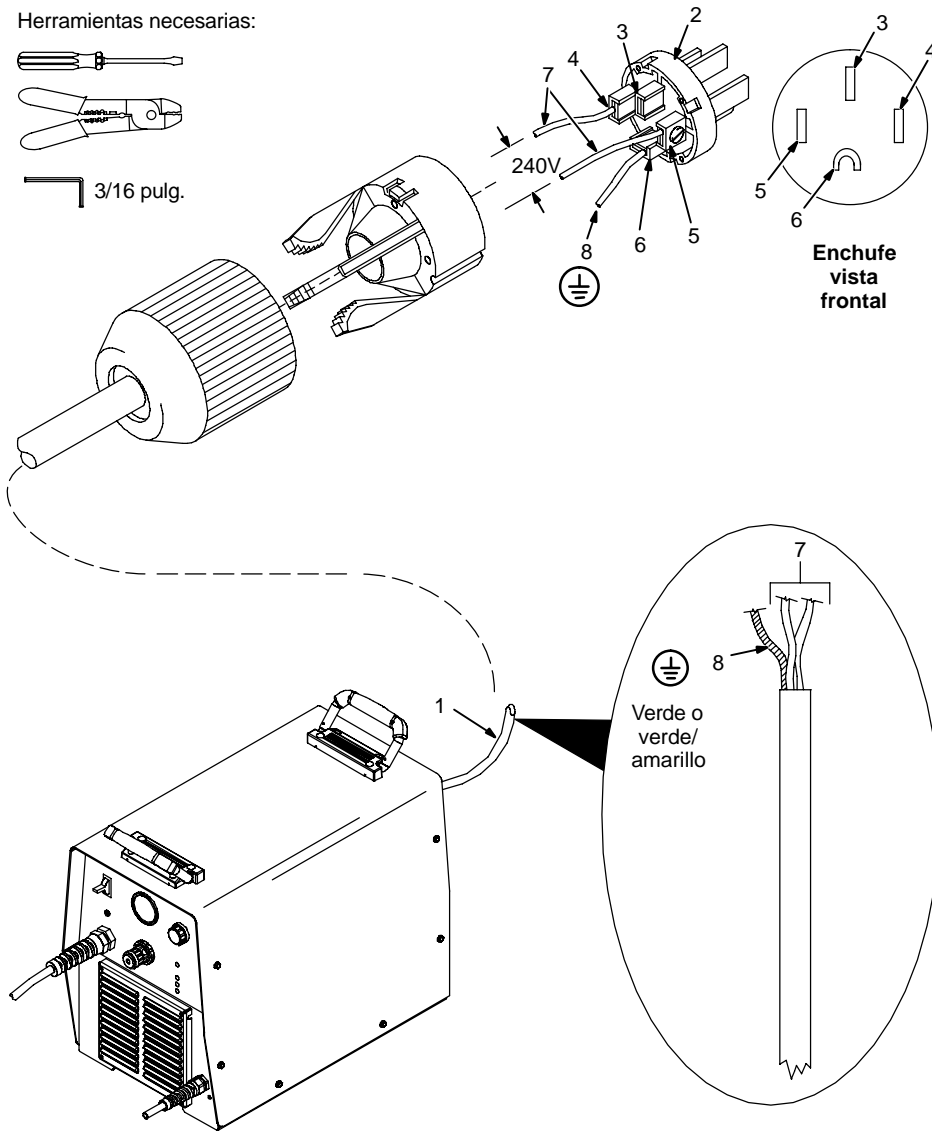
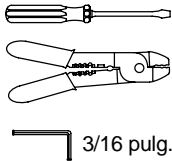
▲ Se puede requerir una instalación especial donde gasolina o líquidos volátiles estén presente – véase NEC Artículo 511 o CEC a Sección 20.



3-10. Cableado opcional con enchufe para 240 Voltios (119 172) para conexión a las Bobcat, Trailblazer o Champion 10,000



Herramientas necesarias:

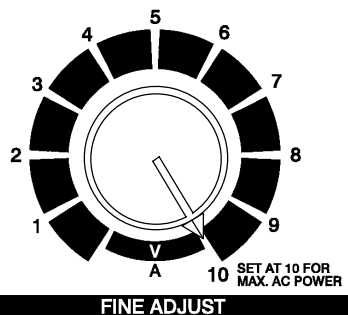
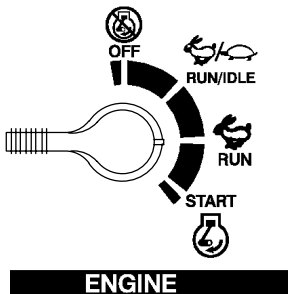


- 1 Conductores de entrada y de tierra
- 2 Enchufe cableado para carga de 240 V, 2 alambres
- 3 Terminal y púa Neutra (latón) **(No se usa)**
- 4 Carga 1 (latón) terminal y púa
- 5 Carga 2 (latón) terminal y púa
- 6 Terminal y púa de tierra (latón)
- 7 Conductores de entrada negros y blancos
- 8 Conductor de tierra verde o verde/amarillo

▲ **Siempre conecte el alambre verde o verde/amarillo a la terminal de tierra, nunca a un terminal de carga. Conecte los alambres negro (L1) y el blanco (L2) a los terminales de carga.**

▲ El interruptor de control del motor debe estar colocado en la posición "RUN"; no en la posición "RUN/IDLE".

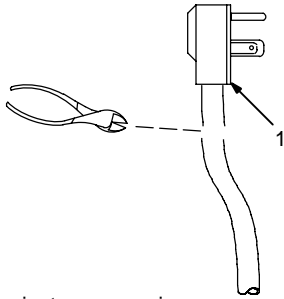
▲ Para obtener la máxima potencia auxiliar, ponga el Control de ajuste fino en 10, si corresponde.



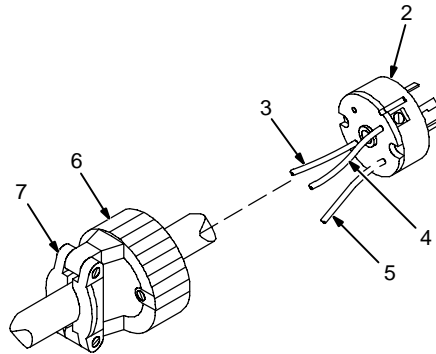
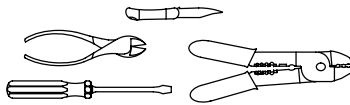
3-11. Instalación de un enchufe alternativo



Este procedimiento es necesario si la unidad será conectada a un receptáculo de 208/230 VCA que requiere un enchufe diferente del suministrado.



Herramientas necesarias:



1 Enchufe de 230 VCA suministrado

Corte el cordón bien cerca del enchufe.

2 Enchufe alternativo (se muestra el enchufe de 230 VCA)

3 Terminal (bronce) de entrada (cable negro)

4 Terminal (bronce) de entrada (cable blanco)

5 Terminal de tierra (verde)

6 Carcasa exterior

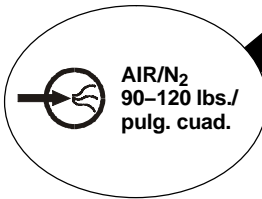
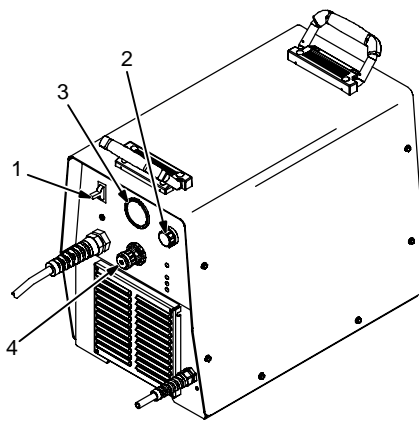
7 Prensacable

Pele lo suficiente la cubierta del conductor para separar los cables.

Pele lo suficiente los cables como para que hagan un buen contacto con los terminales del enchufe. Conecte el enchufe y reinstale la carcasa exterior y el prensacable. Ajuste los tornillos de montaje en la carcasa. No los ajuste de más.

Ref. 801 305-A / 801 611

3-12. Fijando la presión de gas/air



Parte de atrás de la unidad

Ref. 803 219 / 803 221

Fijando la presión de gas/air

Ponga el control de salida en la posición de fijar gas/air

Interruptor de potencia encendido

Ajuste los controles

Requiere un suministro de 90 a 120 lbs./pulg² (621 a 827 kPa)

Prenda el suministro de gas/aire.

Fije la presión en **75 lbs./pulg²** (517 kPa) para corte

O en **55 lbs./pulg²** (379 kPa) para ranurar

Ajuste la presión en la unidad

Seleccione el amperaje deseado para comenzar el corte

1 Interruptor de potencia

Posicione el interruptor de potencia en la posición prendida

2 Control de salida

Ponga el control de salida en la posición Gas/Air.

3 Medidor de presión

4 Perilla de de ajuste de presión gas/aire

Para ajustar la presión a 75 lbs./pulg² (517 kPa) en el medidor de presión tire de la perilla y hágala girar. Empuje la perilla para trabarla en el ajuste elegido.

Seleccione la salida de corte deseada con control de salida

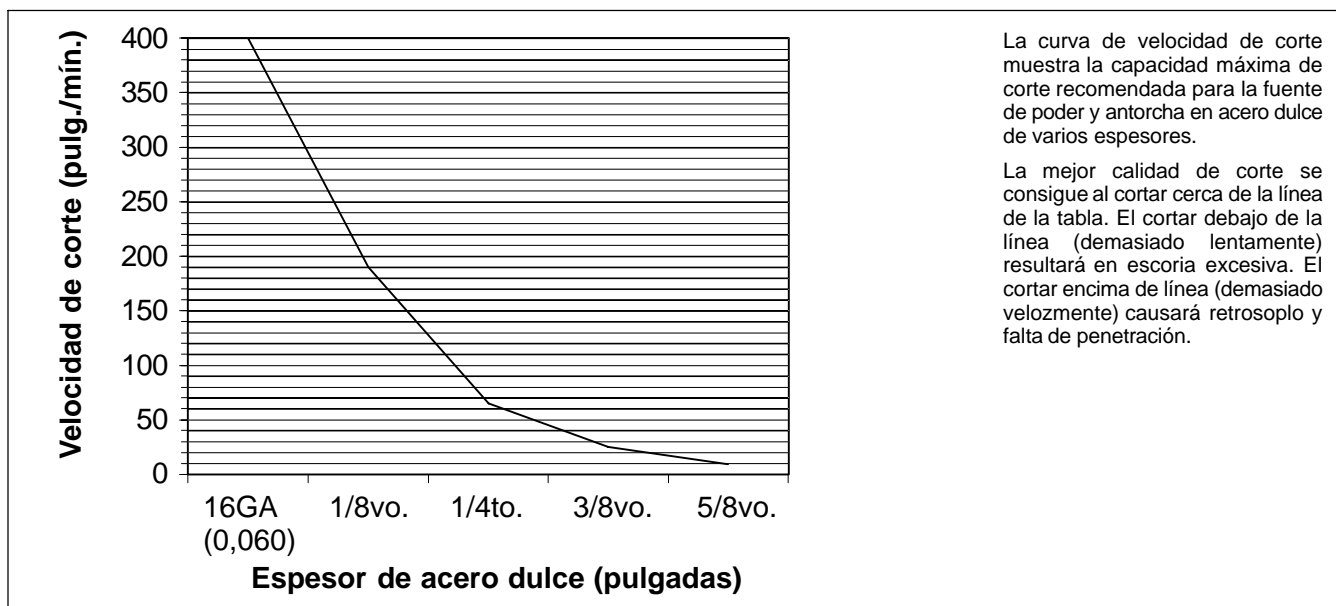
SECCIÓN 4 – OPERACIÓN

4-1. Controles

Ref. 207 299



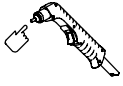
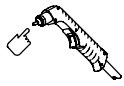


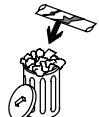

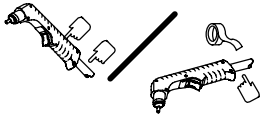

1 Control de salida	4 Interruptor de potencia	<p>☞ A temperaturas ambientales debajo de -5°C (23°F), puede ser necesario el ajustar el regulador de presión gas/aire (vea Sección 3-12). Use sólo aire seco y limpio con 90 a 120 lbs./pulg. cuad. (621 a 827 kPa) de presión. Impida que la humedad entre la fuente de aire a temperaturas extremadamente frías.</p>
Use el control para seleccionar la salida para corte. Ponga el control en la posición Gas/Air para ajustar con seguridad la presión de gas/aire. Sólo se activa el circuito de gas/aire.	☞ El ventilador normalmente funciona por aproximadamente 5 segundos después que el interruptor de potencia esté en la posición "Off" (apagado).	
2 Luces de estado (vea Sección 5-2)	5 Medidor de presión	
3 Luz de potencia	6 Perilla para ajuste de presión	

4-2. Velocidad de corte

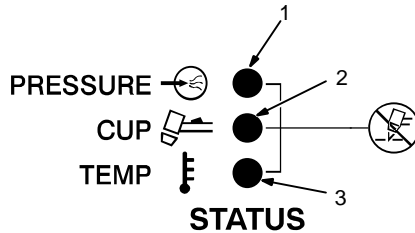
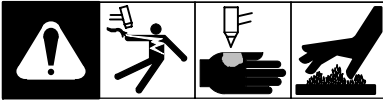


SECCIÓN 5 – MANTENIMIENTO Y BÚSQUEDA DE AVERÍAS

5-1. Mantenimiento rutinario

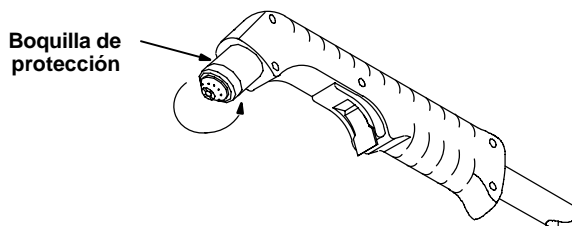
					
<p>▲ Desconecta la potencia antes de dar servicio. ☞ <i>Manténgala más a menudo durante condiciones severas.</i></p>					
<p>⌚ = Chequee ◇ = Cambio ● = Limpie ☆ = Reemplace * Para que lo haga un Agente de Servicio Autorizado de la Fábrica</p>					
					Referencia
Cada uso	 ✓ Presión de Gas/aire	 ✓ Punta del antorcha, electrodo, y boquilla			
Cada semana	 ✓ Sistema de apagado de la boquilla protectora				
Cada 3 meses	 ☆ Las etiquetas dañadas o ilegibles	 ● Regulador y filtro de aire	 ☆ Partes agrietadas	 ✓ ☆ Manguera de gas/aire	
	 ✓ ☆ Cuerpo de la antorcha, cable				
Cada 6 meses	 ● Dentro de la unidad				

5-2. Protección por sobrecarga: luces de estado y verificación del sistema de apagado por boquilla protectora



Verificación del sistema de apagado de la boquilla de protección

Se debe rearmar la potencia primaria cuandoquiera que el sistema de apagar la boquilla se haya activado. **Siempre apague la potencia primaria cuando cambie o chequee los consumibles. NO apriete demasiado la copa de protección de la antorcha. Ajústela sobre la antorcha con suavidad usando los dedos.**



Ante la aparición de ciertos problemas, una luz de estado se enciende y la salida se detiene.

1 Luz de presión

Se enciende si la presión de gas/aire es menor de 40 lbs./pulg² (276 kPa).

Apague la potencia primaria, y verifique que exista buena presión de gas/aire (vea Sección 3-12).

Si la luz de presión parpadea, significa que el sistema de gas/aire está ajustado demasiado bajo, o que ha fallado, o que hay una pérdida o una restricción en el flujo (vea Sección 5-5).

2 Luz de la boquilla

Se enciende si la boquilla de protección está floja o no está instalada.

Encienda la alimentación y afloje la boquilla de protección. Si el sistema de apagado funciona bien, la luz de la boquilla se enciende. Si no enciende, apague inmediatamente la alimentación y haga que un Agente de Servicio Autorizado por la Fábrica revise la unidad.

Si el sistema funciona bien, apriete la boquilla y rearme la potencia primaria.

Apague la potencia y chequee la conexión de la boquilla protegida (vea el manual de la antorcha). Se debe rearmar la potencia primaria cuandoquiera que se active un apagón de la boquilla.

Si la luz de la boquilla parpadea, significa que los consumibles de la antorcha están trabados o gastados y deben ser inspeccionados o reemplazados (vea Sección 5-3).

Chequee el sistema de apagado de la boquilla de protección una vez por semana.

3 Luz de temperatura

Se enciende si la fuente de poder recalienta o cuando la temperatura ambiente está por debajo de -20° C (-4° F) (vea Sección 3-3).

Sistema de ventilación Fan-On-Demand

El ventilador de enfriamiento funcionará durante las siguientes condiciones:

- a La unidad está en la condición de SOBRETENPERATURA. La luz de indicación TEMP se encenderá y el ventilador funcionará hasta que la unidad se enfríe.
- b La unidad se calienta estando inactiva, por un cambio en la temperatura ambiente o después de largos períodos de corte.
- c La unidad está en modo de corte o de postflujo.

5-3. Chequeando/reemplazando la boquilla de retención, punta y electrodo

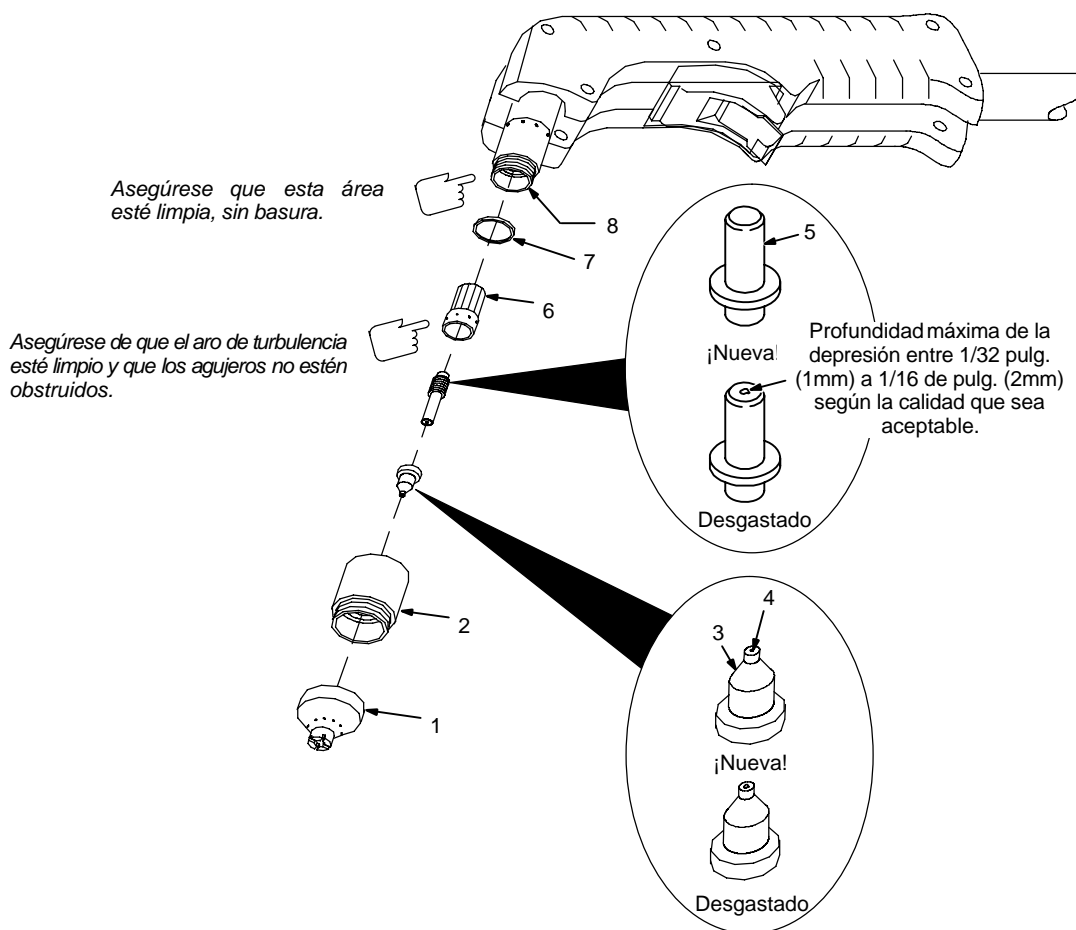


⚠ Apretar demasiado dañará las roscas. No apriete demasiado la copa de retención. No enrosque cruzando la rosca porque se dañará. Arme cuidadosamente la antorcha y las piezas de reemplazo.

⚠ Inspeccione la boquilla de protección, punta y electrodo buscando desgaste antes de cortar y cuando quiera que se haya reducido significativamente la velocidad de corte. No opere la antorcha sin una punta o electrodo en sitio. Siempre use piezas de reemplazo genuinas.

