

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN ROUTER CNC PARA CORTE POR
PLASMA A PARTIR DE ARCHIVOS DXF 2D**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MASTER (MSc.) EN
DISEÑO PRODUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

**ING. EDUARDO PATRICIO MORENO ZAPATA
edupmz@hotmail.com**

**ING. DIEGO ALEXANDER POMA ORDOÑEZ
diego_p82@hotmail.com**

DIRECTOR: ING. RICARDO SOTO MSc.

Quito, Enero 2016

DECLARACIÓN

Nosotros Eduardo Patricio Moreno Zapata y Diego Alexander Poma Ordoñez, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra propia autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Ing. Eduardo P. Moreno Z

Ing. Diego A. Poma O.

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por los ingenieros EDUARDO MORENO y DIEGO POMA, bajo mi supervisión.

Ing. Ricardo Soto MSc
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

*A Dios, por guiar mis pasos, estar junto a mí en cada momento de la vida y ser la motivación para cumplir
mis metas*

*A mis padres, Zoila Z. y Olmedo M. por el apoyo incondicional que siempre he recibido y por ser
ejemplo de seres humanos honestos, responsables y trabajadores.*

A mi novia, Ana Lucía por su comprensión, paciencia y colaboración en este proyecto

*Al Ing. Ricardo Soto, director de esta tesis por su tiempo, recomendaciones y predisposición al
momento de apoyar este proyecto.*

*Al personal docente de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional,
por los conocimientos impartidos en las aulas y fuera de ellas desde mi etapa de pregrado hasta hoy.*

Eduardo M.

*Al personal docente y administrativo de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela
Politécnica Nacional en especial al Ing. Ricardo Soto M.Sc. por los conocimientos impartidos y
su apoyo en la realización de éste proyecto.*

Diego R.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a una persona muy especial con la que he compartido buenos y malos momentos y con la que quisiera compartir el resto de mi vida, Ana Lucía L.

Eduardo M.

A la mujer más maravillosa que la vida me pudo regalar, mi esposa Viviana.

Diego R.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xvii
PRESENTACIÓN	xx
CAPÍTULO 1	1
1.1 ROBÓTICA INDUSTRIAL	1
1.1.1 CINEMÁTICA Y MECANISMOS	1
1.1.2 APLICACIONES TÍPICAS DE LOS ROBOTS INDUSTRIALES	2
1.1.2.1 Soldadura	2
1.1.2.2 Pintura	3
1.1.2.3 Ensamble de carrocerías de automóvil	4
1.1.2.4 Transporte de material	4
1.1.2.5 Mecanizado	4
1.2 MÁQUINAS DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO CNC	5
1.2.1 BREVE HISTORIA DEL CONTROL NUMERICO	6
1.2.2 TECNOLOGIA CN Y CNC	7
1.2.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN SISTEMA CNC	9
1.2.4 APLICACIONES COMUNES DEL SISTEMA CNC	9
1.2.4.1 Tornos y fresadoras (centros de torneado y centros de fresado)	10
1.2.4.2 Router o grabador	10
1.2.4.3 Cortadores por chorro de agua (Waterjet), laser (laserCut) y plasma	10
1.2.5 ARQUITECTURA FÍSICA DE UNA MÁQUINA CNC PARA CORTE POR PLASMA	13
1.3 INTEGRACIÓN CAD-CAM-CIM	15
1.3.1 SISTEMAS CAD	16
1.3.2 SISTEMAS CAM	17
1.3.2.1 Codificación para programación de un CNC	19
1.3.3 CAD/CAM EN EL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN	20

1.4	INTERCAMBIO DE DATOS CAD/CAM	23
1.4.1	TIPOS DE DATOS INTERCAMBIABLES	23
1.4.2	FORMATOS BÁSICOS NEUTRALES	24
1.4.3	ARCHIVOS DXF	24
CAPÍTULO 2	27
2.1	DEFINICIÓN DEL PRODUCTO	27
2.1.1	ESPECIFICACIONES	30
2.2	DISEÑO CONCEPTUAL	34
2.2.1	FUNCIÓN GLOBAL Y ESTRUCTURA FUNCIONAL	34
2.2.2	SOLUCIONES PARA EL MOVIMIENTO EN LOS EJES X, Y, Z.....	36
2.2.2.1	Sistema de Guiado	36
2.2.2.2	Sistema Motriz.....	39
2.2.2.3	Sistema de Transmisión de Movimiento	41
2.2.3	MATRIZ MORFOLÓGICA	44
2.2.4	EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL MOVIMIENTO DE LOS EJES X, Y, Z	45
2.2.5	SOLUCIÓN PARA EL CORTE DE la PLANCHA METÁLICA	51
2.2.5.1	Plasma.....	51
2.2.5.2	Descripción del Proceso	52
2.2.6	SELECCIÓN DE LA CORTADORA DE PLASMA	53
2.3	DISEÑO DE DETALLE	55
2.3.1	DISEÑO EJE Z.....	55
2.3.1.1	Dimensionamiento.....	55
2.3.1.2	Selección de guía lineal	58
2.3.1.3	Cálculo tornillo motriz.....	62
2.3.2	DISEÑO EJE Y	67
2.3.2.1	Dimensionamiento.....	67
2.3.2.2	Diseño de transmisión piñón – cremallera	69
2.3.2.3	Selección de guía lineal	76
2.3.2.4	Análisis estructural del pórtico	79
2.3.3	DISEÑO EJE X	83

2.3.3.1 Dimensionamiento estructural.....	83
2.3.3.2 Dimensionamiento y validación de rejilla de corte	85
2.3.3.3 Diseño de la transmisión por piñón-cremallera.....	87
2.3.3.4 Selección de guía lineal.....	90
2.3.3.5 Análisis estructural para la mesa de corte	91
2.3.3.6 Selección de apoyos regulables	94
2.3.4 REDUCTOR DE VELOCIDAD PARA MOTORES DE PASO.....	95
2.3.4.1 Mecanismo ajustador de piñón-cremallera.....	98
2.3.4.2 Diseño de ejes de transmisión	99
2.3.5 DISEÑO PLACAS BASE.....	106
2.3.6 PLANOS CONSTRUCTIVOS	107
CAPÍTULO 3.....	108
3.1 LAZOS DE CONTROL CNC	109
3.1.1 LAZO SEMICERRADO.....	109
3.1.2 LAZO CERRADO	109
3.1.3 LAZO HIBRIDO	110
3.1.4 LAZO ABIERTO	111
3.2 SELECCIÓN DE LOS MOTORES	111
3.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR PASO A PASO	111
3.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS SERVOMOTORES.....	112
3.3 CALCULO DE LA SELECCIÓN DEL MOTOR PASO A PASO	112
3.3.1 PATRÓN DE FUNCIONAMIENTO.....	112
3.3.2 NÚMERO DE PULSOS DE OPERACIÓN	113
3.3.3 VELOCIDAD DE PULSOS DE OPERACIÓN	114
3.3.4 TASA DE ACELERACIÓN/DESACELERACIÓN	114
3.3.5 CÁLCULO DEL TORQUE DE CARGA.....	115
3.3.6 TORQUE DE ACELERACIÓN	116
3.3.7 TORQUE REQUERIDO.....	117
3.4 SELECCIÓN DE LOS MOTORES PASO A PASO DEL SISTEMA CNC	117
3.4.1 TORQUE MÍNIMO Y SELECCIÓN DEL MOTOR PARA AJUSTE DE LA ALTURA DE LA ANTORCHA (EJE Z)	118