👉 Es una buena costumbre reemplazar ambos, la punta y el electrodo, al mismo tiempo.

⚠ Apague la potencia primaria antes de chequear las partes de la antorcha.



Ref. 803 224

Apague la fuente de poder.

- 1 Protector para arrastrar
- 2 Capuchón de retención

Quite el capuchón de retención. Chequee el capuchón de retención buscando grietas, y reemplácelo si necesario.

- 3 Punta

4 Abertura

Quite la punta. Chequee la punta y reemplácela si está deformada o un 50% más grande. Si el interior de la punta no está limpia y brillante, límpiela con lana de acero. Asegúrese de quitar cualquier pedazo de lana de acero después.

5 Electrodo

Chequee el electrodo. Si el centro tiene una hendidura que exceda 1/32 pulg. (0,8 mm) quite y reemplace el electrodo.

6 Difusor

Quite el difusor. Chequéelo y reemplácelo si los huecos laterales están obstruidos.

7 Junta tórica

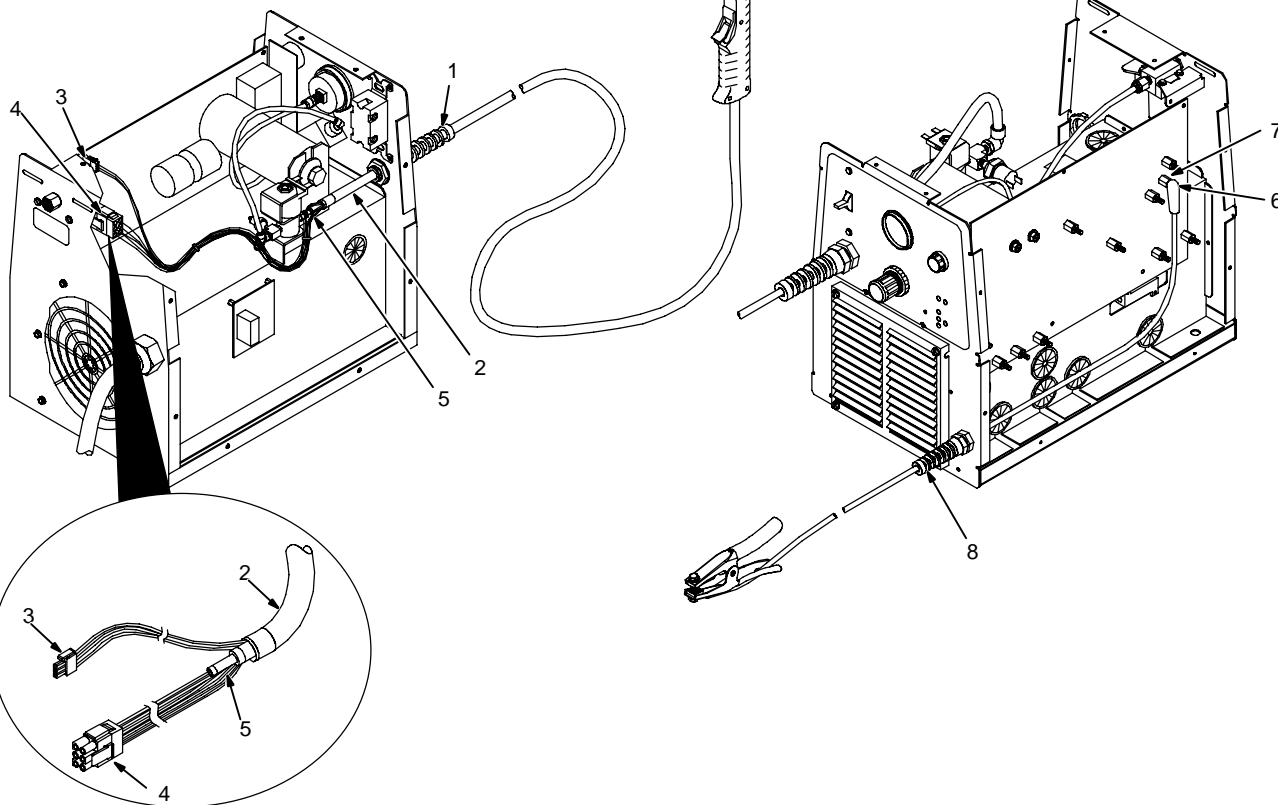
Chequee las juntas tóricas en la antorcha. Si necesario, ponga una capa delgada de lubricante de silicona (no. de pieza 169 231). Reemplácelo si está averiado.

8 Área del émbolo

Chequee este lugar buscando basura o material foráneo. Limpie si necesario.

Vuelva a armar las piezas en orden inversa.

5-4. Reemplazo de la antorcha y el cable



Si la antorcha o el cable de masa necesitan ser desmontados o reemplazados, haga lo siguiente:

Apague la alimentación y desconecte el enchufe de alimentación del receptáculo. Retire la cubierta envolvente de la unidad.

Reemplazo de la antorcha

- 1 Sostén contra tirones
- 2 Cable de la antorcha

Aflove la cola del prensacable de forma que el cable de la antorcha pueda deslizarse libremente.

3 Enchufe PLG1/Receptáculo RC1
Desconecte PLG1 del receptáculo RC1 en la tablilla de control PC1.

4 Enchufe PLG11/Receptáculo RC11
Desconecte PLG11 del receptáculo RC11 en la tablilla de control PC1.

5 Conector de la línea de aire
Empuje el acople naranja hacia dentro y hacia el solenoide de aire y, simultáneamente, tire del conector retirándolo del acople.

Quite la tuerca ubicada en el interior de la unidad de la parte trasera del prensacable. Retire el cable de la antorcha, el conector y los enchufes pasándolos por la tuerca

fuera de la unidad. Guarde la tuerca para usarla en el prensacable de reemplazo.

Inserte el cable de reemplazo con su prensacable a través de la abertura descrita anteriormente. Pase el cable, el conector y los enchufes por la tuerca. Instale la tuerca en el prensacable pero no la ajuste.

Inserte el conector de la línea de aire en el acople del solenoide.

Conecte PLG1 a RC1 en la tablilla de control PC1.

Conecte PLG11 a RC11 en la tablilla de control PC1.

Ajuste la tuerca del prensacable.

Ajuste el prensacable alrededor del cable.

Reemplazo del cable de masa

- 6 Protector de caucho (hule)
- 7 Terminal del cable de masa

Deslice el protector de caucho fuera del terminal de conexión en la tablilla de control PC1. Retire la tuerca que sujeta el terminal a la tablilla PC1.

- 8 Sostén contra tirones

Quite la tuerca ubicada en el interior de la unidad de la parte trasera del prensacable.

Retire el cable de masa de la unidad deslizando a través de la tuerca. Guarde la tuerca para usarla en el prensacable de reemplazo.

Retire el protector de caucho del terminal y quítelo del cable de masa. Guarde el protector para usarlo en el cable de reemplazo.

⚠ Asegúrese de que quede algo de holgura del cable de masa dentro de la unidad.

Inserte el cable de reemplazo con el prensacable dentro de la abertura de donde retiró el cable viejo y el prensacable. Pase el terminal y el cable por la tuerca del prensacable. Instale la tuerca en el prensacable pero no la ajuste.

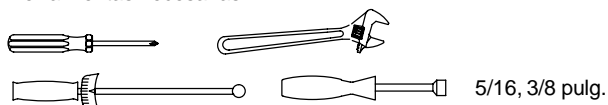
Tienda el cable por el fondo de la unidad y hacia arriba hasta la PC1.

Inserte el protector de caucho en el terminal y sobre el cable de masa. Conecte el terminal del cable de masa al perno de conexión etiquetado como WORK en la tablilla de circuito PC1. Ajústelo con un torque de 35 lb./pulg. (4 N·m). Deslice el protector de caucho sobre la conexión.

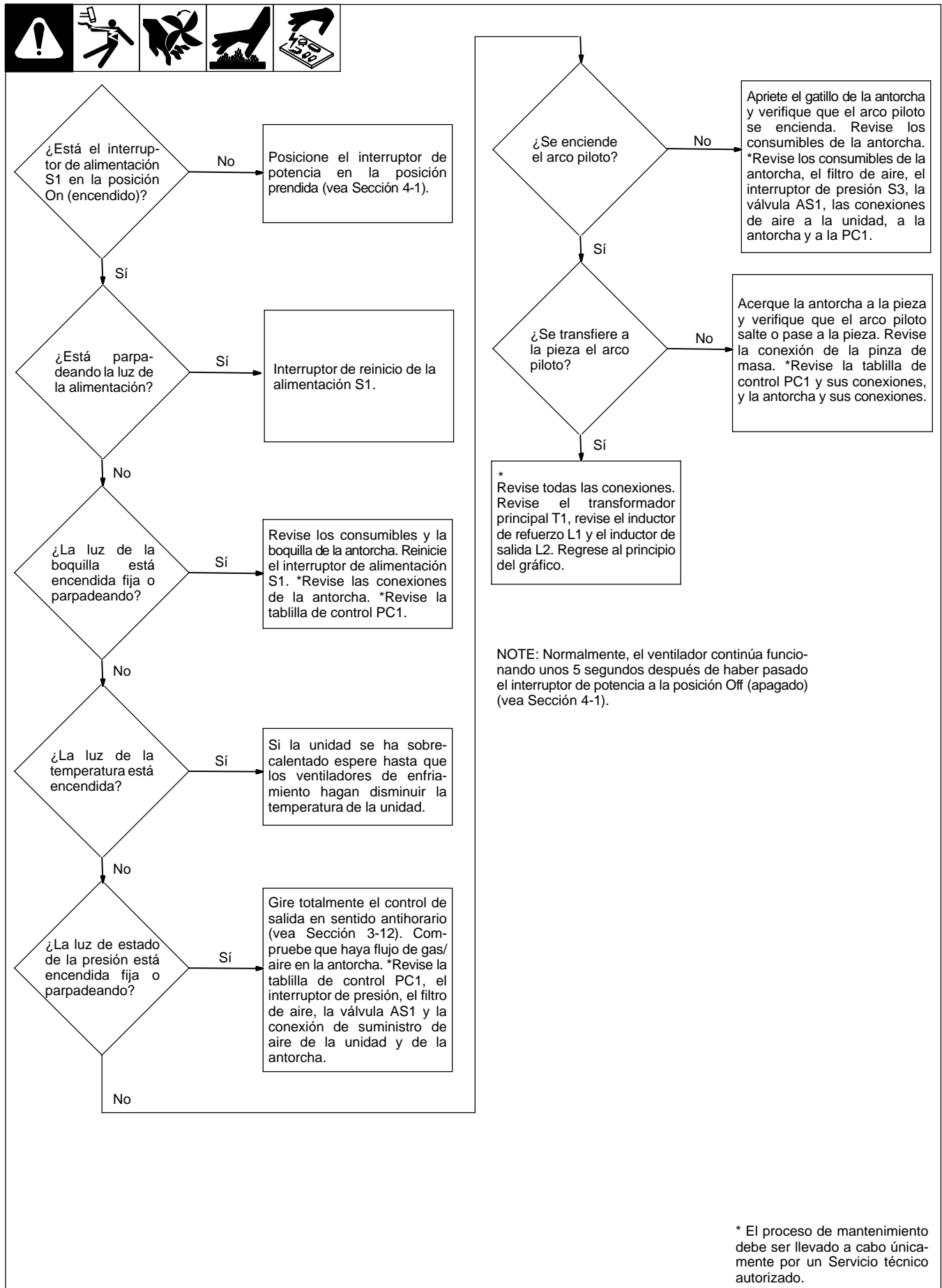
Ajuste la tuerca del prensacable.

Ajuste el prensacable alrededor del cable.

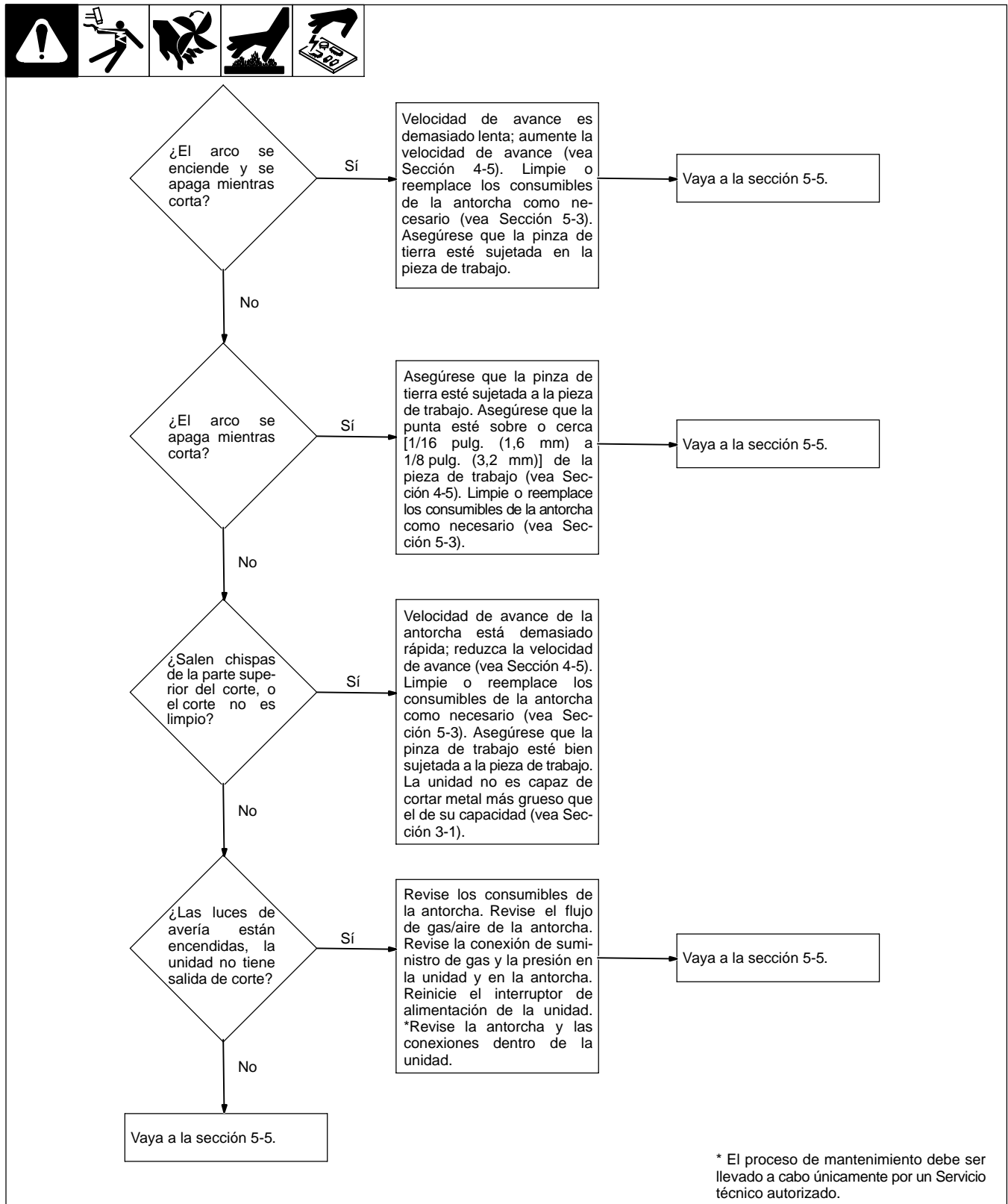
Herramientas necesarias:





5-5. Búsqueda de averías de la fuente de poder



5-6. Reparación de averías de la antorcha



SECCIÓN 6 – DIAGRAMA ELECTRICICO

 ¡Cuidado!	No toque partes eléctricamente vivas.
	 Desconecte la potencia de entrada o pare el motor antes dar servicio a este equipo. No lo opere sin las tapas en sitio.
Riesgo de choque o golpe eléctrico	Asegúrese que sólo personas capacitadas instalen, usen, o den servicio a esta unidad.

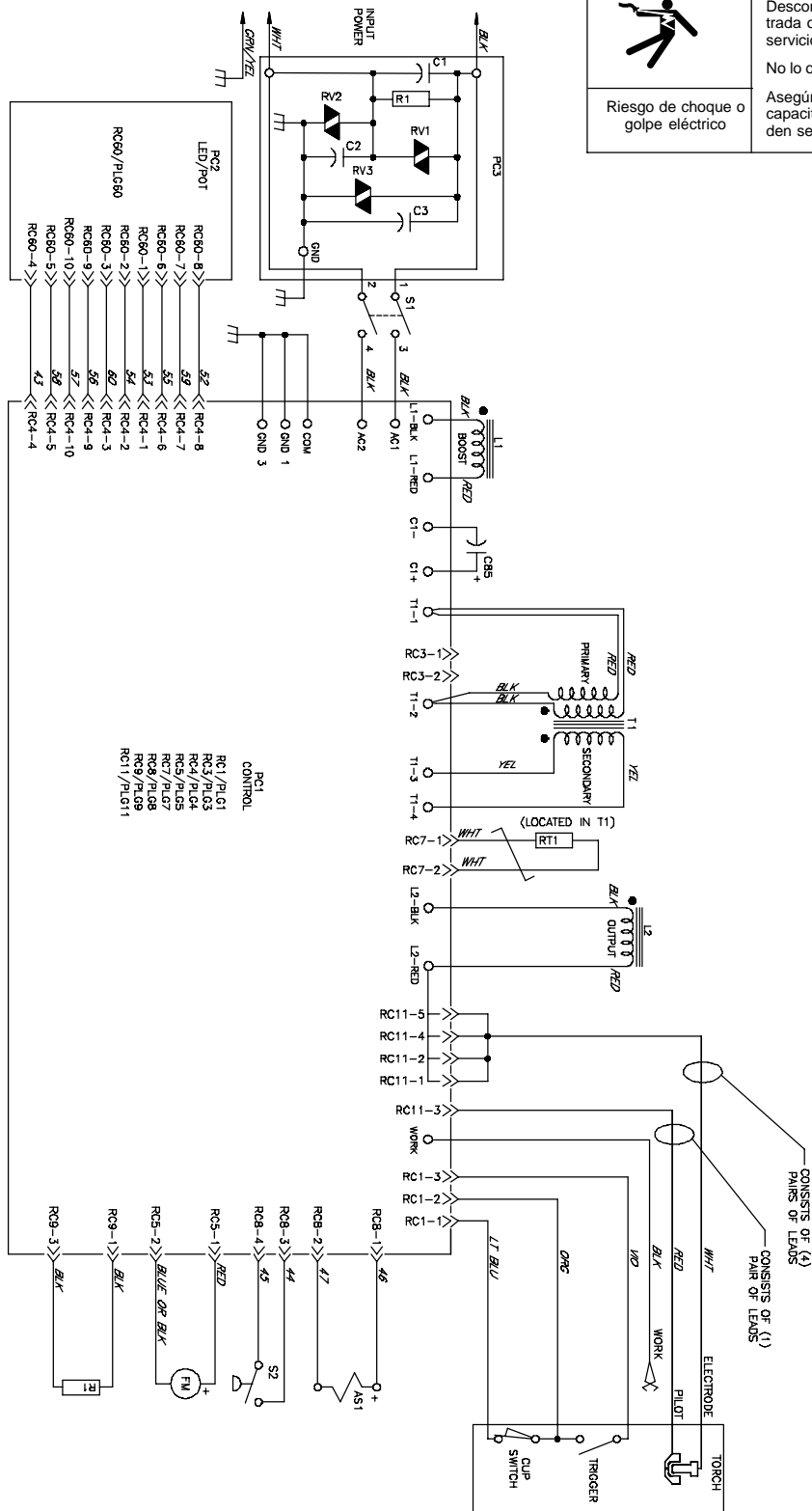


Ilustración 6-1. Diagrama de circuito

SECCIÓN 7 – LISTA DE PARTES

7-1. Piezas de repuesto recomendadas

Part No.	Description	Quantity
Piezas de repuesto recomendadas		
213308	COVER ASSY (INCLUDING)	1
207 686	LABEL, ICE 40C CONSUMABLES	1
227877	FILTER,AIR ELEMENT	1
216447	CABLE,WORK 25 FT 6 GA W/CLAMP STRAIN RLF & TERM	1
217891	CABLE,WORK 50 FT 6 GA W/CLAMP STRAIN RLF & TERM	1
213619	CLAMP,WORK 300A STL CHROME PLD W/COPPER CONTACTS	1
213620	CONTACT TIP,WORK CLAMP 300AMP COPPER	2
195110	ICE-40C 25FT HAND HELD REPLACEMENT TORCH OR	
195111	ICE-40C 50FT HAND HELD REPLACEMENT TORCH	1

Para mantener el rendimiento original de fábrica utilice sólo piezas de repuesto sugeridas por el fabricante. Se requiere tener el modelo y número de serie cuando se ordene piezas de su distribuidor local.

For extended tip use, set Amperage control to 40.

Drag Shield 204 323	Retaining Cup 192 050	Tip 204 325	Electrode 192 047	Swirl Ring 192 049	O-Ring 169 232
Deflector 177 888	Retaining Cup 192 050	40A Tip 192 052	Electrode 192 048	Standard Cutting Apply silicone grease (169 231) before installing Extended Cutting — 1/8" (3 mm) stand-off recommended	
Shield 192 203	Retaining Cup 192 050	Tip 204 332	Electrode 192 047		
				Gouging	

NOTE:
Set air pressure to 75 PSI for cutting or 55 PSI for gouging.

**ICE-40C
CONSUMABLES**

CAUTION

FAILURE TO REPLACE WORN TIP OR ELECTRODE WILL RUIN TORCH AND VOID WARRANTY.

- Turn off power before checking torch parts.
- Check before each use and hourly during operation.

207 686-B

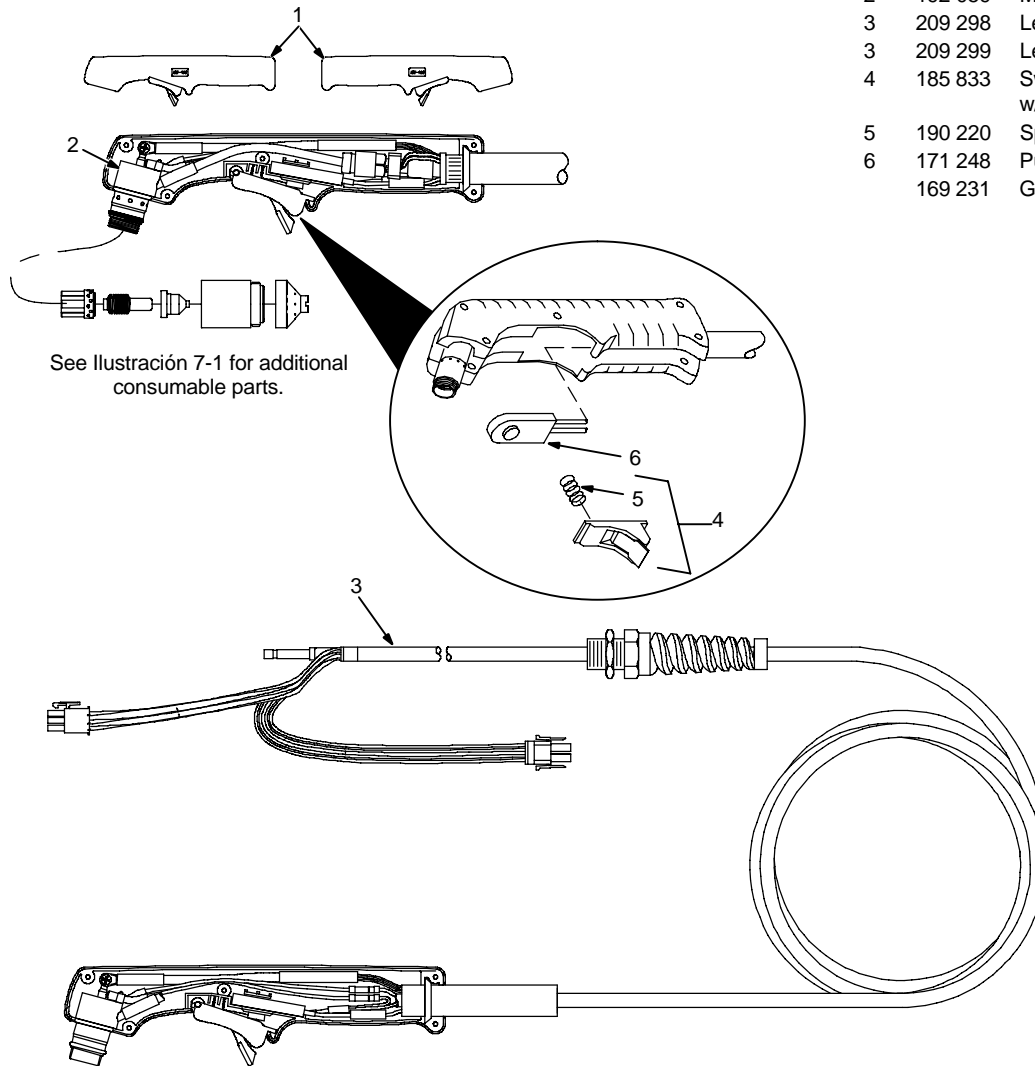
207 686-B

Ilustración 7-1. Consumable Parts For ICE-40C

Para mantener el rendimiento original de fábrica utilice sólo piezas de repuesto sugeridas por el fabricante. Se requiere tener el modelo y número de serie cuando se ordene piezas de su distribuidor local.

NOTE: The ICE-40C torch is specifically for use only with this plasma cutting unit.

Item No.	Part No.	Description
	195 110	ICE-40C 25ft Torch
	195 111	ICE-40C 50ft Torch
1	183 427	Handle Assy, complete (1)
2	192 059	Main Body (1)
3	209 298	Leads, 25ft (1)
3	209 299	Leads, 50ft (1)
4	185 833	Switch Assembly w/spring (1)
5	190 220	Spring, trigger assembly
6	171 248	Push Button Switch (1)
	169 231	Grease, silicone (1)



Ref. 195 092 / Ref. 803 224

Ilustración 7-2. Torch, ICE-40C

NOTESE 

Una lista completa de piezas se encuentra electrónicamente en línea en www.MillerWelds.com

Para mantener el rendimiento original de fábrica utilice sólo piezas de repuesto sugeridas por el fabricante. Se requiere tener el modelo y número de serie cuando se ordene piezas de su distribuidor local.



Archivo de Dueño

Por favor complete y retenga con sus archivos.

Nombre de modelo

Número de serie/estilo

Fecha de compra

(Fecha en que el equipo era entregado al cliente original.)

Distribuidor

Dirección

Ciudad

Estado/País

Código postal



Recursos Disponibles

Siempre dé el nombre de modelo y número de serie/estilo

Comuníquese con su Distribuidor para:

Para localizar al Distribuidor más cercano llame a **1-800-4-A-MILLER** (EE.UU. y Canada solamente) o visite nuestro lugar en la red mundial www.MillerWelds.com

Equipo y Consumibles de Soldar

Opciones y Accesorios

Equipo Personal de Seguridad

Servicio y Reparación

Partes de Reemplazo

Entrenamiento (Seminarios, Videos, Libros)

Manuales Técnicos
(Información de Servicio y Partes)

Dibujos Esquemáticos

Libros de Procesos de Soldar

Comuníquese con su transportista para:

Por ayuda en registrar o arreglar una queja, comuníquese con su Distribuidor y/o el Departamento de Transporte del Fabricante del equipo.

Poner una queja por perdida o daño durante el embarque.

Miller Electric Mfg. Co.

An Illinois Tool Works Company
1635 West Spencer Street
Appleton, WI 54914 USA

International Headquarters—USA

USA Phone: 920-735-4505 Auto-attended
USA & Canada FAX: 920-735-4134
International FAX: 920-735-4125

European Headquarters – United Kingdom

Phone: 44 (0) 1204-593493
FAX: 44 (0) 1204-598066

www.MillerWelds.com



Manual de operación



Controlador de altura de la antorcha de plasma.

Modelo: Controlador THC Compacto 150

Notas sobre seguridad

CUANDO EL DISPOSITIVO ESTA EN FUNCIONAMIENTO, SE ENCUENTRA VOLTAJE PELIGROSO PARA LA SALUD Y LA VIDA HUMANA DENTRO DE LA CAJA Y EN LOS TERMINALES CONECTORES

El dispositivo deberá ser conectado solamente por una persona calificada y autorizada. La conexión inapropiada puede causar lesiones serias o la muerte. Antes de la instalación Antes de la instalación y operación, lea atentamente todo el manual de instalación y mantenimiento y quede absolutamente seguro, que entiende completamente y es capaz de tomar la única decisión de determinar si usted está capacitado para una instalación segura y apropiada. Recuerde que, en el interior del dispositivo y en los terminales de conexión, puede haber presencia de voltaje peligroso para la salud y la vida.

Los siguientes acciones, aunque no están todas incluidas deben cumplirse estrictamente:

No deberá realizarse la instalación de este producto por una persona no calificada.

No debe haber contacto físico con con ninguna conexión eléctrica mientras se encuentre conectada.

No opere este producto con las manos mojadas, guantes mojados, o cualquier vestimenta mojada. Antes de encender la unidad, garantice la seguridad de otros, y lea y comprenda todas las instrucciones. Si tiene alguna duda o inquietud, no continúe.

ADVERTENCIA: Proporcione la adecuada protección para todos los riesgos asociados con el corte por plasma.

Para información más detallada de los riesgos relacionados con corte por plasma, diríjase al manual de usuario de su cortador de plasma.

Tocar elementos que no estén aislados ni conectados a tierra puede ser fatal. Proporcione un lugar seguro para su dispositivo. Después de montado, asegure la protección de los terminales de contacto del toque por el operador.

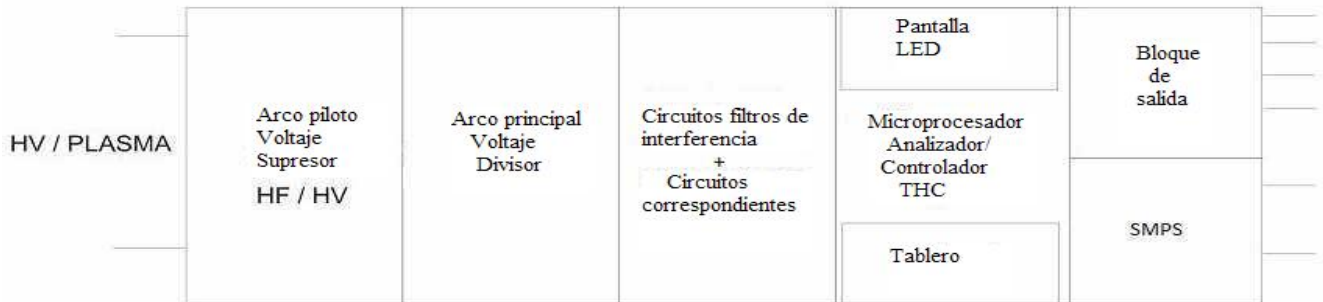
Está estrictamente prohibido realizar cualquier reparación o modificación a este producto!
- Realizar cualquiera de estas acciones podría llevar a lesión seria o la muerte para usted y/o otros.

Términos de Uso: Al proceder a la instalación y uso de este producto, Ud. entiende completamente y esta de acuerdo que Proma-Elektronika ni sus distribuidores, no se hacen responsables por cualquier incidente o evento que resulte en pérdida directa, pérdida indirecta, lesión a si mismo o a otros, daños a la propiedad, o pérdida o daño de cualquier tipo. El usuario final asume todos los riesgos. Si no está de acuerdo con estos términos en su totalidad, no siga adelante, y regrese este producto para su reembolso total.

Si tiene alguna pregunta o está inseguro de cualquier cosa indicada en en los problemas de este manual, contacte inmediatamente un distribuidor o centro de servicio Proma-Elektronika para su asistencia.

Información:

La unidad es un microprocesador análogo moderno, controlador de la altura de antorcha de plasma que opera analizando los cambios de voltaje en la fuente de plasma debidos a variaciones en la altura entre la punta de la antorcha y el material que está siendo cortado. El microprocesador hace determinaciones para elevar o descender la antorcha en base a la fuerza de la señal del voltaje que esta siendo leído. Está equipado con una pantalla LED fácil de leer y dos perillas de uso fácil que hacen la operación simple y no requieren de ningún instrumento de medición adicional. El dispositivo cuenta con soluciones patentadas hechas con los componentes de la mas alta calidad para asegurar un funcionamiento seguro, duradero, y confiable a largo plazo.



Neutralizador de Voltaje del Arco Piloto - sistema de protección, el cual es responsable de remover los picos en el flujo eléctrico CA, que pueden ser causados una por una fuente de plasma sin contacto con el encendido del arco (arco piloto HV/HF) generando un alto voltaje o de oleadas provenientes de cortadores de plasma equipados con sistema de arranque (cebado, iniciador) de contacto del arco.

Divisor de Voltaje del Arco principal - Mientras que está en funcionamiento, el cortador genera niveles de voltaje peligrosos, inseguros para la electrónica de precisión. Se incorpora un sistema divisor de tensión para reducir este voltaje a un nivel seguro.

Un sistema de filtro de acción rápida elimina cualquier interferencia que pueda pasar a través del divisor de tensión.

Los valores de voltaje filtrados y a escala emitidos por el "voltaje del arco primo" del cortador de plasma son luego enviados al cerebro del dispositivo. El "cerebro" consiste en un microprocesador programado, que además del análisis de los parámetros de voltaje de corte y el control de los bloques de salida apropiados, también es compatible con la pantalla LED y las teclas de funciones.

Una fuente de poder conmutada integrada garantiza la compatibilidad en un amplio rango de voltajes de alimentación sin necesidad de amortizar el calor. La conexión de alimentación de poder está ópticamente aislada del resto del sistema lo que le permite usar y compartir la energía de los sistemas existentes proporcionándoles a sus salidas el voltaje recomendado.

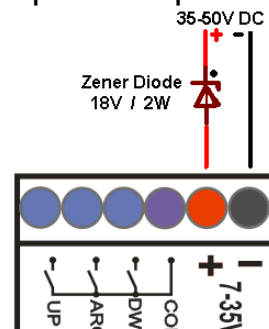
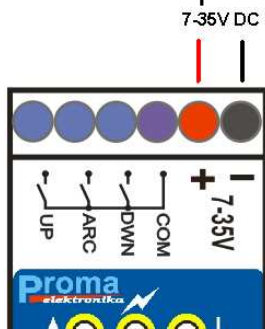
El último bloque es un circuito de salida de relé, al cual se conectan las entradas del controlador/PC, que es responsable del control del eje Z del motor de la cortadora de plasma CNC.

Los principales parámetros del dispositivo:

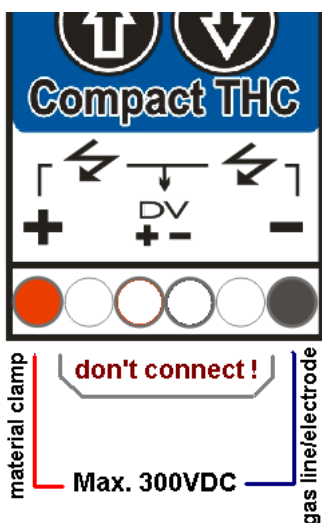
Nombre del Parámetro:	Aceptable	PRUEBA*
Voltaje de alimentación (V)	7 – 35V DC	36VDC*
Corriente máxima de entrada	120mA	-
Voltaje máximo de entrada directa	300VDC	1000V DC*
Voltaje de entrada máximo del Divisor 1:50	10VDC	60V DC*
Capacidad para eliminar el voltaje ionizante HV/HF	0.3kVAC	30kVAC*
Capacidad para eliminar la frecuencia ionizante HV/HF	>100kHz	75kHz
Ciclo de trabajo (%)	100%	-
Ciclo de trabajo de la eliminación de HV/HF(%)	100%	-
Capacidad de los relés	50mA / 60V DC	-
Vida de los relés usados (conmutable mínima declarada) con una capacidad de 5V / 10 mA	500 000 000ciclos	-
Grado de protección	IP20	-
Peso (g)	130g	-
Dimensiones externas (L * A * H) [mm]	33*89*65	-
Montaje	Riel DIN35	-

* Probado en el laboratorio.

Conexión de poder: Alimentación de poder opcional: 35-50V:



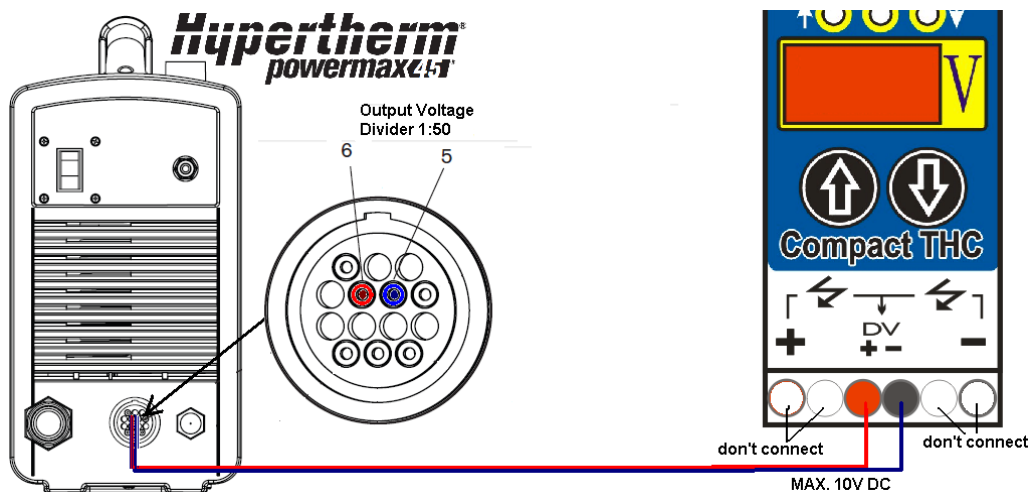
Para interruptores del dispositivo de límite mas bajo, se puede llevar al máximo el voltaje de salida de la fuente de plasma. En esta conexión no conecte nada a los otros terminales de entrada del controlador.



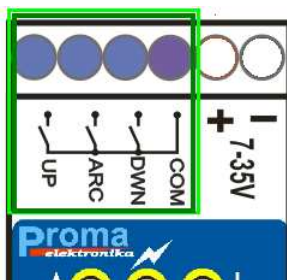
Cuando se conecte directamente, utilice los cables mas cortos posibles para conectar la fuente de plasma con el controlador THC - se recomienda que el controlador esté ubicado directamente en la fuente de plasma.

Si bien es un THC universal, que acepta todo el voltaje del arco primario para cualquier cortador de plasma del mercado, una interesante y nueva característica estándar de esta unidad es la adición de un divisor 1:50 para una instalación simple extremadamente rápida en la mayoría de las principales marcas. Lo más probable es que exista una conexión directa para esto en el exterior de la unidad cortadora de plasma. Por favor diríjase al manual de usuario de su cortador de plasma.

Un ejemplo de cómo conectar la entrada de medición del controlador THC con la salida del muy popular Hypertherm Powermax45® - El THC viene normalmente equipado con una salida de voltaje baja del divisor 1:50. Esta proporción es la división usada con mayor frecuencia en la mayoría de las marcas importantes y es muy probable que haya un enchufe para esta conexión en el exterior de la unidad cortadora.



Descripción de las salidas de los relés:



Las salidas de los relés “Arc, Up, Down”, son controles de salidas via relés, y no deberán ser utilizadas para ninguna otra cosa que para su uso previsto.

El terminal **COM** es un terminal de entrada común conectado a los contactos de relés ARC, UP y DOWN dentro del dispositivo, según el diagrama localizado en la cubierta (grafico anterior). La ruta sugerida es para “GND” en el terminal controlador/pc. No haga puentes para esta conexión al “7-35V” negativo.

La salida **ARC** (también conocida como “Arco Okay”) se activa cuando se detecta la ignición del plasma. Enrute y configure para una entrada de software. No requerido para funcionar.

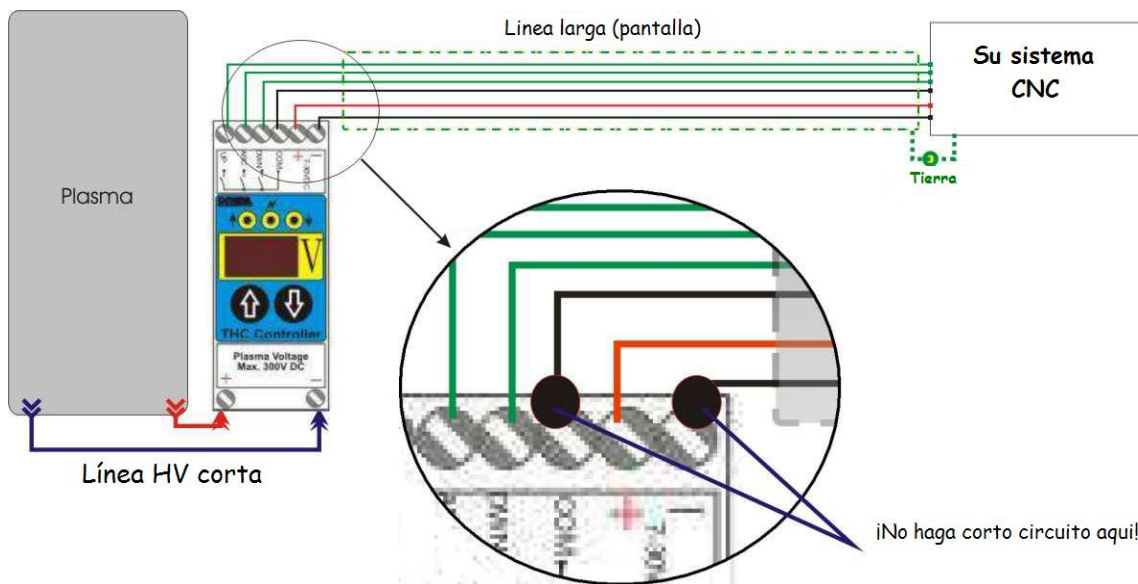
La salida **UP** se activa cuando el voltaje medido es más bajo que el voltaje de los puntos de ajuste, reducido a la mitad del voltaje de histéresis. Enrute y configure para una entrada de software.