3.4.2	TORQUE MÍNIMO Y SELECCIÓN DEL MOTOR PARA EL DESPLAZAMIENTO DE LA ANTORCHA (EJE Y)	120
3.4.3	TORQUE MÍNIMO Y SELECCIÓN DE LOS MOTORES PARA EL DESPLAZAMIENTO DEL PÓRTICO (EJE X)	123
3.4.4	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MOTOR PASO A PASO SELECCIONADO PARA LOS EJES X, Y, Z	126
3.5	COMPONENTES DEL CONTROLADOR CNC.....	127
3.5.1	SELECCIÓN DE LA TARJETA BREAKOUT	128
3.5.2	SELECCIÓN DE DRIVERS DE LOS MOTORES PASO A PASO	129
3.5.3	SELECCIÓN DE LA FUENTE DE PODER.....	132
3.6	DISEÑO ELECTRÓNICO	133
3.6.1	ASIGNACIÓN DE PINES DE LA TARJETA ARDUINO MEGA 2560 135	
3.6.2	DESCRIPCIÓN DE PINES DEL DRIVER KL-5056D	135
3.6.3	CIRCUITO DE COMUNICACIÓN DEL CONTROLADOR, DRIVER, MOTORES DE PASOS Y FUENTE DE ALIMENTACIÓN	137
3.6.4	CIRCUITO DE COMUNICACIÓN DEL PLASMA POWERCUT 1300 Y EL CONTROLADOR DEL PLASMA	137
CAPÍTULO 4	139
4.1	COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA.....	139
4.1.1	COSTOS DIRECTOS	139
4.1.1.1	Costos de materiales utilizados	140
4.1.1.2	Costo de componentes mecánicos	140
4.1.1.3	Costo de componentes electrónicos.....	141
4.1.1.4	Costos directos totales	142
4.1.2	COSTOS INDIRECTOS	142
4.1.2.1	Costos de ingeniería	142
4.1.2.2	Otros gastos	143
4.1.2.3	Costos indirectos totales	143
4.1.3	COSTO TOTAL DE LA MÁQUINA	143
4.1.4	PRECIO DE VENTA PLASMA CNC.....	144
CAPÍTULO 5	145

5.1	REQUERIMIENTOS DEL PROGRAMA CAM.....	146
5.2	ALGORITMO PARA DETECCIÓN DE ARCHIVOS DXF	146
5.3	ALGORITMO PARA GENERACIÓN DE CODIGOS G.....	147
5.4	INTERFÁZ GRAFICA DEL USUARIO GUI PARA EL PROGRAMA DESARROLLADO	150
5.5	VERIFICACIÓN Y PRUEBAS	151
5.6	SIMULACIÓN	158
5.6.1	CIRCUITO DE CONEXIONADO IMPLEMENTADO PARA LA SIMULACIÓN	158
5.6.2	EJECUCIÓN DE LA SIMULACIÓN.....	160
CAPÍTULO 6	167
6.1	CONCLUSIONES	167
6.2	RECOMENDACIONES.....	168

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Configuraciones típicas de robots industriales	2
Tabla 1.2 Procedimiento para programación CNC.....	20
Tabla 1.3 Herramientas CAM para el proceso de fabricación.....	22
Tabla 1.4 Herramientas CAD para el proceso de diseño.....	22
Tabla 1.5 Identificadores para la sección ENTIDADES de archivos DXF.....	26
Tabla 2.1 Especificaciones técnicas de la máquina.....	33
Tabla 2.2 Ventajas y desventajas del sistema de guiado con eje de precisión y buje con rodamientos lineales de bolas	37
Tabla 2.3 Ventajas y desventajas del sistema de guiado con riel y carro con hileras de rodamientos de bolas	38
Tabla 2.4 Ventajas y desventajas del sistema de guiado con rodillos perfilados	39
Tabla 2.5 Ventajas y desventajas de los servomotores.....	40
Tabla 2.6 Ventajas y desventajas de los motores PaP	41
Tabla 2.7 Ventajas y desventajas de un husillo ACME	42
Tabla 2.8 Ventajas y desventajas de un husillo de bolas.....	43
Tabla 2.9 Ventajas y desventajas del mecanismo piñón- cremallera	43
Tabla 2.10 Matriz morfológica.....	44
Tabla 2.11 Evaluación del peso específico de cada criterio	45
Tabla 2.12 Evaluación del peso específico del criterio <i>precisión</i> para el eje X	46
Tabla 2.13 Evaluación del peso específico del criterio <i>facilidad de montaje</i> para el..	46
Tabla 2.14 Evaluación del peso específico del criterio <i>fiabilidad</i> para el eje X	46
Tabla 2.15 Evaluación del peso específico del criterio <i>Bajo Costo</i> para el eje X.....	47
Tabla 2.16 Evaluación del peso específico del criterio <i>precisión</i> para el eje Y	47
Tabla 2.17 Evaluación del peso específico del criterio <i>facilidad de montaje</i> para el..	48
Tabla 2.18 Evaluación del peso específico del criterio <i>fiabilidad</i> para el eje Y	48
Tabla 2.19 Evaluación del peso específico del criterio <i>Bajo Costo</i> para el eje Y	48
Tabla 2.20 Evaluación del peso específico del criterio <i>precisión</i> para el eje Z.....	49
Tabla 2.21 Evaluación del peso específico del criterio <i>facilidad de montaje</i> para el..	49
Tabla 2.22 Evaluación del peso específico del criterio <i>fiabilidad</i> para el eje Z.....	49
Tabla 2.23 Evaluación del peso específico del criterio <i>Bajo Costo</i> para el eje Z.....	50
Tabla 2.24 Velocidad de corte recomendada POWERCUT 1300 ESAB	54
Tabla 2.25 Ecuaciones para cálculo de cargas sobre guías lineales	59

Tabla 2.26 Peso de componentes EJE Z – selección de guía	61
Tabla 2.27 Selección de tamaño de guía lineal para EJE Z.....	62
Tabla 2.28 Ecuaciones para cálculo de tornillos de potencia.....	62
Tabla 2.29 Peso de componentes EJE Z – cálculo de tornillo.....	65
Tabla 2.30 Cálculo de características de tornillo y tuerca	66
Tabla 2.31 Ecuaciones para cálculo de engranes rectos	70
Tabla 2.32 Hoja de cálculo para la geometría de piñón y cremallera, EJE Y	72
Tabla 2.33 Peso de componentes EJE Z – Transmisión piñón cremallera.....	73
Tabla 2.34 Velocidad de corte por plasma de máquinas comercializadas localmente..	74
Tabla 2.35 Hoja de cálculo para la fuerza tangencial y factor de seguridad de transmisión	75
Tabla 2.36 Fuerzas sobre el eje Z y momentos generados	77
Tabla 2.37 Fuerzas sobre el eje Y y momentos generados.....	77
Tabla 2.38 Cálculo de cargas sobre las guías lineales para el EJE Y	78
Tabla 2.39 Selección de tamaño de guía lineal para EJE Y	78
Tabla 2.40 Cargas sobre el Pórtico	80
Tabla 2.41 Selección del número de placas.....	85
Tabla 2.42 Factor de seguridad por pandeo en función.....	86
Tabla 2.43 Características geométricas para piñón y cremallera del EJE X	87
Tabla 2.44 Peso de componentes sobre la guía lineal para el eje X	88
Tabla 2.45 Hoja de cálculo para la fuerza tangencial y factor de seguridad de transmisión piñón cremallera, EJE X	89
Tabla 2.46 Cargas sobre cada guía lineal para el EJE X	90
Tabla 2.47 Selección de tamaño de guía lineal para EJE X	90
Tabla 2.48 Cargas sobre la mesa de corte	91
Tabla 2.49 Cálculo de esfuerzos en pies de apoyo de altura regulable	94
Tabla 2.50 Ecuaciones para el diseño de ejes.....	100
Tabla 2.51 Cálculo de cargas sobre el eje para la transmisión del EJE X.....	102
Tabla 2.52 Cálculo del diámetro para cada sección del eje. Transmisión EJE X.....	103
Tabla 2.53 Cálculo de cargas sobre el eje para la transmisión del EJE X.....	104
Tabla 2.54 Cálculo del diámetro para cada sección del eje. Transmisión EJE Y.....	105
Tabla 2.55 Cargas sobre las placas EJE Z	106
Tabla 3.1 Cálculo de Torque de Carga para correas transportadoras o piñón cremallera	115