La salida **DOWN** se activa cuando el voltaje medido es más alto que el voltaje de los puntos de ajuste, reducido a la mitad del voltaje de histéresis. Enrute y configure para una entrada de software.

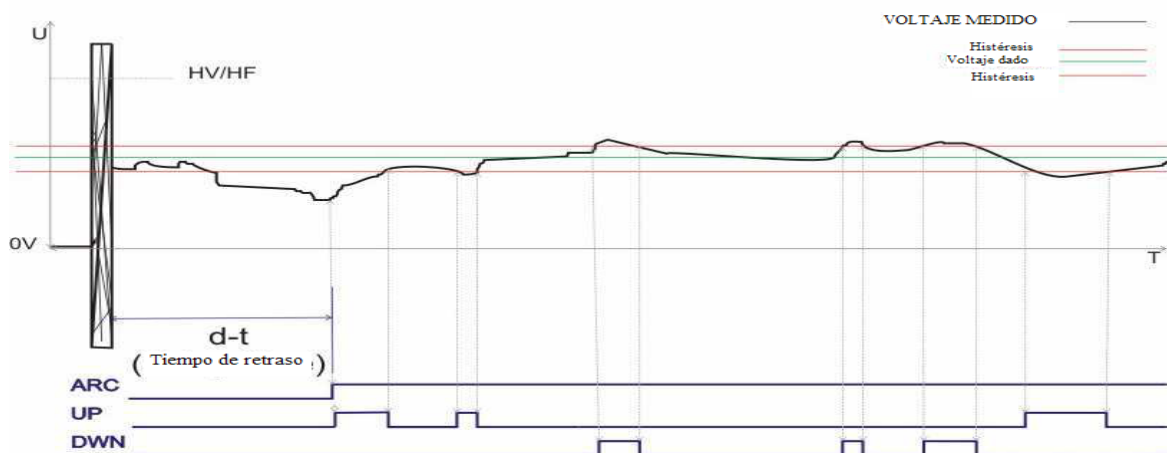
Note: No se activan relés de salida en el caso donde solamente se detecta el arco piloto y cuando el arco principal está roto.

Las salidas de los relés deberán estar conectados al sistema CNC de acuerdo con la documentación del sistema electrónico CNC que controla la máquina. Para esto, utilizamos entradas de los conectores periféricos HOME o LIMIT - Los contactos de relés THC deberán ser conectados a los terminales de la misma manera que los conectores interruptores de límite. Al mismo tiempo, el relé terminal COM común, deberá conectarse al sistema CNC a un terminal común para interruptores de límite (generalmente es un terminal GND).

Para reducir la posibilidad que un corto circuito entre al sistema CNC, la conexión deberá ser realizada con un cable apantallado - el apantallado deberá ser conectado a la tierra del lateral del sistema CNC. No conecte el apantallado al lateral del controlador THC.



ALGORITMO DE TRABAJO



Puesta en marcha y funcionamiento:

El dispositivo está preconfigurado de fábrica y después de haber hecho las conexiones correctas, funciona inmediatamente de manera apropiada con la mayoría de los dispositivos de plasma. Después de colocar el interruptor en encendido, la pantalla del controlador THC muestra un mensaje "thc" "animado", y luego se presenta durante 1 segundo un valor de voltaje intermitente; el dispositivo está en calibración automática en este momento.



Cuando el dispositivo está listo para el funcionamiento se muestra "- - -" lo cual significa, que no hay voltaje de entrada.

En este estado, pulsando ambas teclas arriba/abajo, simultáneamente y manteniéndolas por unos pocos segundos, pueden modificarse los puntos de ajuste del voltaje y así establecer la altura de la antorcha por encima del material. Presione una vez por corto tiempo para mostrar el valor establecido sin modificación.

Para determinar otros parámetros mantenga presionadas simultáneamente ambas teclas hasta que vea el parámetro deseado en la pantalla - cuando suelte las teclas, su valor será mostrado - utilizando las teclas arriba/abajo para establecer el valor deseado:



"HYS" (Histéresis) - El voltaje de histéresis - un rango en el que el voltaje es medido, en el que hay señales controlando ARRIBA/ABAJO 2-30V ($\pm 1V$ - $\pm 15V$) - ajuste de fábrica: 8V ($\pm 4V$)



"d-t" (Tiempo de retraso) - tiempo de retraso de la salida cerrada aunque no haya voltaje de alimentación, cuando el sistema detecta el principal arco (corte) 0.1 - 9.9s ajuste de fábrica: 0.5s



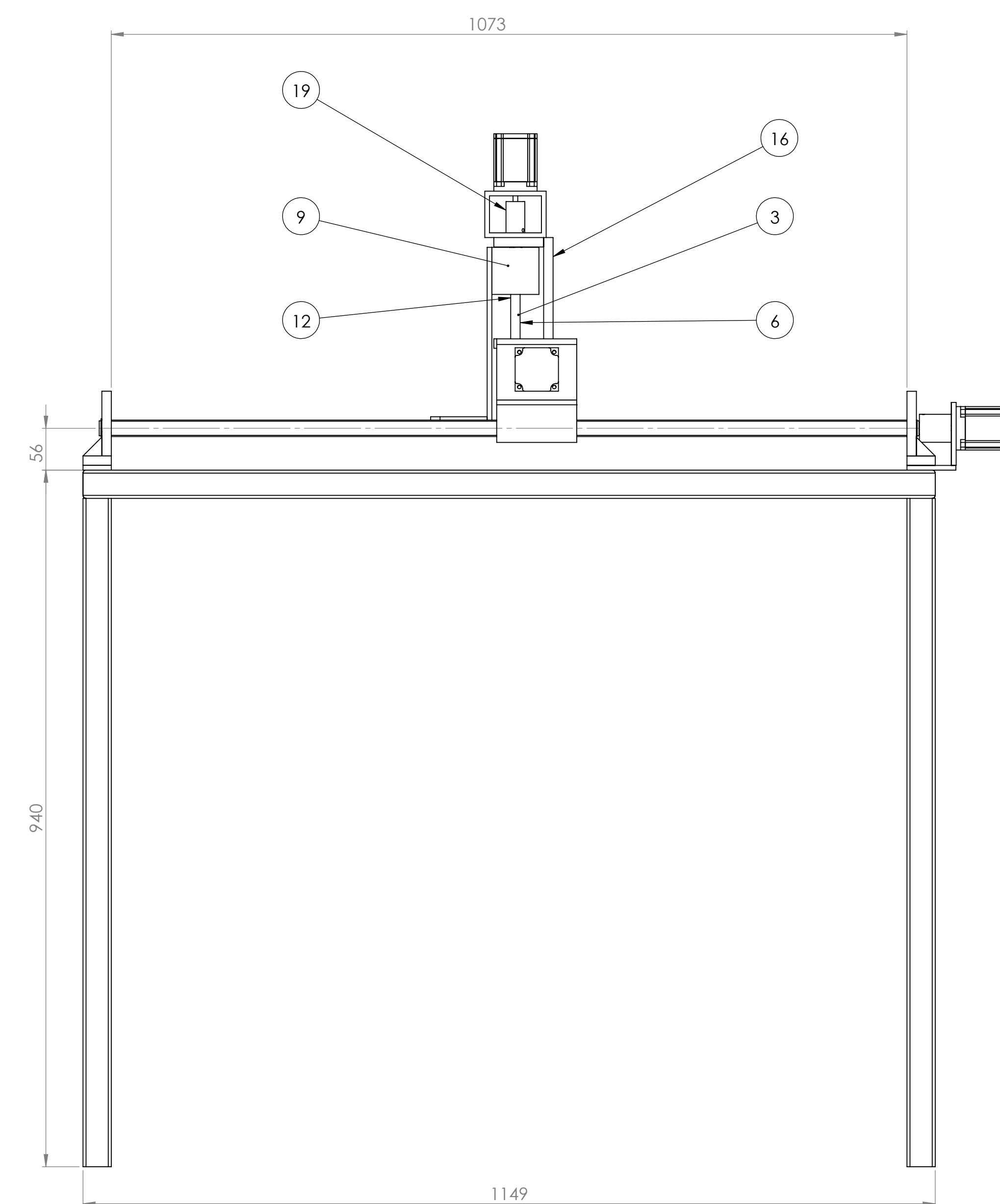
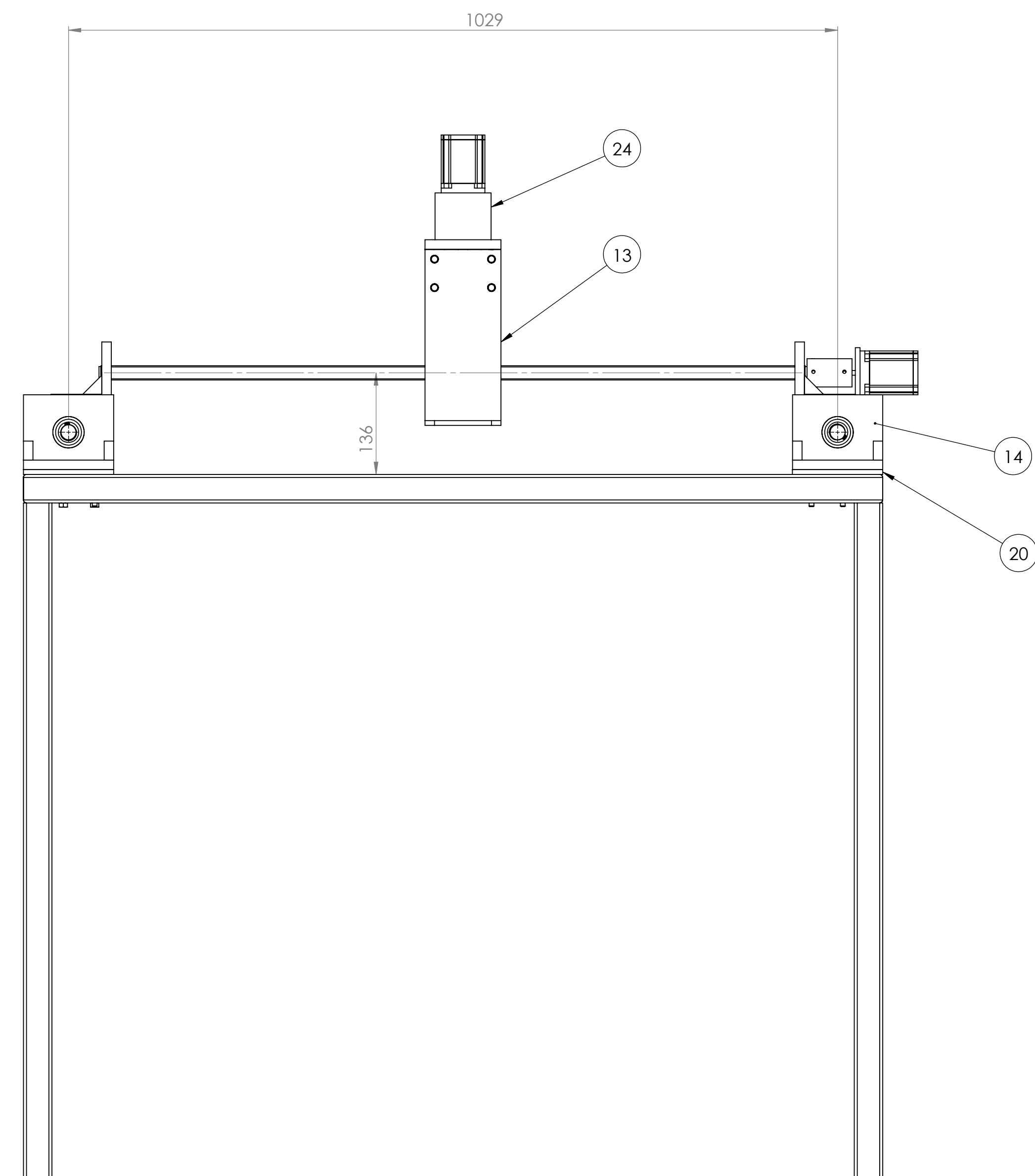
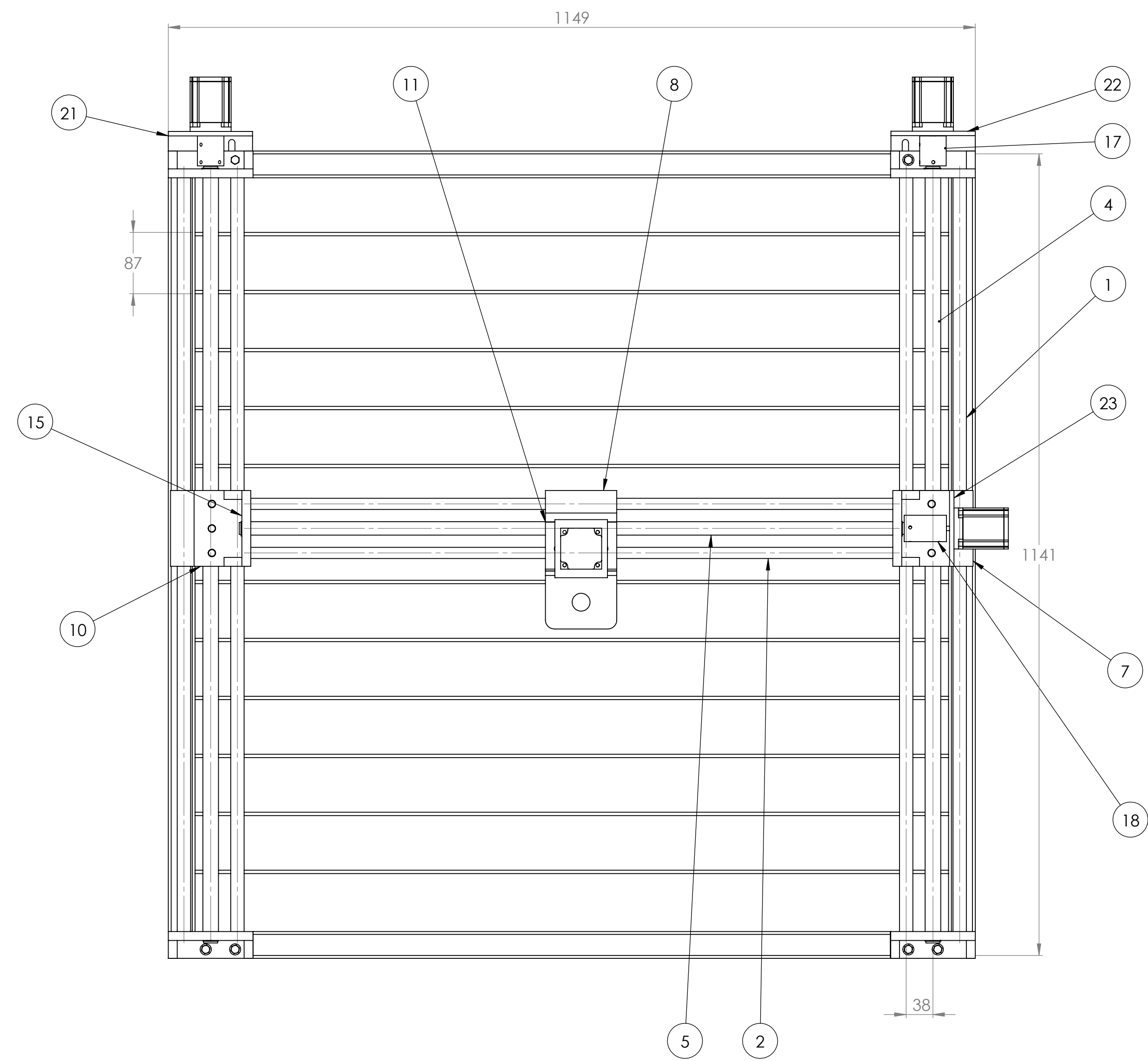
"H-U" (Voltaje alto) - Valor de la detección del voltaje de carga en el cortador de plasma - utilizado para detectar el principal arco (de corte): 50-300V por defecto: 200V



"tSt" (Prueba) Simulación de trabajo del controlador - el sistema simula la aparición de voltaje "flotante" dentro del valor seleccionado - causa la activación de entradas para probar fácilmente el sistema sin encender la cortadora.

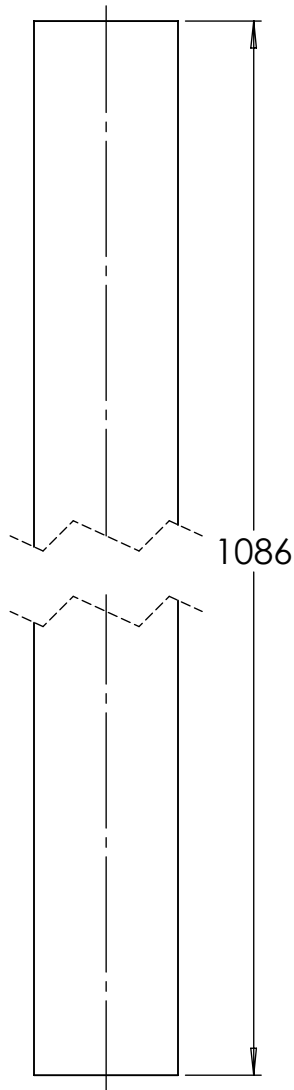
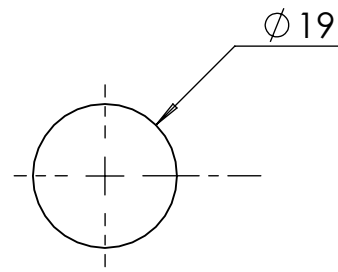
Cuando el cortador de plasma está encendido, la pantalla muestra el valor medido de voltaje y los diodos LED presentan el estado actual de las salidas. El parpadeo rápido del valor medido indica la detección del arco piloto; la visualización continua indica la detección del arco principal (de corte).

Todos los parámetros pueden ser modificados durante el funcionamiento; estos cambios son reflejados en tiempo real en el control de las señales de salida.