Tabla 3.2 Cálculo de Torque de Carga para Tornillo	116
Tabla 3.3 Requerimientos para selección de los Motores Paso a Paso	117
Tabla 3.4 Requerimientos de movimientos para la selección del motor (eje Z)	118
Tabla 3.5 Hoja de Cálculo para el dimensionamiento del motor del eje Z	119
Tabla 3.6 Requerimientos de movimiento para la selección del motor (eje Y)	121
Tabla 3.7 Hoja de cálculo para el dimensionamiento del motor del eje Y	122
Tabla 3.8 Requerimientos de movimiento para la selección del motor del eje X	124
Tabla 3.9 Hoja de cálculo para el dimensionamiento del motor (eje X)	125
Tabla 3.10 Especificaciones del Motor KL23H2100-50-4B.....	127
Tabla 3.11 Especificaciones técnicas del ARDUINO 2560	129
Tabla 3.12 Especificaciones Eléctricas de KL-5056D	131
Tabla 3.13 Parámetros eléctricos de los motores para los ejes X, Y y Z	132
Tabla 3.14 Lista de componentes del Sistema de Control.....	134
Tabla 3.15 Tabla de asignación y descripción de pines del micro controlador	135
Tabla 3.16 Descripción de los Pines del Driver KL-5056D	136
Tabla 4.1. Costo de materiales e insumos	140
Tabla 4.2. Costo de componentes mecánicos	141
Tabla 4.3. Costo de componentes electrónicos.....	141
Tabla 4.4. Total costos directos	142
Tabla 4.5. Costos de ingeniería	142
Tabla 4.6. Total costos indirectos	143
Tabla 4.7. Costo total de la máquina CNC para corte por plasma.....	143
Tabla 4.8. Precio de venta al público de la máquina CNC para corte por plasma	144
Tabla 5.1 Validación del ejemplo 1	154
Tabla 5.2 Validación del ejemplo 2	155
Tabla 5.3 Validación del ejemplo 3	157
Tabla 5.4. Principales componentes del circuito de conexonado del sistema de control y sus librerías equivalentes de ISIS PROTEUS 7	160

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Robot de Soldadura con su sensor de guía.....	3
Figura 1.2 Robots de Pintura.....	3
Figura 1.3 Ensamble de carrocerías de vehículos	4
Figura 1.4. Mecanizado por robot de 6 grados de libertad.....	5
Figura 1.5 Esquema de una máquina CNC de cinco ejes (a) y tres ejes (b).....	6
Figura 1.6 Flujo de procesamiento de una máquina CNC	8
Figura 1.7 Antorcha para corte por plasma en máquina CNC	11
Figura 1.8 Controlador de altura de Antorcha (THC).....	12
Figura 1.9 Componentes de un plasma CNC	13
Figura 1.10 Varios ejemplos de componentes de rieles redondos.....	14
Figura 1.11 Ejemplos de Rieles de perfil.	14
Figura 1.12 Control electrónico de un sistema CNC de tres ejes.....	15
Figura 1.13 Generación de códigos g y simulación de trayectoria en mach 3	18
Figura 1.14 Pos procesamiento y simulación de programación CN de NX CAM.....	19
Figura 1.15 Ciclo de un producto típico.....	21
Figura 1.16 Intercambio de archivos CAD.....	23
Figura 1.17 Identificación de líneas y arcos en archivos DXF.....	26
Figura 2.1 Modelos de cortadores de plasma CNC para PYMES.....	28
Figura 2.2 Modelos de cortadores de plasma CNC para la industria pesada	30
Figura 2.3 Casa de la calidad aplicada para definición de especificaciones de la máquina CNC para corte por plasma.....	31
Figura 2.4. Función Global de la cortadora de Plasma CNC	34
Figura 2.5. Estructura Funcional para los dos modos de operación que tendrá la cortadora CNC.....	35
Figura 2.6. División modular del segundo modo de operación.....	35
Figura 2.7. Estructura Funcional para movimiento lineal de los ejes	36
Figura 2.8 Rodamientos lineales de bolas y eje	37
Figura 2.9 Riel y carro o guía deslizante.....	37
Figura 2.10 Guía lineal con rodillos perfilados	38
Figura 2.11 Esquema básico para servomotores	40
Figura 2.12 Husillo ACME y tuerca	41

Figura 2.13 Husillo de bolas.....	42
Figura 2.14 Mecanismo Piñón – cremallera.....	43
Figura 2.15 Esquema unificado de alternativa seleccionada.....	50
Figura 2.16. Los cuatro estados de la materia	52
Figura 2.17. Circuito básico de la antorcha para arco de plasma	52
Figura 2.18. Equipo ESAB para corte por plasma	53
Figura 2.19 Esquema para EJE Z	55
Figura 2.20 Antorcha PT37 ESAB para máquinas automáticas.....	56
Figura 2.21 (a) Dimensiones de antorcha PT37 (b) Área disponible para el montaje .	56
Figura 2.22 Dimensionamiento eje Z	57
Figura 2.23 Geometría definida para el eje Z.....	57
Figura 2.24 Cargas y momentos que actúan sobre los sistemas de movimiento lineal	58
Figura 2.25 Guía lineal para el eje Z, Modelo HSR-R.....	60
Figura 2.26 Esquema para EJE Y.....	67
Figura 2.27 Dimensionamiento EJE Y, vista frontal.....	68
Figura 2.28 Dimensionamiento EJE Y, vista lateral	68
Figura 2.29 Transmisión piñón – cremallera.....	69
Figura 2.30 Guía lineal para el eje Y, Modelo HSR-B	76
Figura 2.31 DCL para cálculo de cargas sobre guías lineales.....	76
Figura 2.32 Convergencia de la solución para el pórtico correspondiente al EJE Y ...	80
Figura 2.33 Resultados de tensiones y esfuerzos de von Mises para el pórtico	81
Figura 2.34 Resultados de deformaciones para el pórtico.....	81
Figura 2.35 Resultado del factor de seguridad para el pórtico	82
Figura 2.36 Dimensionamiento EJE X, vista frontal.....	83
Figura 2.37 Dimensionamiento Eje X, vista lateral	84
Figura 2.38 Esquema para rejilla de corte, vista lateral	85
Figura 2.39 Esquema para rejilla de corte, vista frontal.....	85
Figura 2.40 Análisis de Pandeo Solid Works.....	86
Figura 2.41 Esfuerzos axiales.....	93
Figura 2.42 Deformación	93
Figura 2.43 Factor de seguridad para los elementos de la estructura.....	93
Figura 2.44 Geometría de una transmisión por correa de sincronización	95
Figura 2.45 Selección del tipo de correa dentada.....	96
Figura 2.46 Dimensionamiento de poleas y correa dentada.....	97

Figura 2.47 Transmisión Eje X	98
Figura 2.48 Transmisión Eje Y	98
Figura 2.49 (a) Dimensiones propuestas para el eje en EJE X, (b) Dimensiones propuestas para el eje del EJE Y	99
Figura 2.50 Resistencia a la fatiga Sn en función de la resistencia a la tensión.....	101
Figura 2.51 DCL para el eje de la transmisión del EJE X.....	102
Figura 2.52 Diagrama de cortante y momento flector en X y Z para el eje de la transmisión EJE X.....	103
Figura 2.53 DCL para el eje de la transmisión del EJE Y.....	104
Figura 2.54 Diagrama de cortante y momento flector en X y Y para el eje de la transmisión EJE Y	105
Figura 2.55 Simulación para esfuerzos, deformaciones y factor de seguridad para placas correspondientes al EJE Z	107
Figura 3.1 Arquitectura de una máquina CNC y el flujo de operación de maquinado	108
Figura 3.2 Lazo de Control Semicerrado	109
Figura 3.3 Lazo Cerrado.....	110
Figura 3.4 Lazo Híbrido.	111
Figura 3.5 Operación Aceleración/Desaceleración	113
Figura 3.6 Operación arranque parada	113
Figura 3.7 Tasa de aceleración/desaceleración	115
Figura 3.8 Curva característica de Torque versus Velocidad del motor para el eje Z	120
Figura 3.9 Curva característica de Torque versus Velocidad del motor para el eje Y	123
Figura 3.10. Curva característica de Torque versus Velocidad del motor para el eje X	126
Figura 3.11 Motor paso a paso KL23H2100-50-4B.....	126
Figura 3.12 Componentes del Controlador CNC	128
Figura 3.13 Tarjeta ARDUINO MEGA 2560	129
Figura 3.14 Driver Keling Technology KL-5056D.....	130
Figura 3.15 Arquitectura del Sistema de Control de la máquina de plasma CNC	133
Figura 3.16 Esquema de la Arquitectura de Control	134
Figura 3.17 Conexión típica del sistema de control de los motores de pasos	137
Figura 3.18 Conexión de la interfaz CNC	138
Figura 3.19 Diagrama de interfaz de corte mecánico – conexión de la interfaz CNC	138
Figura 5.1 Esquema de la arquitectura para el software de la máquina	145

Figura 5.2 Diagrama de flujo para la función <i>f_LectDxf</i>	147
Figura 5.3 Estructura de matriz normalizada de elementos	148
Figura 5.4 Diagrama de flujo para generación de Códigos G “Plasma CNC”	149
Figura 5.5 Pantalla de inicio programa PLASMA CNC v1.0	150
Figura 5.6 Interfaz de usuario programa PLASMA CNC v1.0.....	151
Figura 5.7 Generación de código G para ejemplo1	153
Figura 5.8 Generación de código G para ejemplo1	153
Figura 5.9 Perfil 2D correspondiente al ejemplo 2	154
Figura 5.10. Generación de código G para ejemplo2.....	155
Figura 5.11 Perfil 2D correspondiente al ejemplo 3	156
Figura 5.12. Generación de código G para ejemplo3	156
Figura 5.13 Integración de software para la simulación.....	158
Figura 5.14. Diagrama de conexionado desarrollado en ISIS PROTEUS 7	159
Figura 5.15. Ventana principal VSPE y creación de nuevo puerto de conexión.....	161
Figura 5.16. Especificación del tipo de conexión serial.....	161
Figura 5.17. Ventana principal de VSPE que muestra la conexión virtual ya configurada	162
Figura 5.18. Circuito de conexionado desarrollado en ISIS PROTEUS.....	162
Figura 5.19. Configuración del controlador ARDUINO UNO R3	163
Figura 5.20. Sistema depurado y listo para iniciar comunicación.....	163
Figura 5.21. Selección del puerto de comunicación <i>COM2</i>	164
Figura 5.22. Selección del Código G.....	164
Figura 5.23. Apertura del puerto de conexión <i>COM2</i> y visualización del modelo	165
Figura 5.24 Configuración de la velocidad para los ejes X, Y, Z	165
Figura 5.25. Simulación de la máquina de plasma CNC.....	166

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO I	
Especificaciones del plasma POWERCUT 1300 de ESAB	176
ANEXO II	
Tipos de guías lineales de la marca THK y aplicaciones	177
ANEXO III	
Características del modelo HSR-R y HSR-B	178
ANEXO IV	
Características de apoyos articulados	179
ANEXO V	
Planos constructivos	180
ANEXO VI	
Especificaciones Motor de pasos para ejes X, Y, Z	181
ANEXO IV	
Características driver motor de pasos	182
ANEXO IV	
Especificaciones fuente de alimentación	183
ANEXO IV	
Ejemplos resueltos en “Plasma CNC v 1.0”	185
ANEXO ELECTRÓNICO	
Programación aplicación “Plasma CNC v1.0”	

RESUMEN

El presente proyecto tiene como propósito diseñar una máquina CNC para corte por plasma, dimensionar y definir todos los elementos mecánicos y electrónicos para su funcionamiento así como también desarrollar un programa CAM para generación de códigos G a partir de archivos CAD en formato DXF 2D. Adicionalmente, validar tanto el conexionado, los diferentes componentes que conforma el sistema CNC así como también los códigos G generados por el programa CAM desarrollado mediante una simulación de la trayectoria de corte.

En el primer capítulo se realiza una breve revisión de algunos temas relacionados con este proyecto en lo concerniente a robótica industrial, sistemas CNC e integración CAD-CAM-CIM.

En el segundo capítulo se presenta el diseño mecánico de la máquina, iniciando por la definición del producto para establecer las especificaciones de la máquina. Seguidamente, el diseño conceptual, que no es más que definir la estructura funcional de la máquina así como también plantear y seleccionar las alternativas o soluciones constructivas en base a algunos criterios de evaluación. Posteriormente, se efectúa el diseño de detalle en donde se realiza el dimensionamiento y selección de los diferentes componentes mecánicos obteniéndose finalmente los planos constructivos de la máquina.

En el tercer capítulo se desarrolla el diseño electrónico donde se seleccionan y establecen los diferentes componentes electrónicos hasta conformar el diagrama de conexionado de los mismos.

En el cuarto capítulo se revisan los costos que implicarían en una posible construcción de la máquina considerando tanto los costos directos como la materia prima y mano de obra directa así mismo también los costos indirectos que para este caso corresponden a los costos por ingeniería.

En el capítulo quinto se desarrolla el programa CAM “Plasma CNC v1.0” que mediante la programación e interfaz gráfica del usuario realizada en MATLAB permite cargar un archivo DXF con la forma o perfil a cortar, introducir ciertos

parámetros y generar automáticamente la trayectoria e instrucciones de corte denominadas códigos G que posteriormente son cargados a la tarjeta controladora la misma que interpreta la información y envía señales de control hacia los drivers de los motores para generar el movimiento. Para la validación tanto del conexionado electrónico como de los códigos G generados por el programa "Plasma CNC v1.0" para algunos ejemplos se ha propuesto una co-simulación donde intervienen algunos software que en conjunto demuestran la interfaz computadora – máquina CNC.

Finalmente, en el capítulo seis se exponen las conclusiones y recomendaciones como resultado de la realización del proyecto

PRESENTACIÓN

En la actualidad la industria metalmecánica en el país se encuentra en una constante búsqueda y renovación de sus productos y servicios, lo que va de la mano con una permanente innovación de los procesos de producción o fabricación con la finalidad de ser más competitivos y obtener mayor rentabilidad económica. Sin embargo la pequeña industria se ve limitada a disponer de equipos modernos debido a su alto costo y en algunos casos a su altísima capacidad de producción propia de las tecnologías del primer mundo.

Es ese sentido, es responsabilidad de nosotros los profesionales generar nueva tecnología, investigando y diseñando productos que cumplan los estándares internacionales y a un costo moderado de manera que tengamos una alternativa local al momento de querer adquirirlos.

Por tal motivo y con un espíritu de desarrollo de ingeniería, universitario y profesional, enfocados en la mediana y pequeña industria del sector metalmecánico, se plantea hacer el diseño mecánico, sistema de control y simulación de una plasma CNC, que tenga similares características a las máquinas automáticas que se encuentran en el mercado internacional.

Adicionalmente se presenta el desarrollo de un programa CAM que permite extraer las características de modelos realizados en archivos CAD – formato DXF – tomar la información de las diversas entidades que componen el modelo y generar un código en formato estándar o códigos G para que el plasma CNC realice los diferentes movimientos y operaciones.

Este proyecto es el primer paso en el desarrollo de este tipo de máquinas herramientas encaminadas a mejorar los procesos de fabricación de la mediana y pequeña empresa y constituye un aporte para el desarrollo de futuros trabajos en lo que tiene que ver con máquinas CNC y creación de software para la integración CAD-CAM-CIM.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 ROBÓTICA INDUSTRIAL

Los Robots Industriales son considerados como la piedra angular de la manufactura competitiva, que tiene como objetivo combinar una alta productividad, calidad y capacidad de adaptación a un costo mínimo¹.

Básicamente un robot industrial es un manipulador de objetos, es decir un dispositivo mecánico formado generalmente por elementos en serie llamados eslabones que están articulados entre sí, destinado a la sujeción y desplazamiento de objetos.