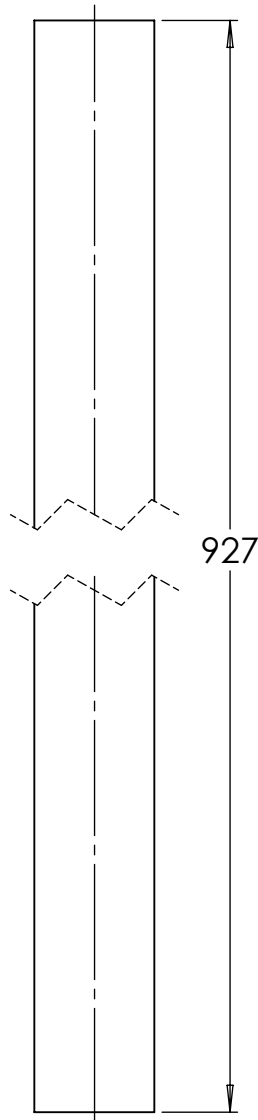
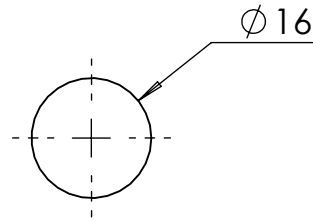
24	SOPORTE MOTOR EJE Z	1	ALUMINIO 1020
23	SOPORTE MOTOR EJE Y	1	ALUMINIO 1020
22	SOPORTE MOTOR EJE X2	1	ALUMINIO 1020
21	SOPORTE MOTOR EJE X1	1	ALUMINIO 1020
20	ALZAS X	4	ALUMINIO 1020
19	ACOPAMIENTO EJE Z	1	ALUMINIO 1020
18	ACOPAMIENTO EJE Y	1	ALUMINIO 1020
17	ACOPAMIENTO EJE X	2	ALUMINIO 1020
16	SOSTENEDOR TORNILLO EJE Z	1	ALUMINIO 3030
15	SOSTENEDOR TORNILLO EJE Y	2	ALUMINIO 3030
14	SOSTENEDOR TORNILLO EJE X	4	ALUMINIO 3030
13	PORTAFISETA	1	ALUMINIO 3030
12	TUERCA EJE Z	1	BRONCE
11	TUERCA EJE Y	1	BRONCE
10	TUERCA EJE X	2	BRONCE
9	CARRO EJE Z	1	ALUMINIO 3030
8	CARRO EJE Y	1	ALUMINIO 3030
7	CARRO EJE X	2	ALUMINIO 3030
6	TORNILLO DE POTENCIA EJE Z	1	ALUMINIO 1045
5	TORNILLO DE POTENCIA EJE Y	1	ALUMINIO 1045
4	TORNILLO DE POTENCIA EJE X	2	ALUMINIO 1045
3	BARRA EJE Z	2	ALUMINIO 1020
2	BARRA EJE Y	2	ALUMINIO 1020
1	BARRA EJE X	4	ALUMINIO 1020

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	MATERIAL
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR			
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA			
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA CORTE POR PLASMA, USANDO TÉCNICAS DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO			
ESCALA: 1:15			
DOCENTES ASESORES:		ESTUDIANTES:	
ING. FRANCISCO VELÁSQUEZ RAZ		ING. WILFREDO ARTALE ROSA	
ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES		ING. ALDO MARTÍN RIVERA	
		ING. DIEGO RIVERA MORALES	
UNIDADES: Milímetros			
Nº PLANO: 1 DE 25		FECHA: 13/01/2015	
CONJUNTO: MESA ENSAMBLADA			



Cantidad
4

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA CORTE POR PLASMA, USANDO TECNICAS DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO	ESCALA: 1:1
DOCENTES ASESORES: ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES		ESTUDIANTES: RENÉ WILFREDO ARTIGA RIVERA GERARDO JOSUÉ BOLANOS CASTILLO ABNER ALEXIS MARTÍNEZ RIVAS ERICK GREGORIO REYES MAGAÑA	UNIDADES: Milímetros
Nº PLANO: 2 DE 25	FECHA: 13/01/2015	BARRA EJE X	



Cantidad

2

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA
CORTE POR PLASMA, USANDO TECNICAS DE
CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO

ESCALA:
1:1

DOCENTES ASESORES:
ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ
ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES

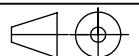
ESTUDIANTES: RENÉ WILFREDO ARTIGA RIVERA
GERARDO JOSUÉ BOLAÑOS CASTILLO
ABNER ALEXIS MARTÍNEZ RIVAS
ERICK GREGORIO REYES MAGAÑA

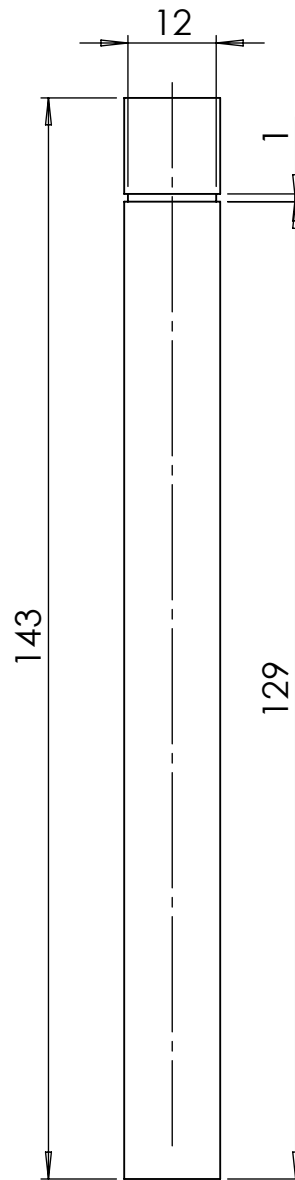
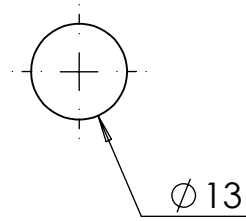
UNIDADES:
Milímetros

Nº PLANO:
3 DE 25

FECHA:
13/01/2015

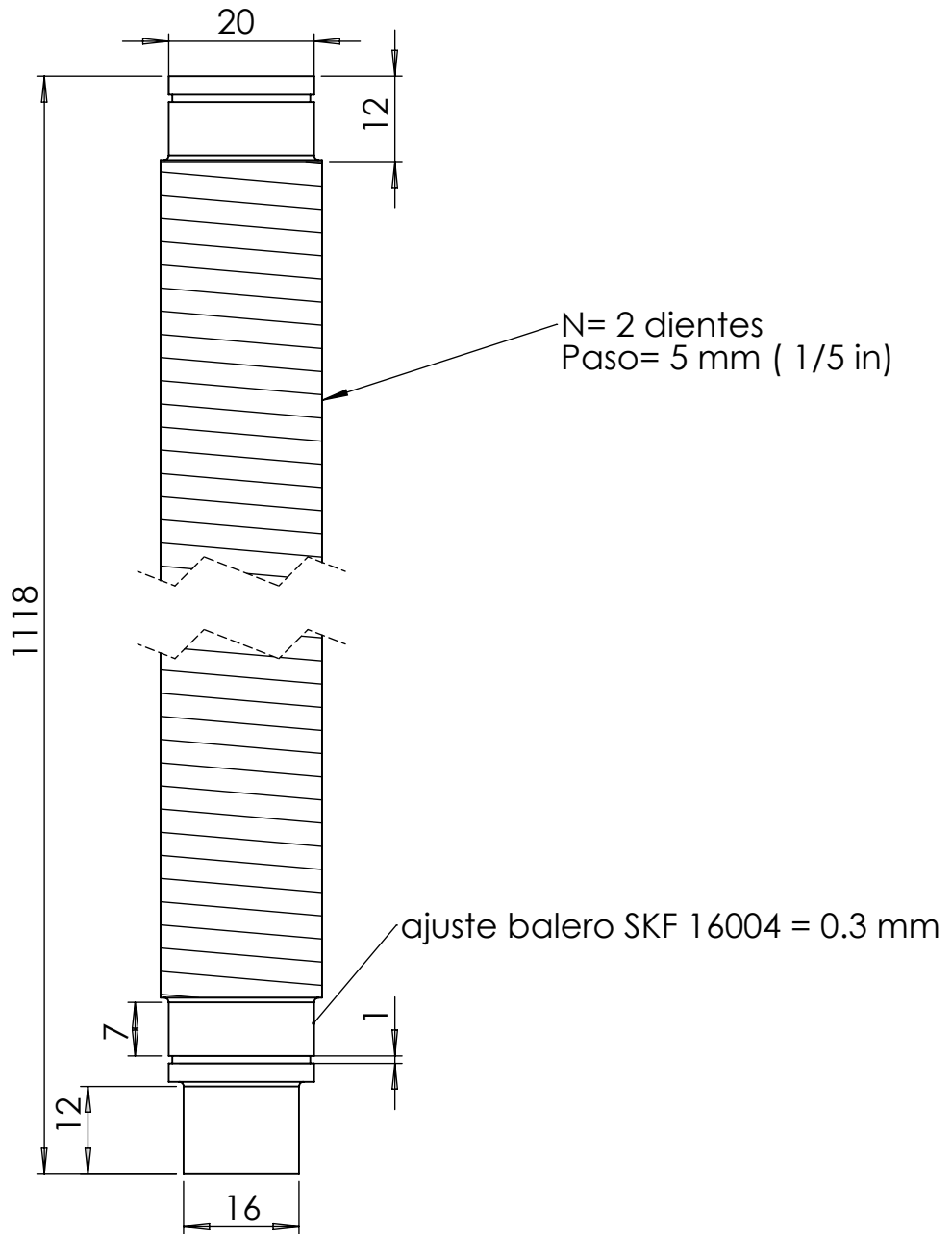
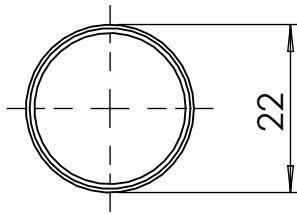
BARRA EJE Y



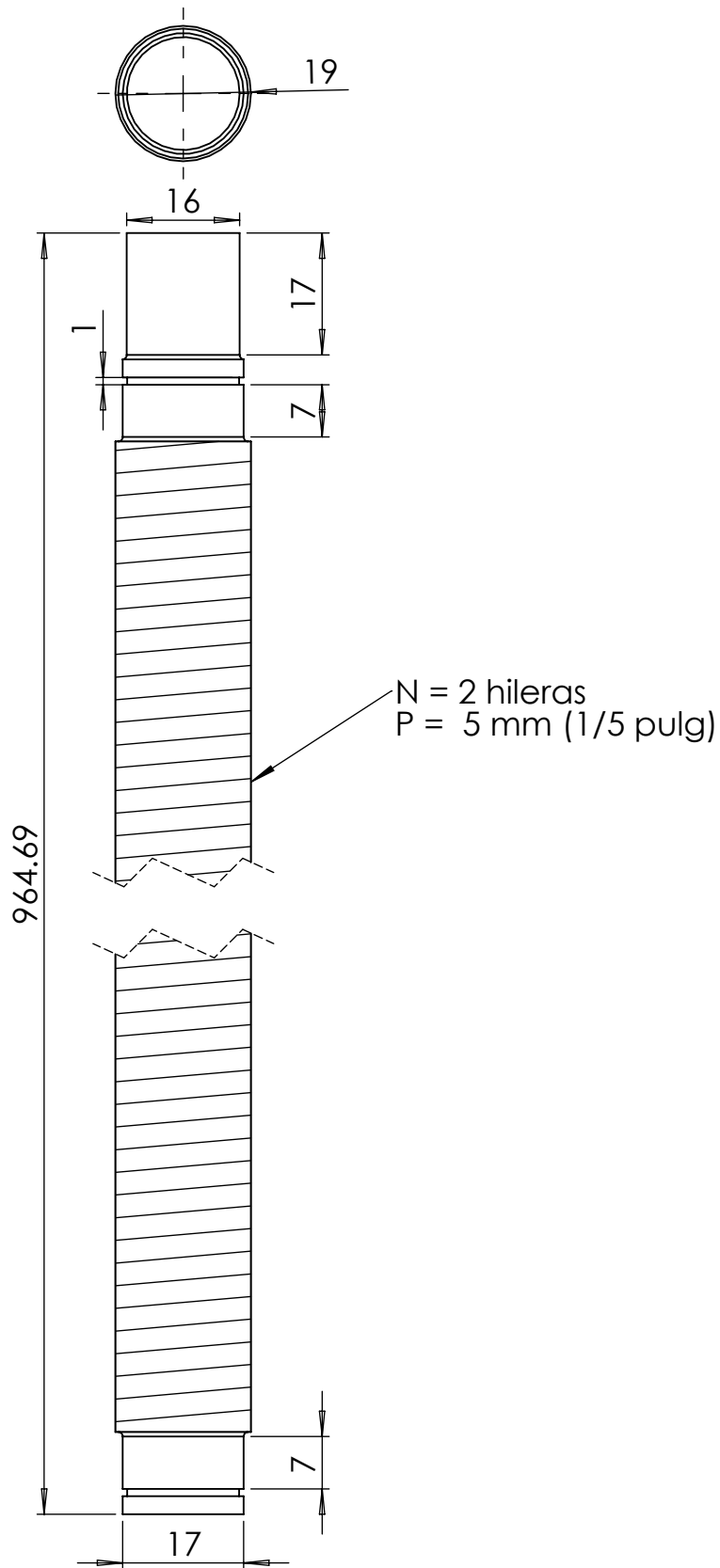


cantidad
2

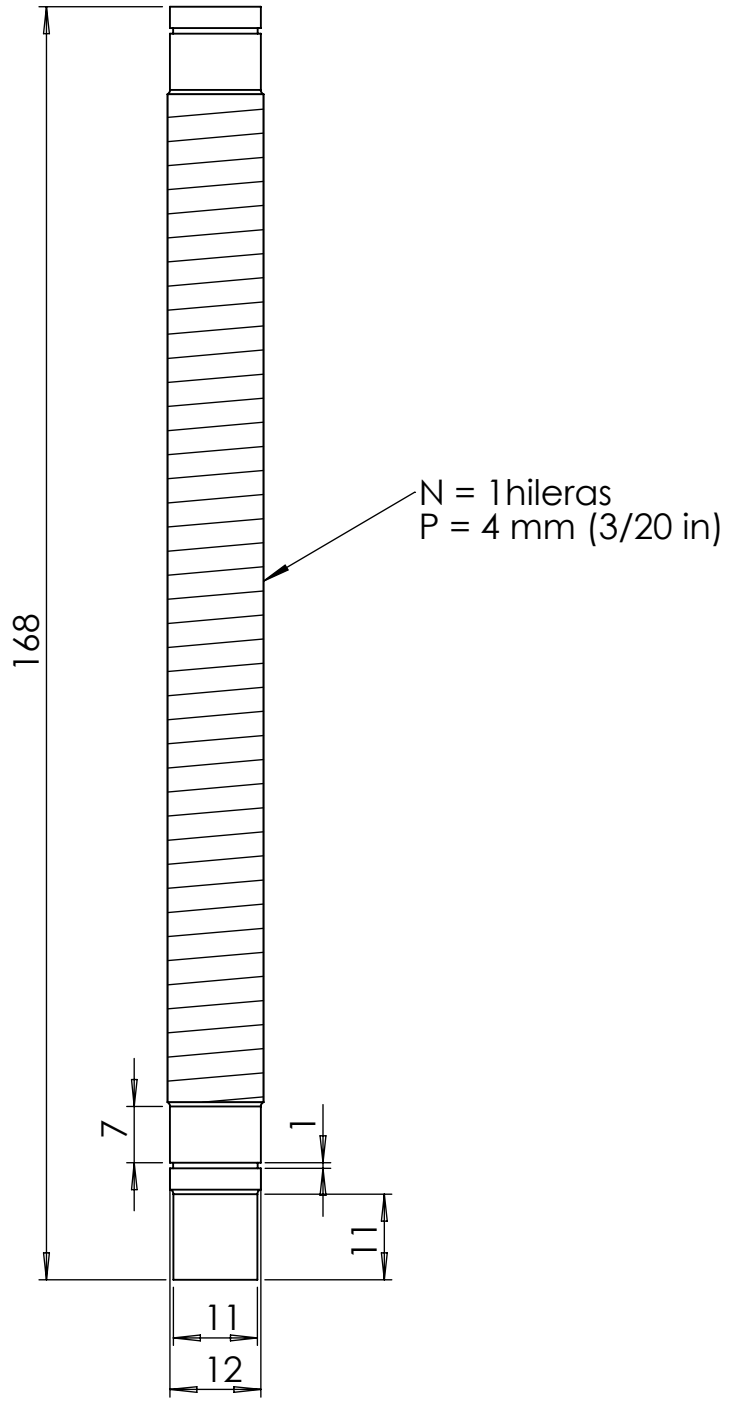
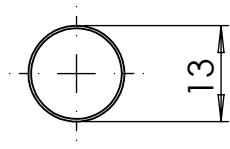
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA CORTE POR PLASMA, USANDO TECNICAS DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO	ESCALA: 1:1
DOCENTES ASESORES: ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES		ESTUDIANTES: RENÉ WILFREDO ARTIGA RIVERA GERARDO JOSUÉ BOLANOS CASTILLO ABNER ALEXIS MARTÍNEZ RIVAS ERICK GREGORIO REYES MAGAÑA	UNIDADES: Milímetros
Nº PLANO: 4 DE 25	FECHA: 13/01/2015	BARRA EJE Z	



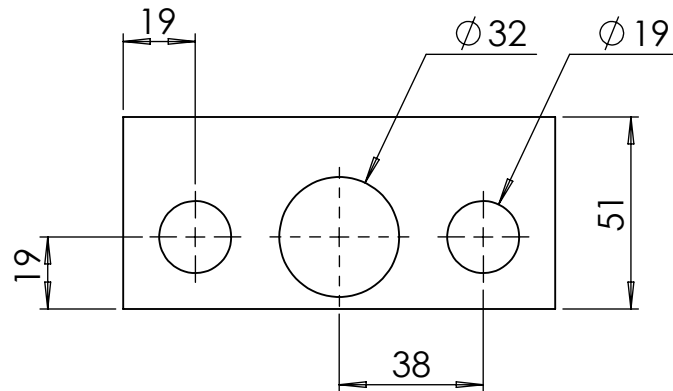
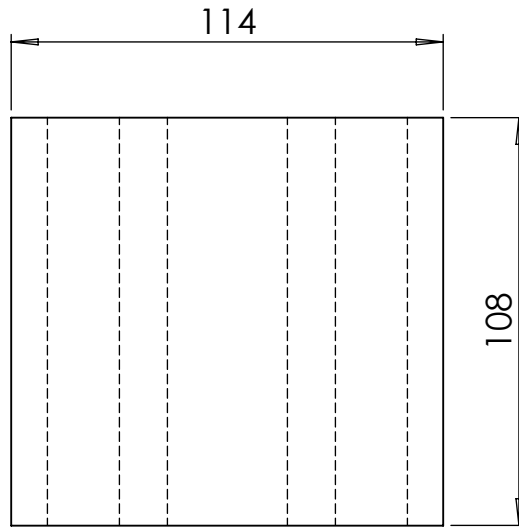
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA CORTE POR PLASMA, USANDO TECNICAS DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO	ESCALA: 1:1
DOCENTES ASESORES: ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES		ESTUDIANTES: RENÉ WILFREDO ARTIGA RIVERA GERARDO JOSUÉ BOLANOS CASTILLO ABNER ALEXIS MARTÍNEZ RIVAS ERICK GREGORIO REYES MAGAÑA	UNIDADES: Milímetros
Nº PLANO: 5 DE 25	FECHA: 13/01/2015	TORNILLO DE POTENCIA EJE X	



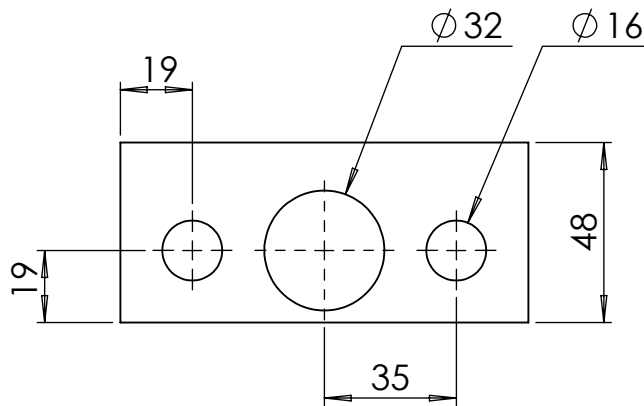
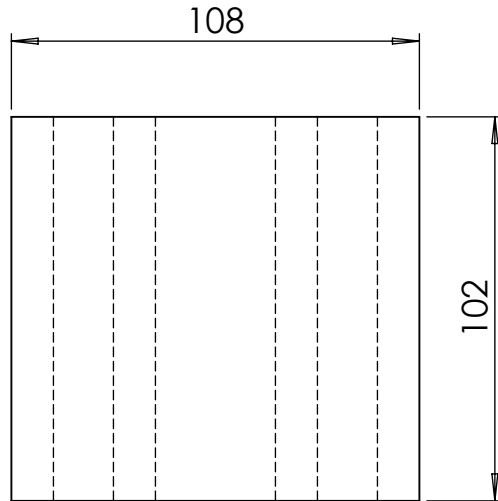
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA CORTE POR PLASMA, USANDO TECNICAS DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO	ESCALA: 1:1
DOCENTES ASESORES: ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES		ESTUDIANTES: RENÉ WILFREDO ARTIGA RIVERA GERARDO JOSUÉ BOLANOS CASTILLO ABNER ALEXIS MARTÍNEZ RIVAS ERICK GREGORIO REYES MAGAÑA	UNIDADES: Milímetros
Nº PLANO: 6 DE 25	FECHA: 13/01/2015	TORNILLO DE POTENCIA EJE Y	



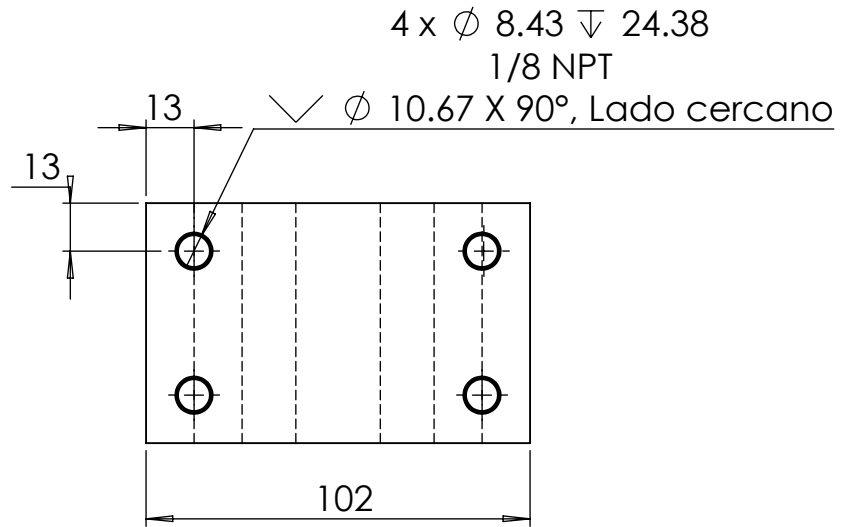
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA CORTE POR PLASMA, USANDO TECNICAS DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO	ESCALA: 1:1
DOCENTES ASESORES: ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES		ESTUDIANTES: RENÉ WILFREDO ARTIGA RIVERA GERARDO JOSUÉ BOLANOS CASTILLO ABNER ALEXIS MARTÍNEZ RIVAS ERICK GREGORIO REYES MAGAÑA	UNIDADES: Milímetros
Nº PLANO: 7 DE 25	FECHA: 13/01/2015	TORNILLO DE POTENCIA EJE Z	



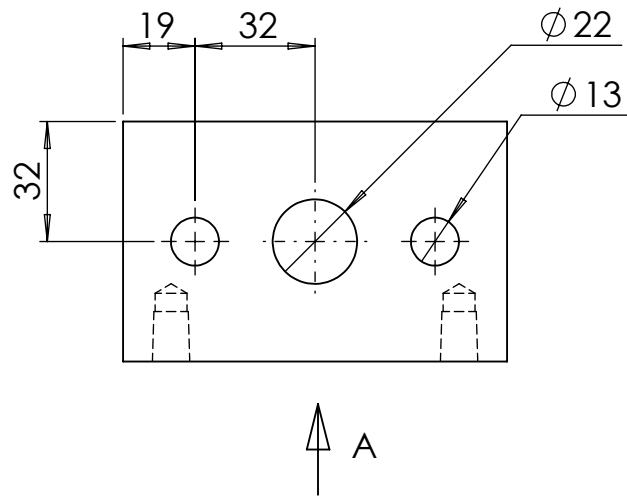
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA CORTE POR PLASMA, USANDO TECNICAS DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO	ESCALA: 1:2
DOCENTES ASESORES: ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES		ESTUDIANTES: RENÉ WILFREDO ARTIGA RIVERA GERARDO JOSUÉ BOLANOS CASTILLO ABNER ALEXIS MARTÍNEZ RIVAS ERICK GREGORIO REYES MAGANA	UNIDADES: Milímetros
Nº PLANO: 8 DE 25	FECHA: 13/01/2015	CARRO EJE X	



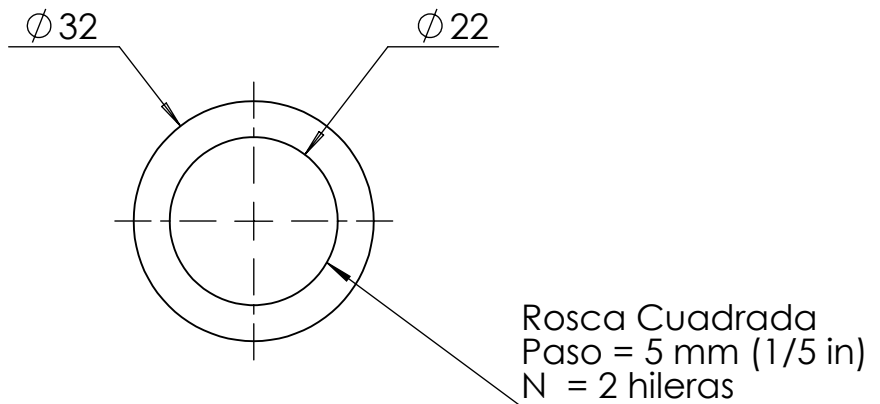
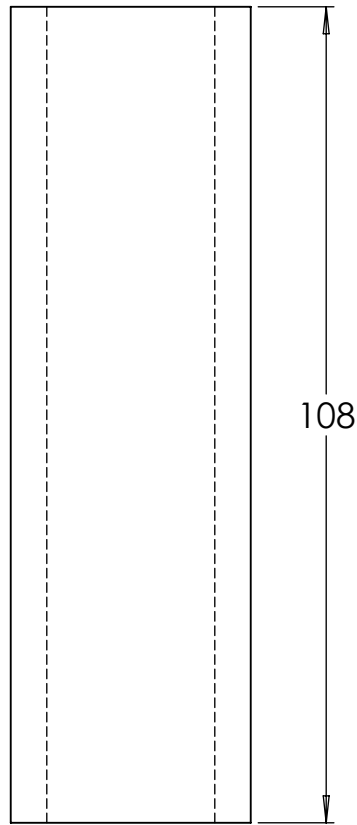
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA CORTE POR PLASMA, USANDO TECNICAS DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO	ESCALA: 1:2
DOCENTES ASESORES: ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES		ESTUDIANTES: RENÉ WILFREDO ARTIGA RIVERA GERARDO JOSUÉ BOLANOS CASTILLO ABNER ALEXIS MARTÍNEZ RIVAS ERICK GREGORIO REYES MAGANA	UNIDADES: Milímetros
Nº PLANO: 9 DE 25	FECHA: 13/01/2015	CARRO EJE Y	



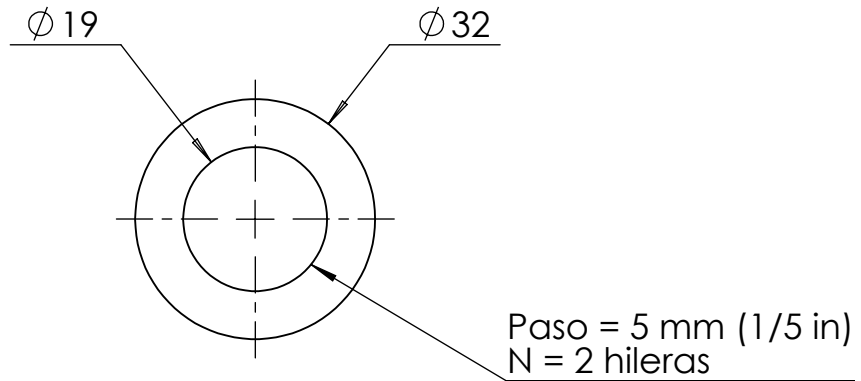
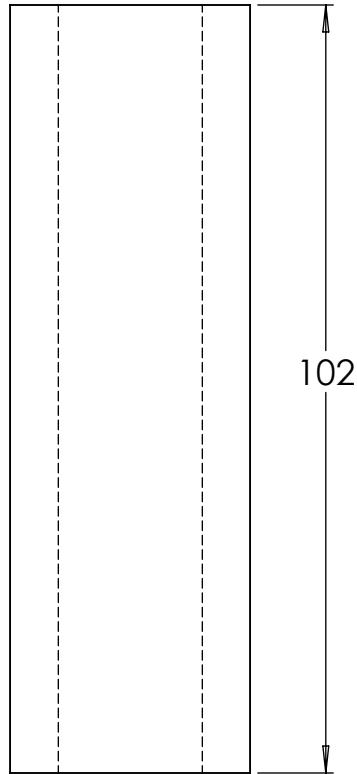
VISTA A



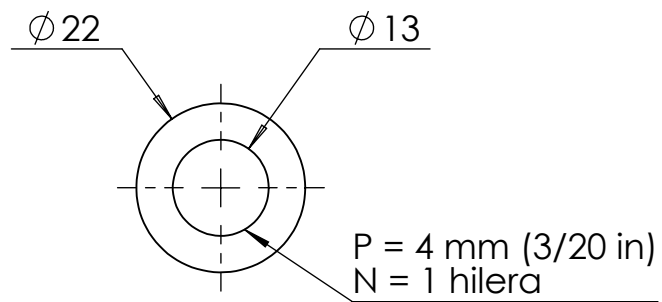
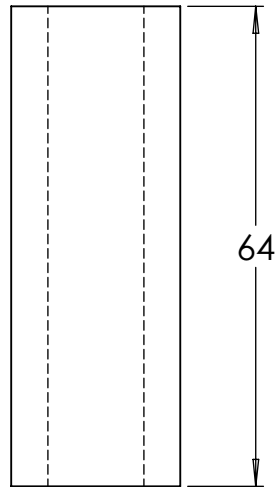
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA CORTE POR PLASMA, USANDO TECNICAS DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO	ESCALA: 1:2
DOCENTES ASESORES: ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES		ESTUDIANTES: RENÉ WILFREDO ARTIGA RIVERA GERARDO JOSUÉ BOLANOS CASTILLO ABNER ALEXIS MARTÍNEZ RIVAS ERICK GREGORIO REYES MAGAÑA	UNIDADES: Milímetros
Nº PLANO: 10 DE 25	FECHA: 13/01/2015	CARRO EJE Z	



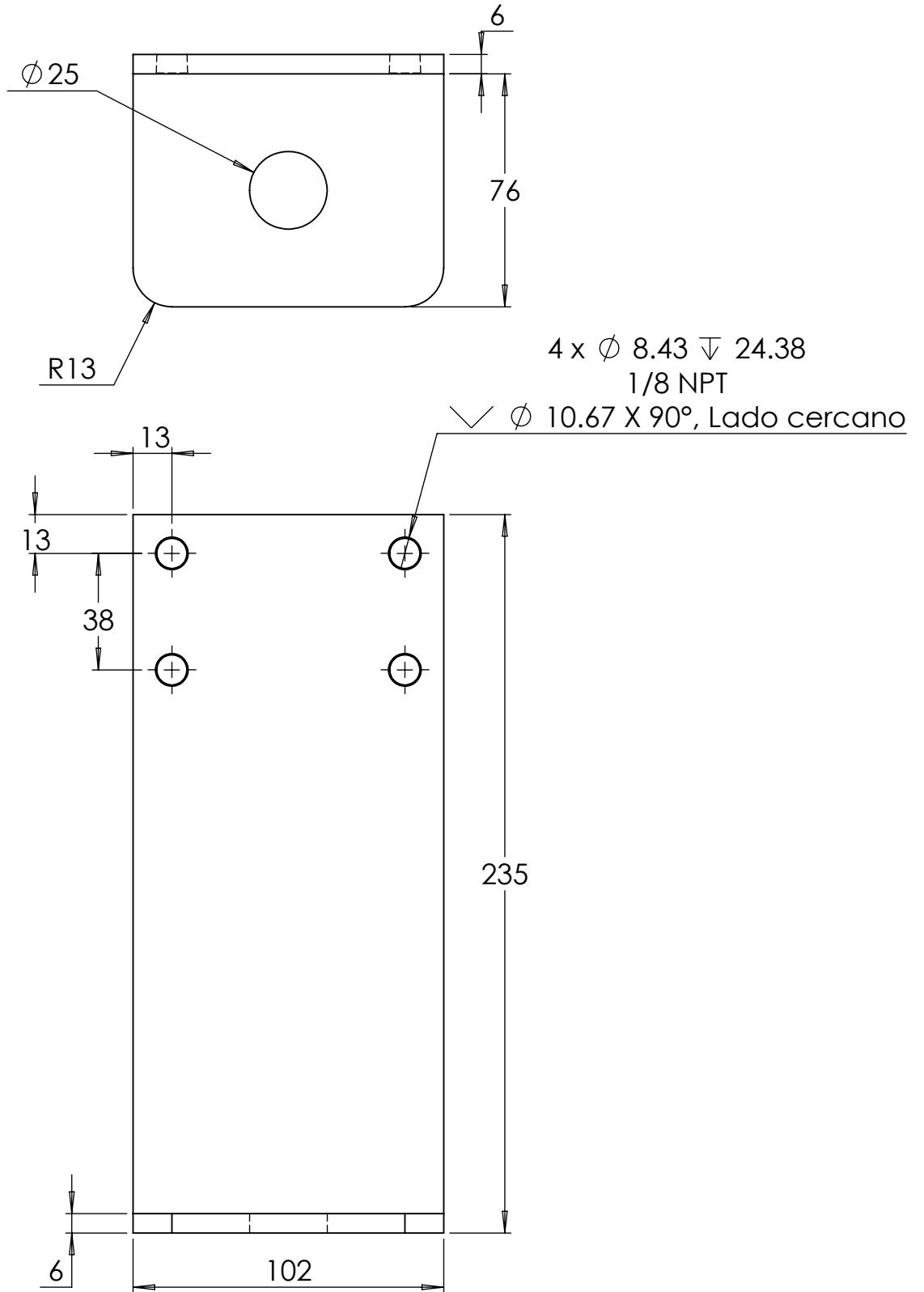
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA CORTE POR PLASMA, USANDO TECNICAS DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO	ESCALA: 1:1
DOCENTES ASESORES: ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES		ESTUDIANTES: RENÉ WILFREDO ARTIGA RIVERA GERARDO JOSUÉ BOLANOS CASTILLO ABNER ALEXIS MARTÍNEZ RIVAS ERICK GREGORIO REYES MAGAÑA	UNIDADES: Milímetros
Nº PLANO: 11 DE 25	FECHA: 13/01/2015	TUERCA EJE X	



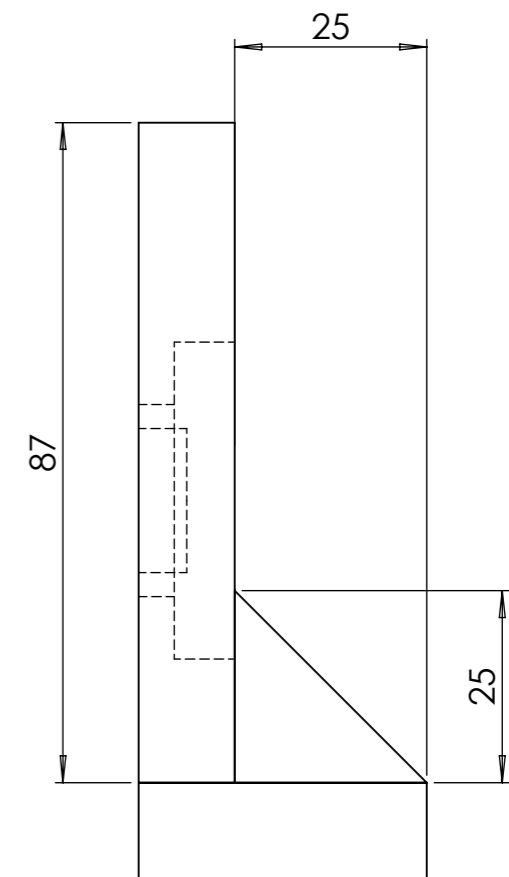
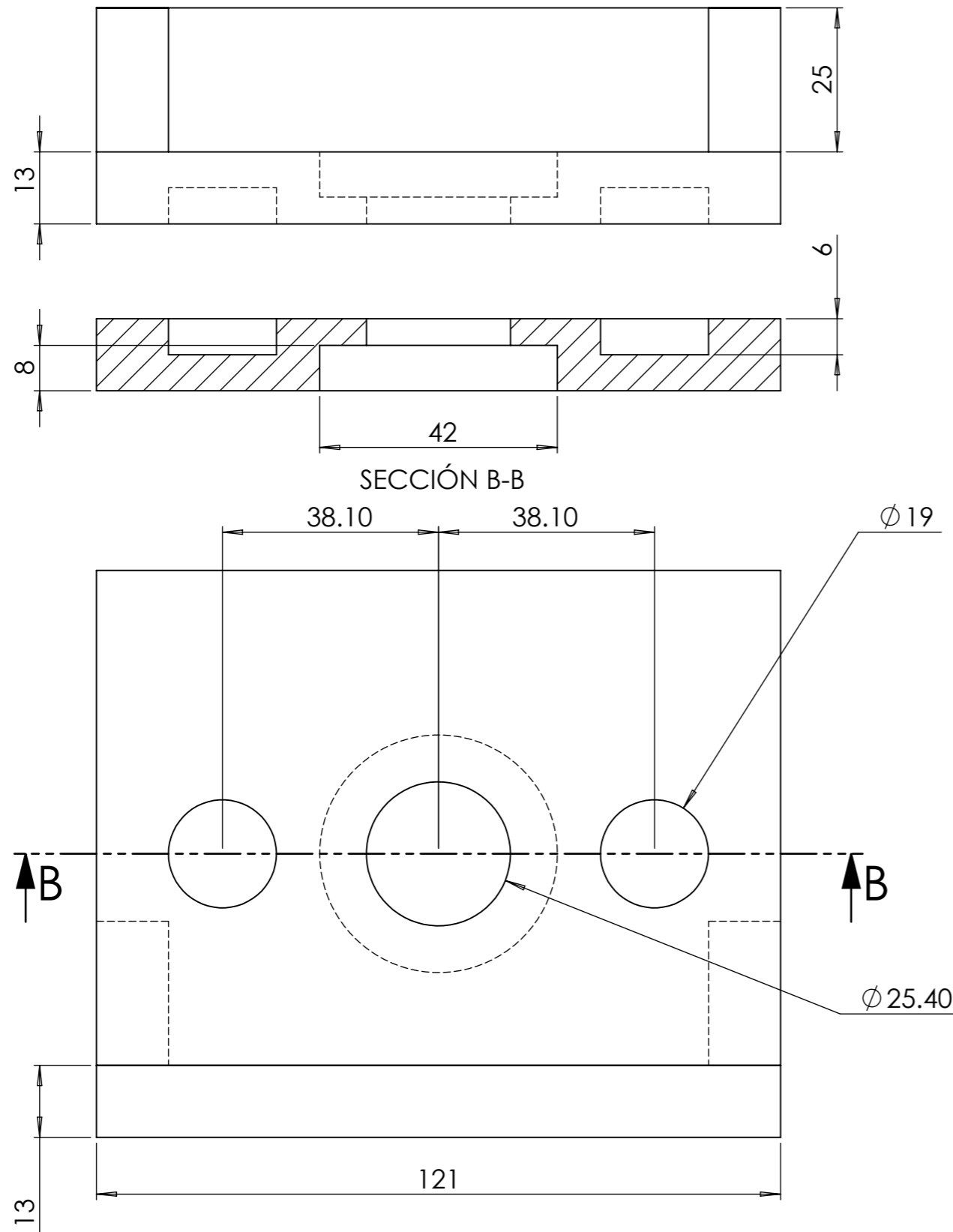
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA CORTE POR PLASMA, USANDO TECNICAS DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO	ESCALA: 1:1
DOCENTES ASESORES: ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES		ESTUDIANTES: RENÉ WILFREDO ARTIGA RIVERA GERARDO JOSUÉ BOLANOS CASTILLO ABNER ALEXIS MARTÍNEZ RIVAS ERICK GREGORIO REYES MAGAÑA	UNIDADES: Milímetros
Nº PLANO: 12 DE 25	FECHA: 13/01/2015	TUERCA EJE Y	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA CORTE POR PLASMA, USANDO TECNICAS DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO	ESCALA: 1:1
DOCENTES ASESORES: ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES		ESTUDIANTES: RENÉ WILFREDO ARTIGA RIVERA GERARDO JOSUÉ BOLANOS CASTILLO ABNER ALEXIS MARTÍNEZ RIVAS ERICK GREGORIO REYES MAGAÑA	UNIDADES: Milímetros
Nº PLANO: 13 DE 25	FECHA: 13/01/2015	TUERCA EJE Z	