1.1.1 CINEMÁTICA Y MECANISMOS

Las configuraciones más comunes de los robots industriales son:

- Configuración cartesiana: Está conformado por tres articulaciones prismáticas que le dan tres grados de libertad.
- Configuración cilíndrica: Posee una articulación de rotación y dos prismáticas.
- Configuración angular: Está conformado por tres articulaciones de rotación.
- Configuración polar: Se caracteriza por tener dos articulaciones de rotación y una prismática.
- Configuración SCARA: Posee dos articulaciones de rotación sobre dos ejes paralelos y una de desplazamiento.
- Configuración paralelo: Son cadenas cinemáticas cerradas cuyo órgano terminal o plataforma móvil, está conectado a la base mediante varias cadenas cinemáticas seriales independientes².

La selección del mecanismo y sus propiedades cinemáticas depende de requisitos tales como carga útil, tamaño, espacio de trabajo y aplicación prevista.


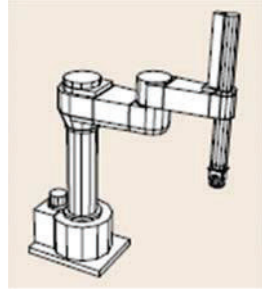
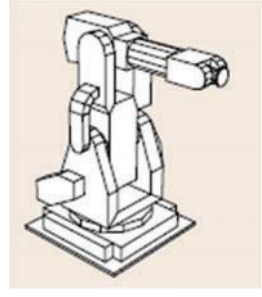
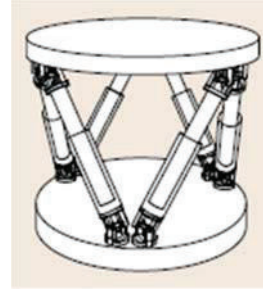
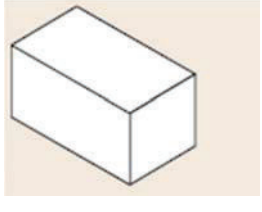
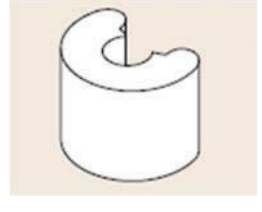






¹ SICILIANO y Otros; “Springer Handbook of Robotics”; primera edición; German; 2008; p. 963.

² MORENO A. (2012); “Robots paralelos: conceptos básicos y aplicaciones”; Universidad Politécnica de Madrid; Madrid, España.

Considerando los costos, debe existir un equilibrio entre tamaño, el espacio de trabajo y la rigidez.

En la tabla 1.1 se detalla las configuraciones típicas de los manipuladores industriales, así como también el volumen o espacio de trabajo para cada configuración.

Tabla 1.1 Configuraciones típicas de robots industriales
(Siciliano y otros, 2008, p. 976)

Cartesiano	SCARA	Angular-antropomórfico	Paralelo
			
Volumen o espacio de trabajo			
			
Ejemplos			
			

1.1.2 APLICACIONES TÍPICAS DE LOS ROBOTS INDUSTRIALES

1.1.2.1 Soldadura

La soldadura se encuentra entre los procesos de unión más importantes de la industria manufacturera. La soldadura manual requiere de personal altamente

calificado, pequeñas imperfecciones en la soldadura puede llevar graves consecuencias. En la Figura 1.1 se muestra un robot de soldadura con 6 grados de libertad, cuenta con una mesa que gira para que la costura sea accesible y pueda ser soldada en una posición plana.

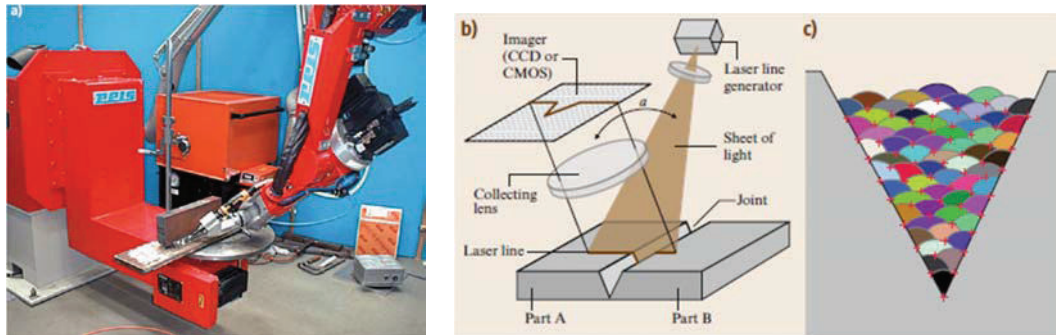


Figura 1.1 Robot de Soldadura con su sensor de guía.
(Siciliano y otros, 2008, p. 970)

1.1.2.2 Pintura

Las condiciones de trabajo peligrosas para los operadores motivaron a TRALLFA, una empresa noruega, a desarrollar robots para pintura por pulverización en 1969 para el recubrimiento de parachoques y otras piezas de plástico de la industria automotriz, estos robots se muestran en la Figura 1.2. Inicialmente los robots tenían accionamiento neumático por razones anti explosión, el diseño de robots de hoy en día son totalmente eléctricos. Estos robots también disponen de ganchos y pinzas para abrir compartimentos y puertas durante el proceso de pintura.

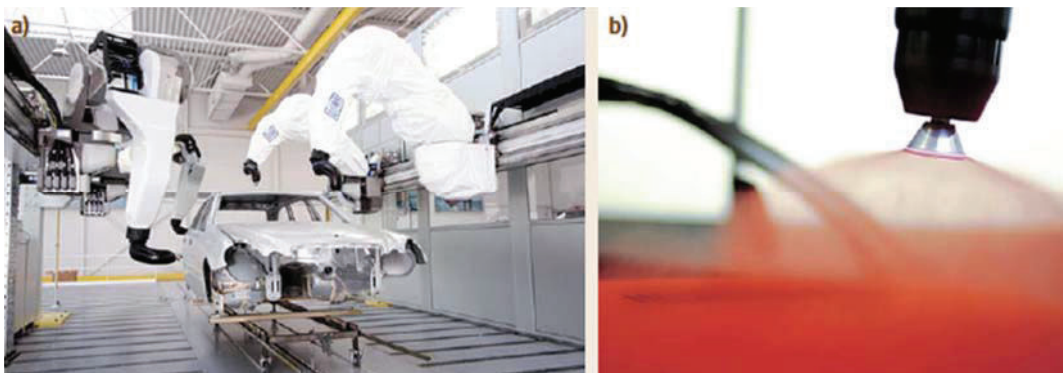


Figura 1.2 Robots de Pintura
(Siciliano y otros, 2008, p. 972)

1.1.2.3 Ensamble de carrocerías de automóvil

Desde un inicio, el montaje de carrocerías se convirtió en la principal aplicación para la automatización por robots. La manipulación y ubicación de láminas de metal, soldadura por puntos y el transporte de la estructura eran peligrosos y muy exigentes físicamente para el trabajador o difíciles de realizar en las líneas de automatización fija dada la variedad de configuración de carrocerías. En la sección de estampado el metal se corta en placas de manera que estén listos para el prensado formando así los componentes de la carrocería. En las siguientes etapas los robots posicionan los paneles para que otros robots procedan con la soldadura por puntos, todo el proceso se indica en la Figura 1.3.