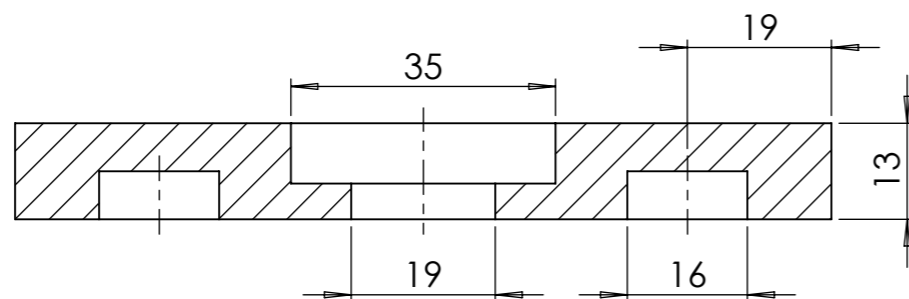
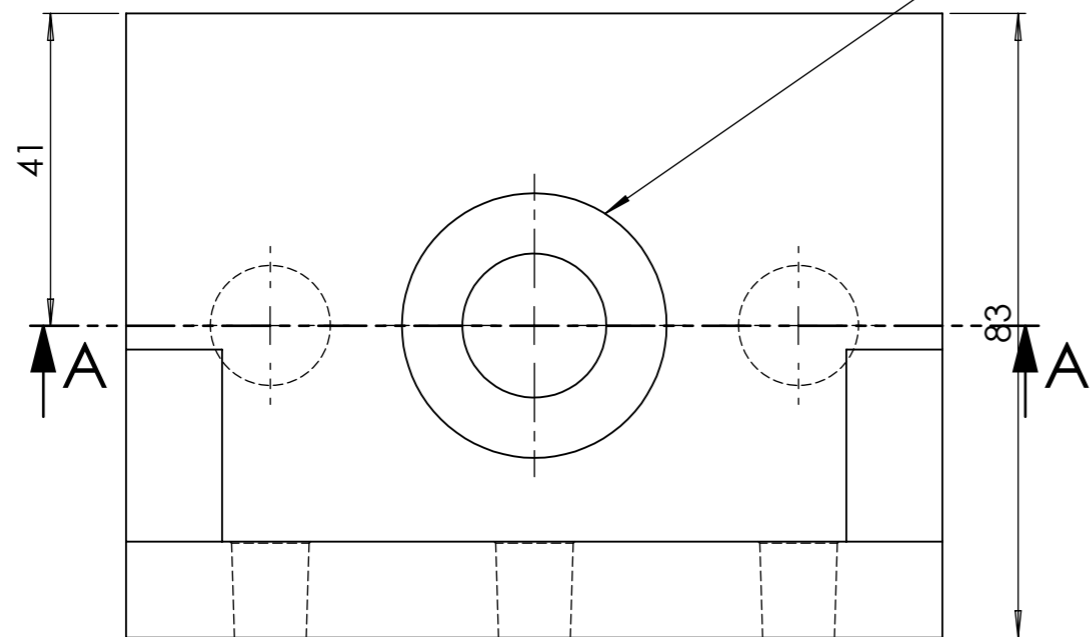
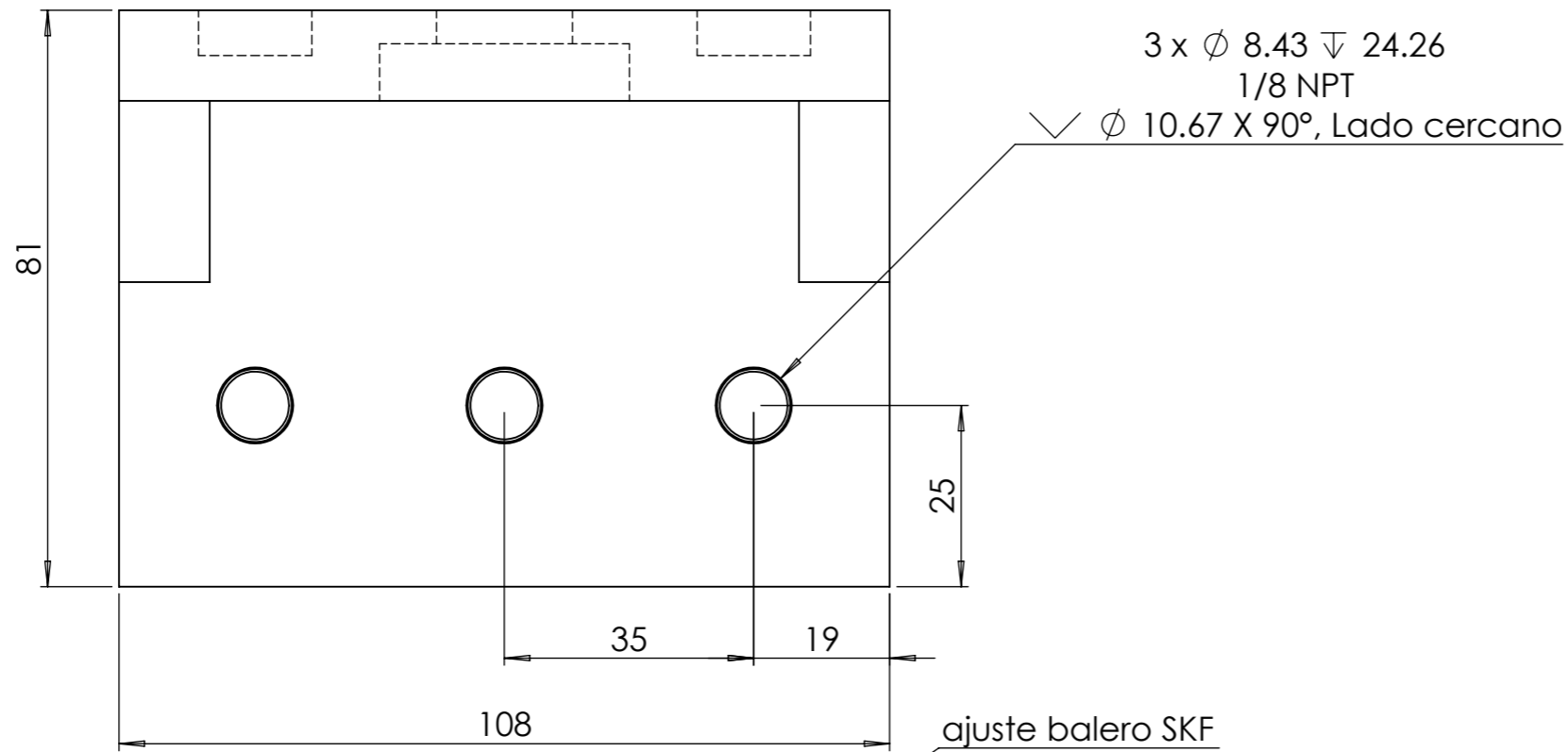


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA CORTE POR PLASMA, USANDO TECNICAS DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO	ESCALA: 1:2
DOCENTES ASESORES: ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES		ESTUDIANTES: RENÉ WILFREDO ARTIGA RIVERA GERARDO JOSUÉ BOLANOS CASTILLO ABNER ALEXIS MARTÍNEZ RIVAS ERICK GREGORIO REYES MAGAÑA	UNIDADES: Milímetros
Nº PLANO: 14 DE 25	FECHA: 13/01/2015	PORTAPISTOLA	

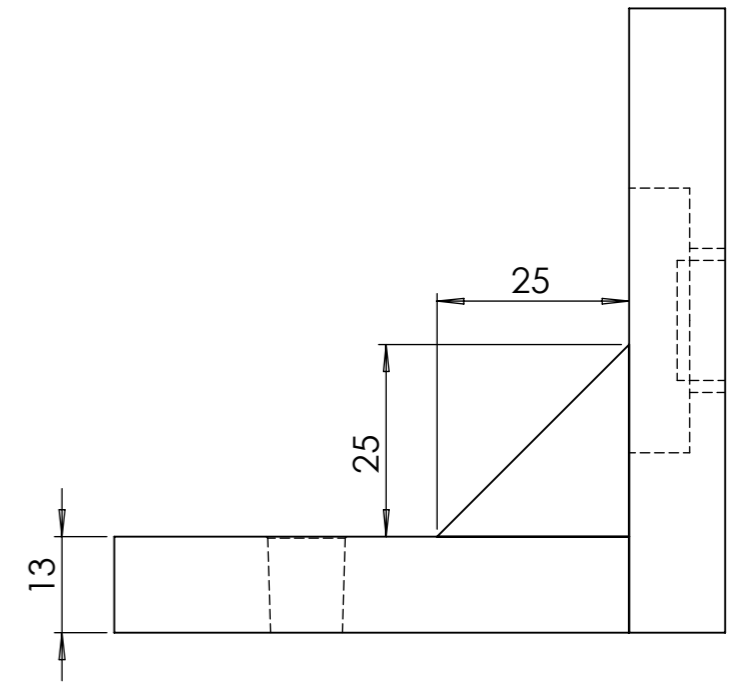


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA CORTE POR PLASMA, USANDO TECNICAS DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO	ESCALA: 1:1
DOCENTES ASESORES: ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES		ESTUDIANTES: RENÉ WILFREDO ARTIGA RIVERA GERARDO JOSUÉ BOLAÑOS CASTILLO ABNER ALEXIS MARTÍNEZ RIVAS ERICK GREGORIO REYES MAGAÑA	UNIDADES: Milímetros
Nº PLANO: 15 DE 25	FECHA: 13/01/2015	SOSTENEDOR DE TORNILLO EJE X	



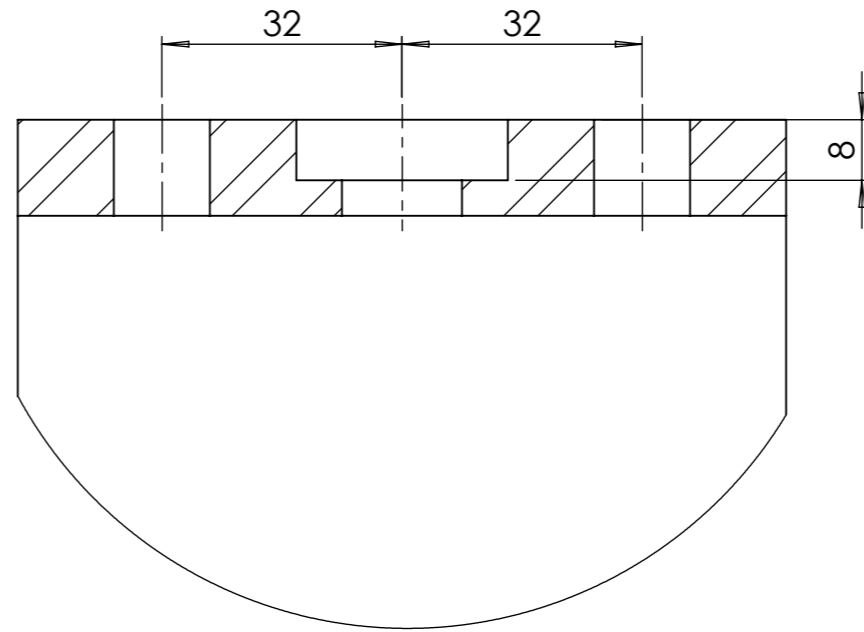
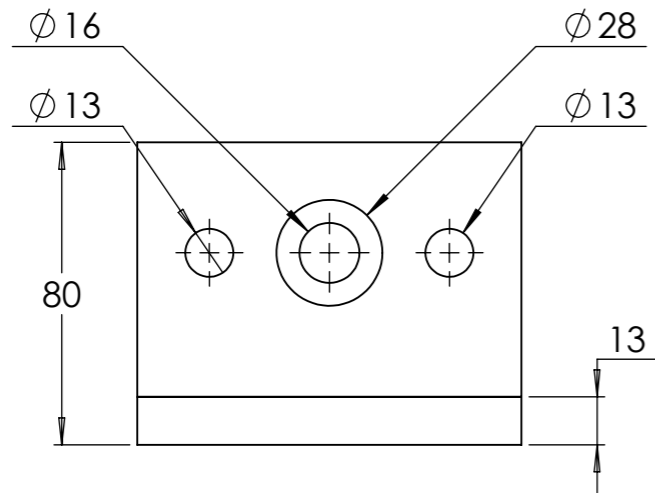


SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 1

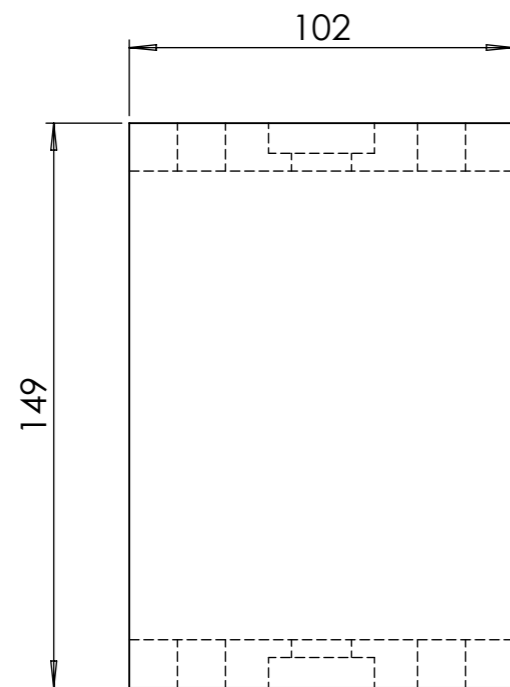


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA CORTE POR PLASMA, USANDO TECNICAS DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO	ESCALA: 1:1
DOCENTES ASESORES: ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES		ESTUDIANTES: RENÉ WILFREDO ARTIGA RIVERA GERARDO JOSUÉ BOLAÑOS CASTILLO ABNER ALEXIS MARTÍNEZ RIVAS ERICK GREGORIO REYES MAGAÑA	UNIDADES: Milímetros
Nº PLANO: 16 DE 25	FECHA: 13/01/2015	SOSTENEDOR DE TORNILLO EJE Y	

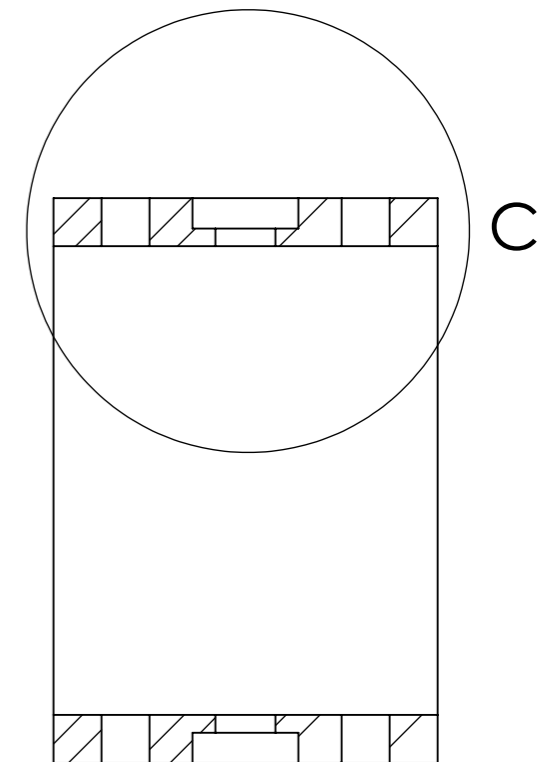
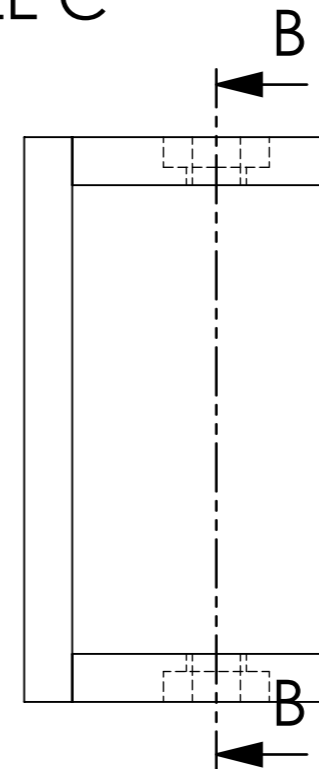




SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 2

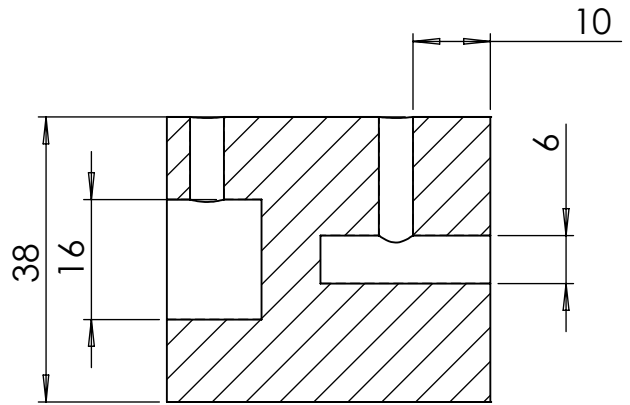
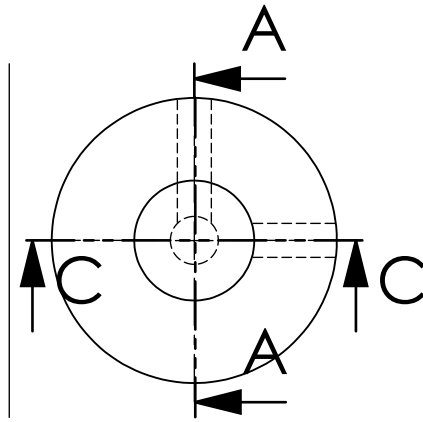


DETALLE C

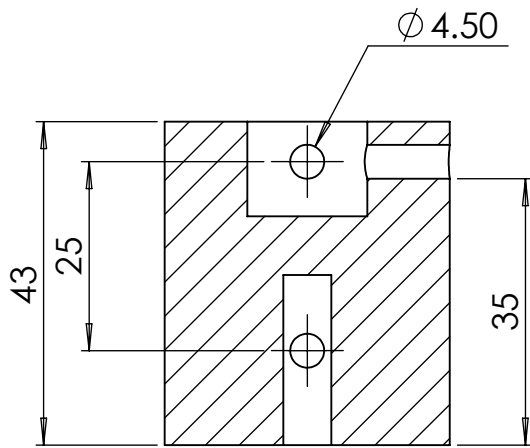


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA CORTE POR PLASMA, USANDO TECNICAS DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO	ESCALA: 1:2
DOCENTES ASESORES: ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES		ESTUDIANTES: RENÉ WILFREDO ARTIGA RIVERA GERARDO JOSUÉ BOLAÑOS CASTILLO ABNER ALEXIS MARTÍNEZ RIVAS ERICK GREGORIO REYES MAGAÑA	UNIDADES: Milímetros
Nº PLANO: 17 DE 25	FECHA: 13/01/2015	SOSTENEDOR DE TORNILLO EJE Z	



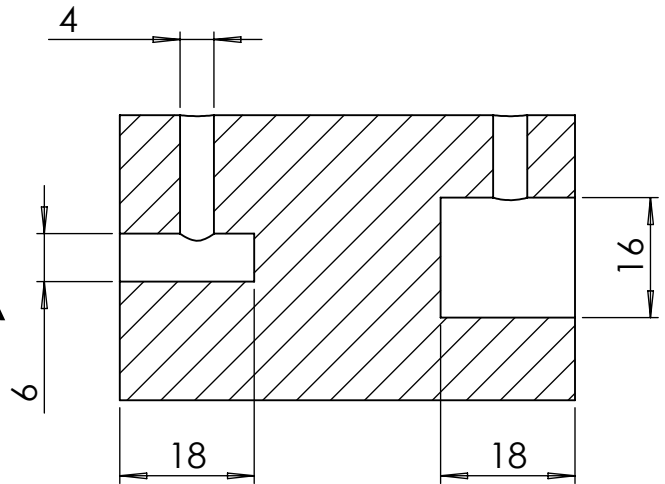
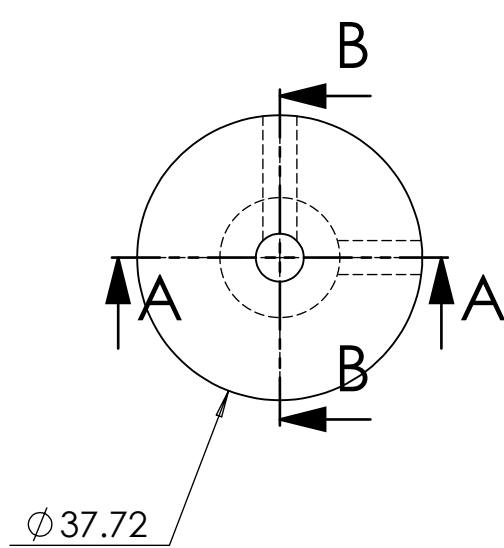


SECCIÓN A-A

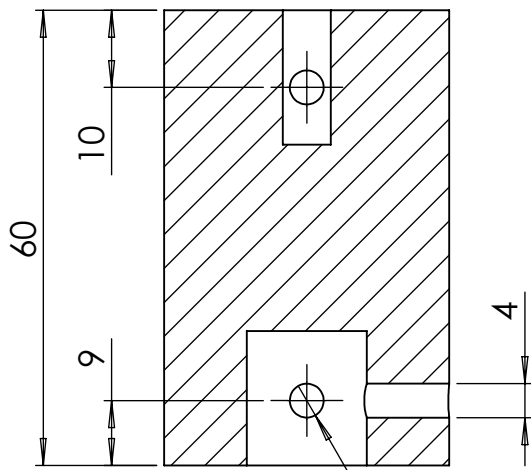


SECCIÓN C-C

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA CORTE POR PLASMA, USANDO TECNICAS DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO	ESCALA: 1:1
DOCENTES ASESORES: ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES		ESTUDIANTES: RENÉ WILFREDO ARTIGA RIVERA GERARDO JOSUÉ BOLANOS CASTILLO ABNER ALEXIS MARTÍNEZ RIVAS ERICK GREGORIO REYES MAGANA	UNIDADES: Milímetros
Nº PLANO: 18 DE 25	FECHA: 13/01/2015	ACOPLAMIENTO EJE X	



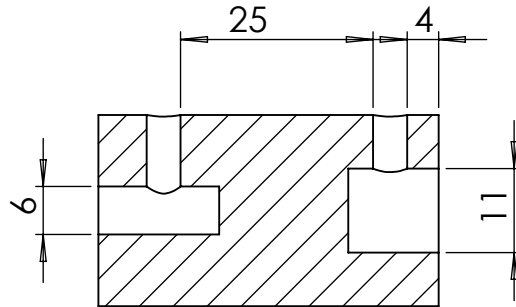
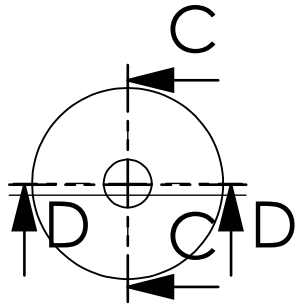
SECCIÓN B-B



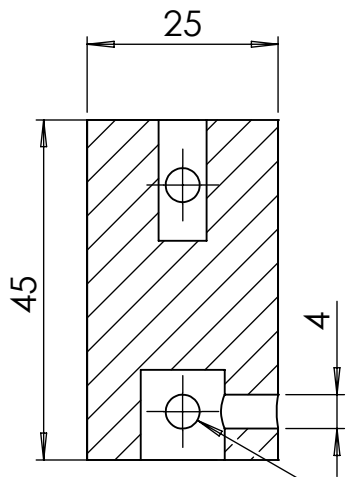
3 x $\phi 4$ HASTA EL SIGUIENTE

SECCIÓN A-A

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA CORTE POR PLASMA, USANDO TECNICAS DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO	ESCALA: 1:1
DOCENTES ASESORES: ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES		ESTUDIANTES: RENÉ WILFREDO ARTIGA RIVERA GERARDO JOSUÉ BOLANOS CASTILLO ABNER ALEXIS MARTÍNEZ RIVAS ERICK GREGORIO REYES MAGAÑA	UNIDADES: Milímetros
Nº PLANO: 19 DE 25	FECHA: 13/01/2015	ACOPLAMIENTO EJE Y	



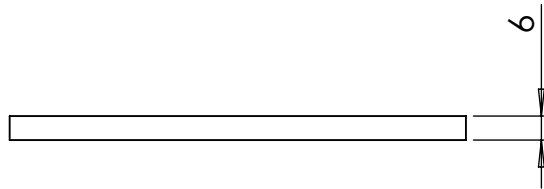
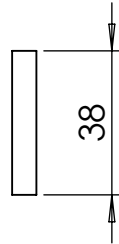
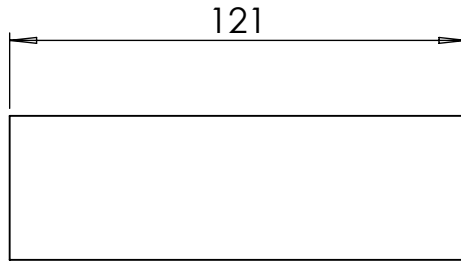
SECCIÓN C-C



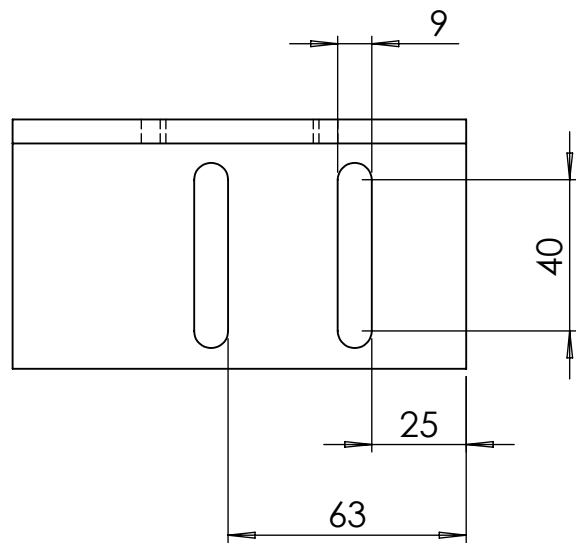
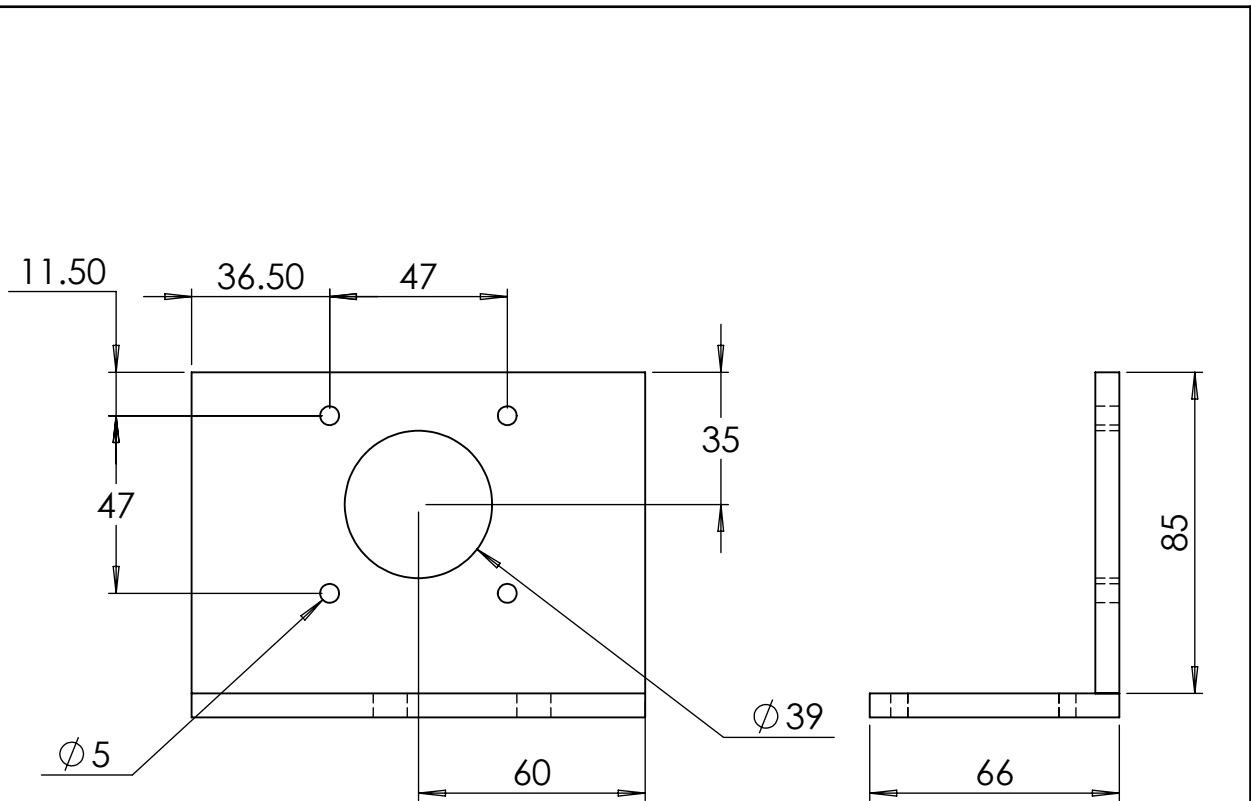
SECCIÓN D-D

3 x \varnothing 4.50 HASTA EL SIGUIENTE

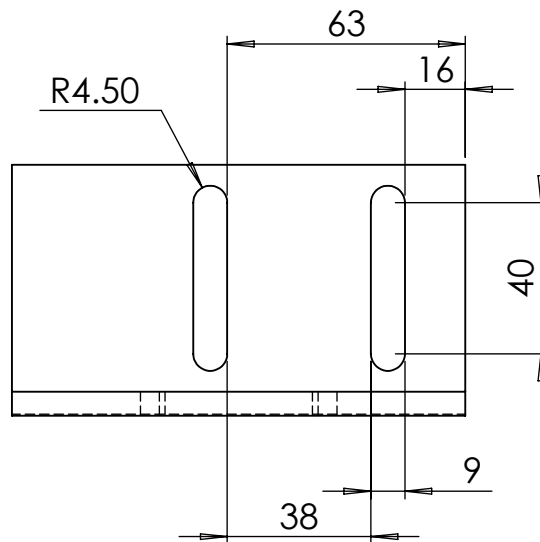
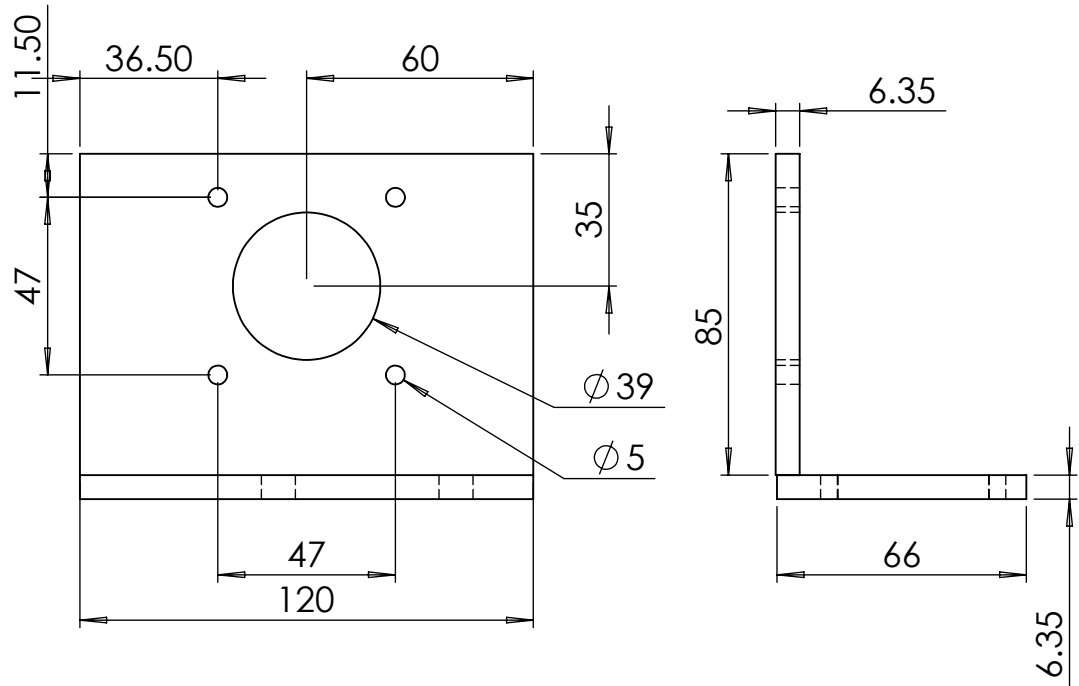
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA CORTE POR PLASMA, USANDO TECNICAS DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO	ESCALA: 1:1
DOCENTES ASESORES: ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES		ESTUDIANTES: RENÉ WILFREDO ARTIGA RIVERA GERARDO JOSUÉ BOLANOS CASTILLO ABNER ALEXIS MARTÍNEZ RIVAS ERICK GREGORIO REYES MAGANA	UNIDADES: Milímetros
Nº PLANO: 20 DE 25	FECHA: 13/01/2015	ACOPLAMIENTO EJE Z	



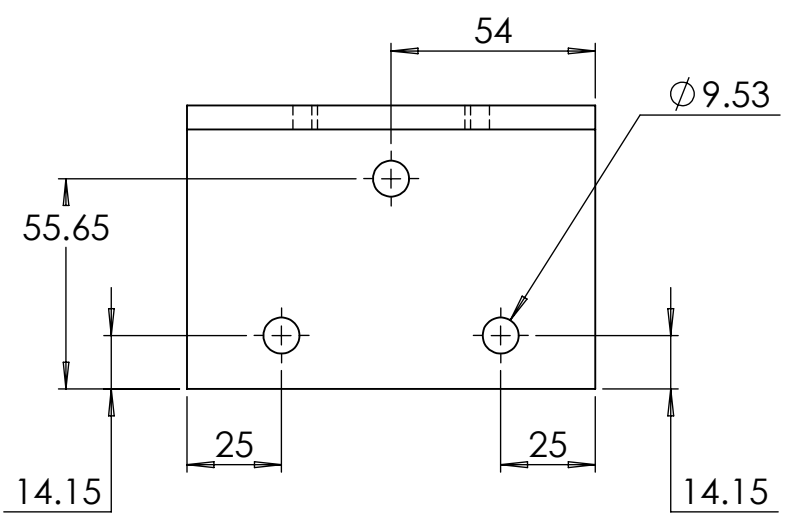
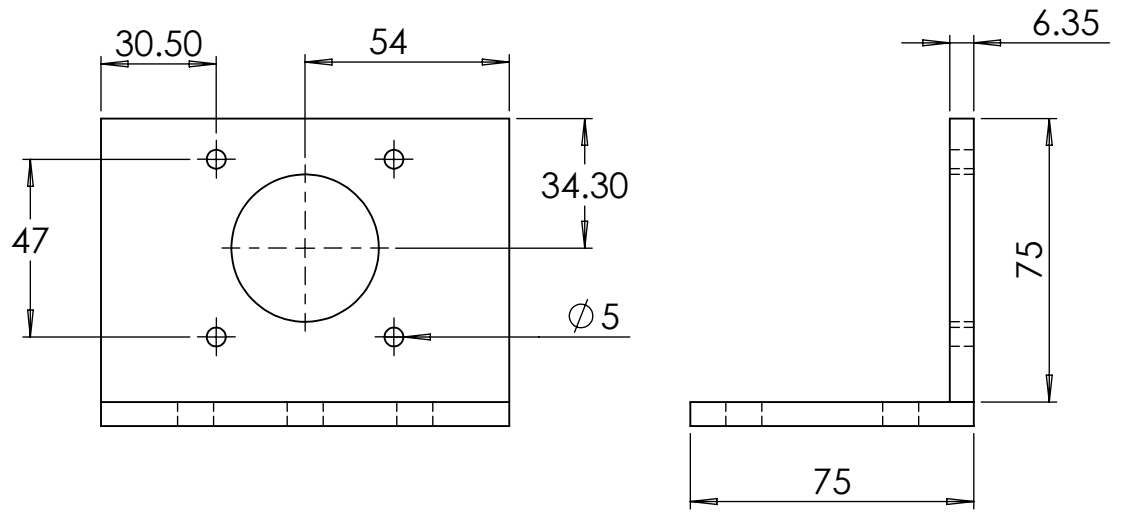
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA CORTE POR PLASMA, USANDO TECNICAS DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO	ESCALA: 1:2
DOCENTES ASESORES: ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES		ESTUDIANTES: RENÉ WILFREDO ARTIGA RIVERA GERARDO JOSUÉ BOLANOS CASTILLO ABNER ALEXIS MARTÍNEZ RIVAS ERICK GREGORIO REYES MAGANA	UNIDADES: Milímetros
Nº PLANO: 21 DE 25	FECHA: 13/01/2015	ALZAS X	



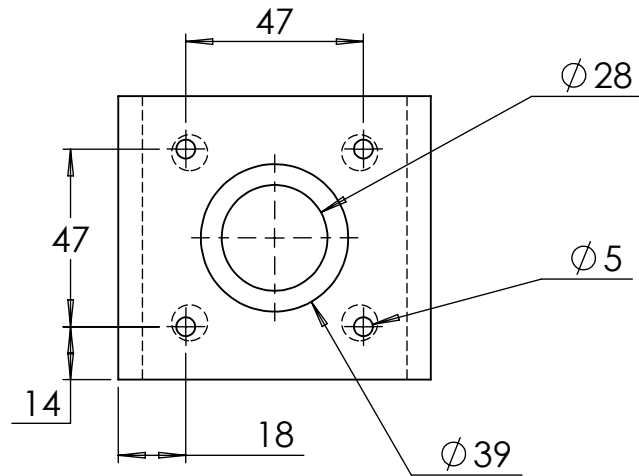
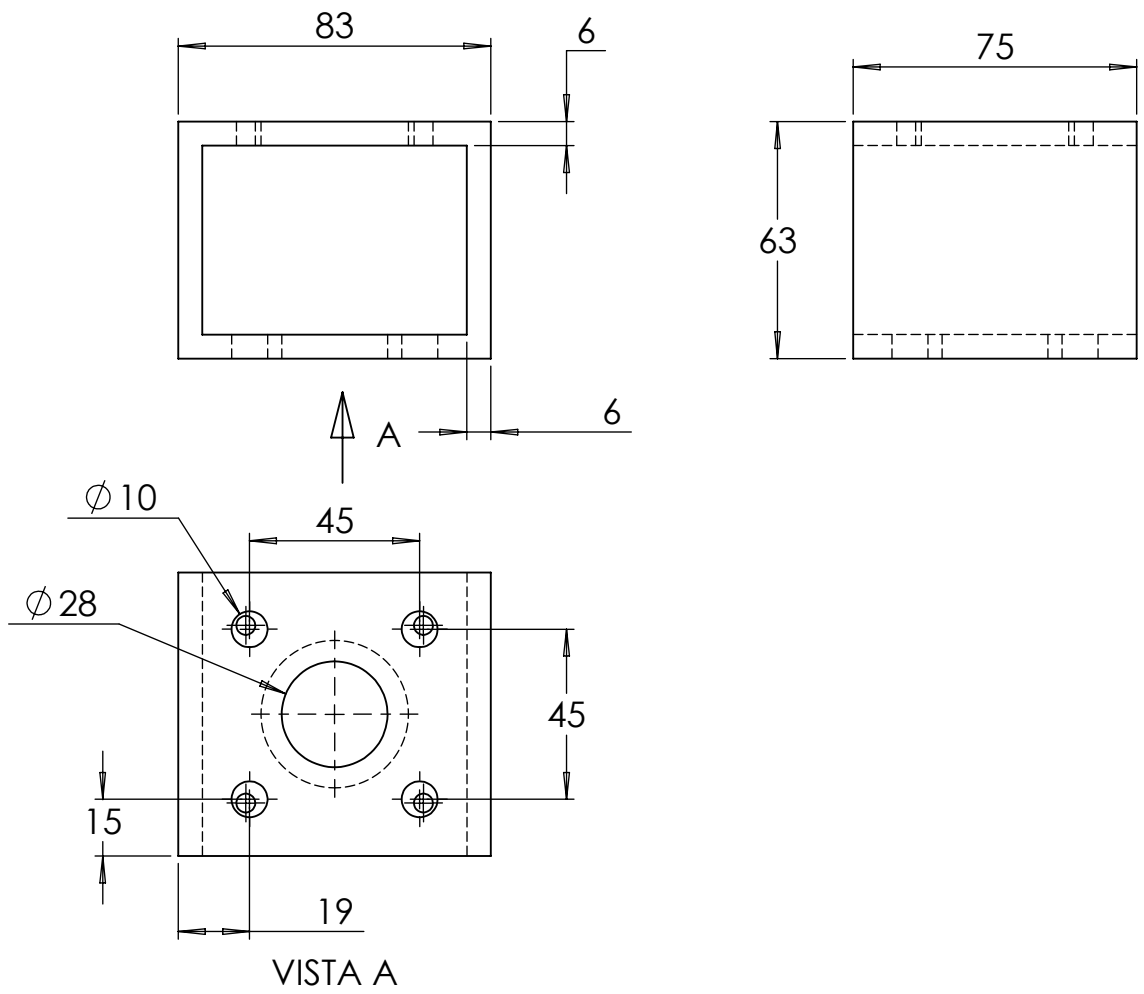
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA CORTE POR PLASMA, USANDO TECNICAS DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO	ESCALA: 1:2
DOCENTES ASESORES: ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES		ESTUDIANTES: RENÉ WILFREDO ARTIGA RIVERA GERARDO JOSUÉ BOLANOS CASTILLO ABNER ALEXIS MARTÍNEZ RIVAS ERICK GREGORIO REYES MAGAÑA	UNIDADES: Milímetros
Nº PLANO: 22 DE 25	FECHA: 13/01/2015	SOPORTE MOTOR EJE X1	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA CORTE POR PLASMA, USANDO TECNICAS DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO	ESCALA: 1:2
DOCENTES ASESORES: ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES		ESTUDIANTES: RENÉ WILFREDO ARTIGA RIVERA GERARDO JOSUÉ BOLANOS CASTILLO ABNER ALEXIS MARTÍNEZ RIVAS ERICK GREGORIO REYES MAGAÑA	UNIDADES: Milímetros
Nº PLANO: 23 DE 25	FECHA: 13/01/2015	SOPORTE MOTOR EJE X2	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA CORTE POR PLASMA, USANDO TECNICAS DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO	ESCALA: 1:2
DOCENTES ASESORES: ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES		ESTUDIANTES: RENÉ WILFREDO ARTIGA RIVERA GERARDO JOSUÉ BOLANOS CASTILLO ABNER ALEXIS MARTÍNEZ RIVAS ERICK GREGORIO REYES MAGAÑA	UNIDADES: Milímetros
Nº PLANO: 24 DE 25	FECHA: 13/01/2015	SOPORTE MOTOR EJE Y	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA CORTE POR PLASMA, USANDO TECNICAS DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO	ESCALA: 1:2
DOCENTES ASESORES: ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES		ESTUDIANTES: RENÉ WILFREDO ARTIGA RIVERA GERARDO JOSUÉ BOLANOS CASTILLO ABNER ALEXIS MARTÍNEZ RIVAS ERICK GREGORIO REYES MAGAÑA	UNIDADES: Milímetros
Nº PLANO: 25 DE 25	FECHA: 13/01/2015	SOPORTE MOTOR EJE Z	