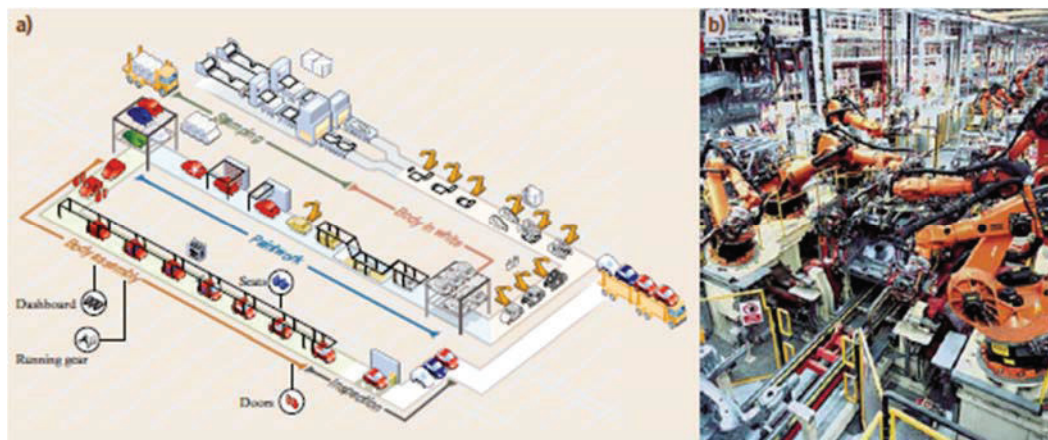


Figura 1.3 Ensamble de carrocerías de vehículos
(Siciliano y otros, 2008, p. 971)

1.1.2.4 Transporte de material

Es quizás una de las principales aplicaciones de un robot industrial, por ejemplo los robots son muy utilizados en los procesos de paletizado o embalaje de productos, carga de materia prima y descarga de producto terminado de máquinas, visión y clasificación de materiales.

1.1.2.5 Mecanizado

En comparación con una fresadora o un torno, un robot posee menos rigidez, pero mucha mayor destreza. Estos robots pueden realizar diferentes operaciones como: acabado, esmerilado, corte, perforado, roscado, desbarbado, contorneado, entre otras. En la siguiente figura se puede observar una aplicación de mecanizado con un robot de 5 grados de libertad.

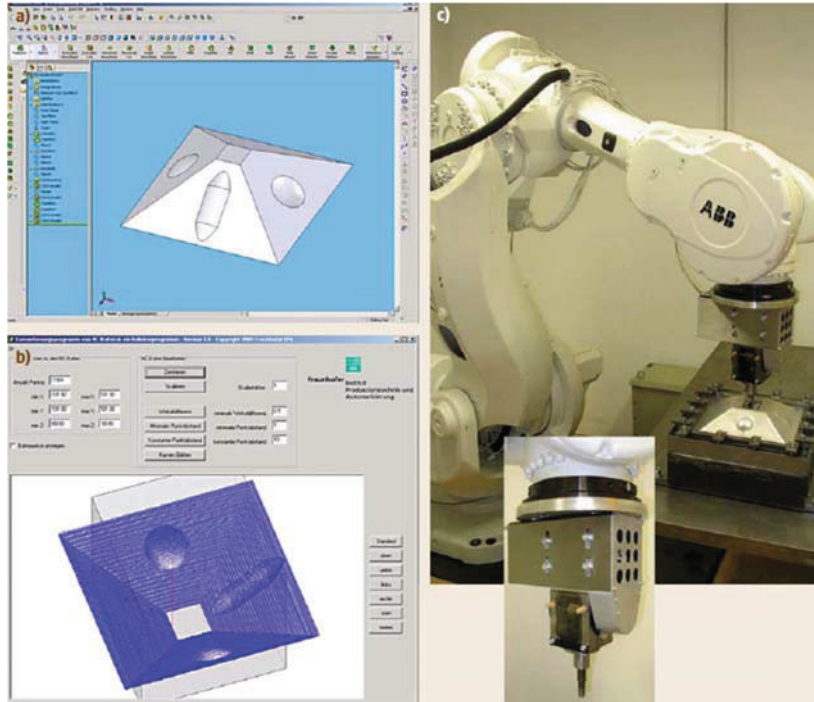


Figura 1.4. Mecanizado por robot de 6 grados de libertad
(Siciliano y otros, 2008, p. 973)

El material se sujeta a un bastidor rígido y el robot produce un contorno 3-D utilizando una herramienta sobre la superficie del metal. La trayectoria del robot es calculada desde un modelo CAD sobre un material específico. La Figura 1.4 representa la secuencia de acciones para generar y ejecutar automáticamente el programa de construcción.

La idea de mecanizar piezas con procesos robotizados o automáticos ha impulsado el desarrollo de las máquinas CNC.

1.2 MÁQUINAS DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO CNC

La tecnología CNC permite controlar de forma computarizada la posición de una herramienta que está montada en una máquina, la manera de desplazarse de un punto a otro, su velocidad, profundidad de corte, avance y algunos parámetros más.

La clasificación de las máquinas CNC se da de acuerdo al número de ejes o grados de libertad. El movimiento de cada eje se efectúa a través de movimientos

tanto del soporte de la pieza como de la herramienta. Debido a la variación de la configuración de los ejes, un mismo número de estos en diferentes máquinas no asegura que la secuencia de los movimientos para llevar a cabo una operación sean iguales. En la figura 1.5 se encuentra la representación de una máquina CNC de cinco ejes (a) y otra de 3 ejes (b).

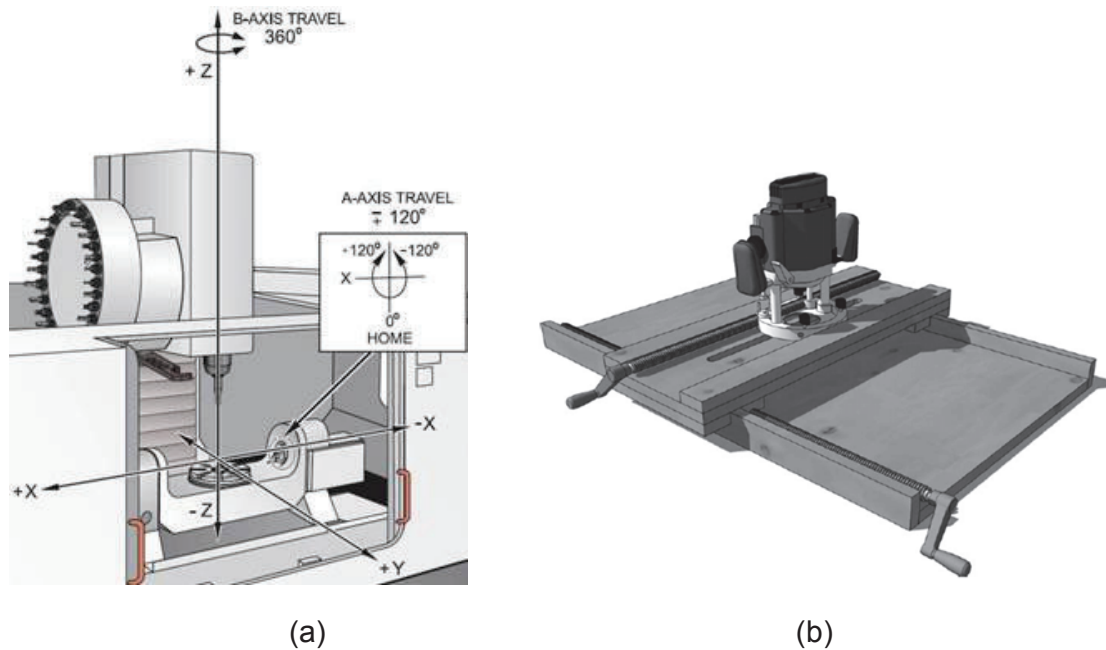


Figura 1.5 Esquema de una máquina CNC de cinco ejes (a) y tres ejes (b)
(Alain, 2008 p.4)

1.2.1 BREVE HISTORIA DEL CONTROL NUMERICO

El control numérico computarizado tiene su origen ante la necesidad de buscar una herramienta capaz de mecanizar con precisión y una buena repetitividad figuras geoméricamente complejas. Fue desarrollado a finales de 1940 y principios de 1950 por John T. Parsons en colaboración con el MIT (Massachusetts Institute of Technology). El sistema mediante el cual se realizaba los movimientos de la máquina herramienta recibió el nombre de control numérico (CN) y fue utilizado para la fabricación de repuestos para aviones que eran cada

vez más complejos y requerían de un nivel de precisión que los operadores humanos no podían lograr³.

En 1960 el MIT desarrollo el Control Adaptable que se define como Control Numérico Auto regulable y en 1968 se llevaron a cabo los primeros ensayos de Control Numérico Directo (DNC).

En 1970 se incorpora el microcomputador al control NC perfeccionándolo hasta llegar a ser CNC, controlado en su totalidad por una computadora. Después de 1972 las máquinas CNC se han desarrollado simultáneamente a las computadoras haciéndolas más confiables y fáciles de manejar⁴.

1.2.2 TECNOLOGIA CN Y CNC

En estricto apego a la terminología, hay una diferencia en las abreviaciones CN y CNC. El término CN hace referencia a la tecnología del control numérico antiguo, en cambio, la abreviación CNC se refiere a lo más nuevo en la tecnología de Control Numérico Computarizado. Ambos sistemas desarrollan la misma tarea, es decir, que manipulan los datos con el propósito de maquinar la pieza de trabajo. En ambos casos, el diseño interno del sistema de control contiene las instrucciones lógicas que procesan los datos⁵.

El control numérico (CN) usa una función lógica fija que está incorporada y conectada permanentemente dentro de la unidad de control. Estas funciones no pueden ser cambiadas por un programador.

EL CNC en cambio incorpora una microcomputadora que es una parte integral del control de una máquina. La microcomputadora contiene los registros de memoria almacenados en una variedad de rutinas que son capaces de manipular las funciones lógicas. Esto significa que el programador o el operador pueden

³ GROOVER, Mikell P; “Fundamentals of Modern Manufacturing. Materials, Processes and Systems”; tercera edición; John Wiley & Sons INC; United States of America; 2007; p. 888-889.

⁴ NESSIER F., (2009), “Introducción a la programación y operación de máquinas CNC”. Universidad Tecnológica Nacional, Argentina.

⁵ SMID, Peter; “CNC Programming Handbook. A Comprehensive Guide to Practical CNC Programming”; segunda edición, Industrial Press Inc; New York; 2003; p. 1, 2.

cambiar el programa en el propio controlador de la máquina con resultados instantáneos.

La máquina recibe órdenes mediante códigos numéricos (G codes) que tienen una secuencia lógica y que finalmente se convierten en el programa de maquinado. El lenguaje del Código G es un lenguaje de máquina basado en el comando de máquina alfanumérico ASCII, que el controlador interpreta en movimientos discretos.

Entre los diferentes controladores que se pueden encontrar en el mercado existen algunas diferencias generadas por la gran variedad de modelos, inclusive en un mismo fabricante. Para poder conocer el funcionamiento de un CNC, es importante conocer las diferencias y similitudes que muestran sus controladores así como también los estándares que se utilizan para su programación, que normalmente son los que a continuación se mencionan⁶:

- ISO 6983 (International Standardization Organization)
- EIA RS274 (Electronic Industries Association)

En general, para una máquina CNC se maneja el siguiente flujo de procesamiento.

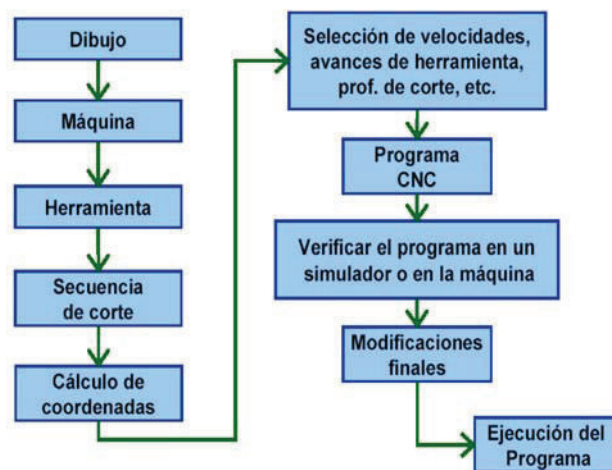


Figura 1.6 Flujo de procesamiento de una máquina CNC
(Aguinaga, 2013, p. 15)

⁶ AGUINAGA Álvaro; “Integración CAD-CAM-CIM”; primera edición; Escuela Politécnica Nacional; Ecuador; 2013; p. 15.

1.2.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN SISTEMA CNC

Las principales áreas donde el sistema CNC conduce a una mejoría son⁷:

- Reducción del tiempo de ajuste.
- Reducción del plazo de ejecución.
- Precisión y repetitividad.
- Contorno de formas complejas
- Simplicidad y trabajo prolongado.
- Tiempo de corte equilibrado.
- Incremento de la productividad.

Mientras que las desventajas del uso de máquinas CNC son:

- La rentabilidad empieza cuando se trata de grandes producciones. Para una cantidad menor a 5 piezas, solo es justificable su uso si su geometría es muy compleja y no pueda ser construida por máquinas herramientas convencionales.
- La inversión inicial es alta, así como también los costos de mantenimiento, reparación y accesorios.
- No elimina totalmente los errores. Los operadores pueden realizar alineaciones herradas provocando choques de la herramienta y falta de precisión.
- Durante el ciclo de trabajo la herramienta puede sufrir desgaste irregular lo que genera falta de precisión.

1.2.4 APLICACIONES COMUNES DEL SISTEMA CNC

A continuación se discutirá varios tipos de aplicaciones que pueden ser manejados por control numérico por computador.

Las características generales que se encuentran en los sistemas CNC más utilizados, se pueden extrapolar de los siguientes ejemplos.

⁷SMID Peter; "CNC Programming Handbook. A Comprehensive Guide to Practical CNC Programming"; segunda edición; Industrial Press Inc; New York; 2003; p. 1, 2.

1.2.4.1 Tornos y fresadoras (centros de torneado y centros de fresado)

Los tornos CNC están destinados fundamentalmente a trabajar con varios materiales. Estos disponen de planos cartesianos X y Z en el cual el trabajo se realiza con la acción de giro de un husillo. Es importante indicar que en el caso de un torno operado manualmente un sistema de engranajes determinan la relación del movimiento de corte con respecto a las revoluciones del husillo. Con el control CNC, esto ya no aplica, el tornillo de avance es independiente del husillo. Esto permite hacer diversos tipos de operaciones.

Respecto a las fresadoras CNC, son de varios tipos pero los más conocidos son los centros de mecanizado de husillo vertical que utiliza herramientas montadas sobre su eje vertical perpendicular a la mesa de trabajo y permiten hacer trabajos de contorneado, aplanado o perforado de manera rápida con excelente repetitividad y precisión.

1.2.4.2 Router o grabador

Con demasiada frecuencia el término router es genérico que significa varias cosas, pero todo se reduce a un tipo de máquina que utiliza un proceso para corte por arranque de viruta semejante a una fresadora o gravado en madera. Éste tipo de máquinas son sencillas y no tan robustas, generalmente disponen de dos o tres ejes donde se desplaza una herramienta montada sobre un pórtico móvil.

1.2.4.3 Cortadores por chorro de agua (Waterjet), laser (laserCut) y plasma

Son los equipos CNC más sencillos, básicamente se manejan en los tres ejes cartesianos X, Y, Z y pueden ser de diferente tipo y capacidad de corte dependiendo del espesor y material. Estos equipos también son considerados como router sin embargo algunos textos los diferencian por la herramienta que desplazan que en el caso de un router un spindle y para corte una antorcha de plasma, laser o chorro de agua.

Como el objetivo del presente trabajo es la construcción de un plasma CNC, a continuación se detallará más sobre este tipo de equipos.

Los cortadores de plasma, como se muestra en la figura 1.7, son comúnmente dispositivos de trabajo que tienen la capacidad de cortar varios tipos de metal en una simple operación. Una vez que el arco de plasma se establece para el corte, se usa aire comprimido para soplar el metal fundido a través de la ranura, produciéndose de esta manera el corte. La mesa de plasma CNC a menudo se asemeja a un router. Las diferencias notables en la apariencia entre un plasma CNC y un router son que la mesa de desgaste es reemplazada por una grilla metálica y en lugar del cabezal del husillo tiene instalado una antorcha de plasma.



Figura 1.7 Antorcha para corte por plasma en máquina CNC

Normalmente un plasma CNC dispone de un controlador de altura de antorcha (THC por sus siglas en inglés), que mantiene la distancia apropiada de la punta de la antorcha con el material a través de un muestreo constante del potencial de voltaje entre la punta y el material a cortar. La razón detrás de la necesidad de monitorear constantemente el voltaje de la boquilla y hacer ajustes posteriores es debido a la deformación del metal producido cuando se corta (particularmente materiales delgados), no todas las láminas de metal permanecen planas sobre

una superficie por lo que es difícil el mantener constante la distancia entre la boquilla y el material. Durante el funcionamiento normal de corte, el hardware y el software para el control de movimiento, actúan en ambos ejes X y Y para lograr el desplazamiento en las dos dimensiones, pero el THC tiene control del eje Z para un ajuste vertical. La interfaz física para el tipo de dispositivo THC es típicamente a través de un segundo puerto paralelo en el software del ordenador y del controlador. Por lo tanto, un total de dos conexiones se requiere: una para el control de movimiento y el segundo para el control de altura de la antorcha. Así como una base de datos del controlador puede almacenar información de las herramientas, diversos parámetros para el tipo de material, espesor y velocidades de alimentación, los parámetros de corte por plasma también son almacenados en archivos de base de datos para una fácil referencia durante las operaciones de plasma. El controlador avanzado THC mostrado en la figura 1.8 es el más usado en sistemas de corte CNC⁸.



Figura 1.8 Controlador de altura de Antorcha (THC)

⁸ OVERBY Alan; "CNC Machining Handbook. Building, Programming and Implementation"; primera edición; McGrawHill; United States of America; 2011; p. 14.

1.2.5 ARQUITECTURA FÍSICA DE UNA MÁQUINA CNC PARA CORTE POR PLASMA

Existen diferentes tipos y tamaños de plasmas CNC, sin embargo la mayoría de estas máquinas presentan casi los mismos elementos. En la figura 1.9 se puede identificar las diferentes partes que componen una máquina CNC para corte por plasma.

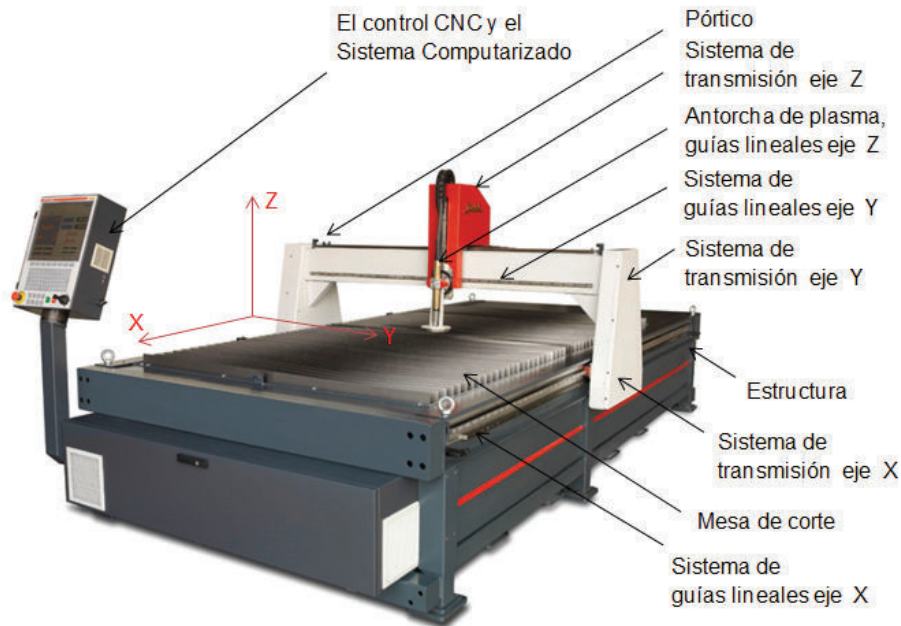


Figura 1.9 Componentes de un plasma CNC

1.2.5.1 Estructura: Son todos los elementos que soportan a los sistemas de transmisión y guiado. En la mayoría de casos, la mesa de corte es parte de la estructura y en el caso de un plasma de corte está constituida por placas separadas formando una grilla metálica.

1.2.5.2 Sistemas de guías lineales: Tienen diferentes características de carga estática y dinámica que varían de un diseño a otro. Las cargas estáticas son fuerzas que están siempre presentes en el sistema. En cambio las fuerzas que se generan del cambio de variables son dinámicas. Estos conceptos básicos son críticos en la selección del tipo y tamaño de guía que se aplicará al pórtico del

CNC y que determina la mayoría de la capacidad de carga⁹. En la figura 1.10 se puede observar algunas configuraciones de los sistemas de rieles redondos, mientras que en la figura 1.11 se muestra los rieles de perfil.

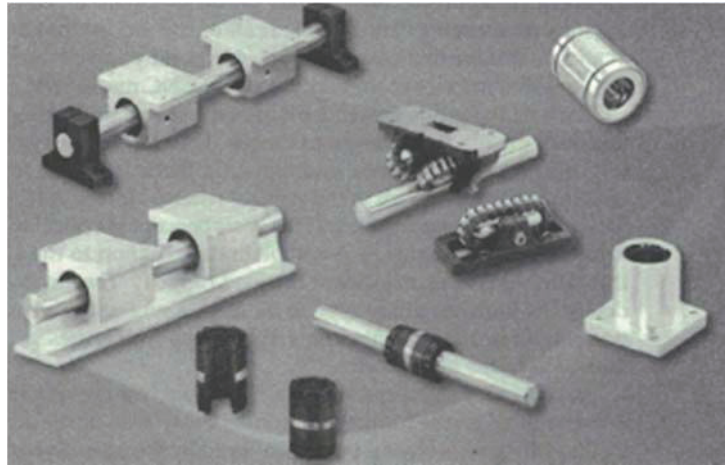


Figura 1.10 Varios ejemplos de componentes de rieles redondos
(Overby, 2011, p.26)

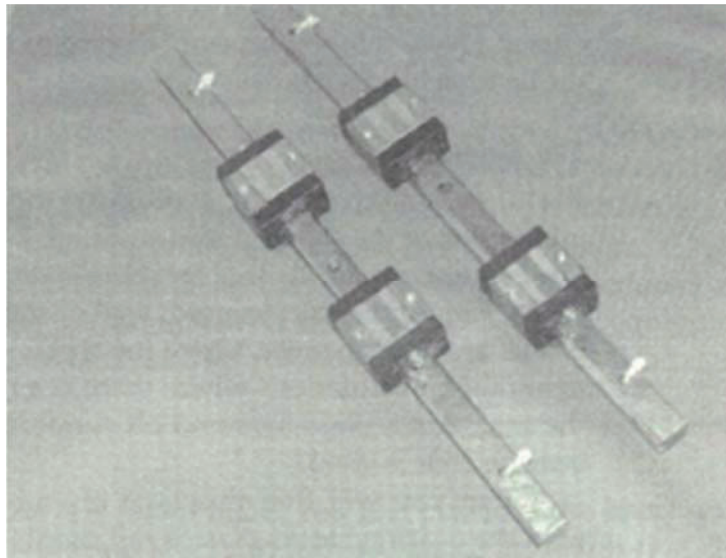


Figura 1.11 Ejemplos de Rieles de perfil.
(Overby, 2011, p.28)

1.2.5.3 Sistemas de transmisión: Básicamente están conformados por motores de paso o servomotores que transmiten el movimiento rotatorio a lineal por medio de cremallera-piñón, bandas o husillos roscados.

⁹OVERBY Alan; “CNC Machining Handbook. Building, Programming and Implementation”; primera edición; McGrawHill; United States of America; 2011; p. 25.

1.2.5.4 Control automático: Permite el movimiento de la herramienta, en este caso la antorcha del plasma, con tres grados de libertad, es decir en los ejes X, Y y Z.

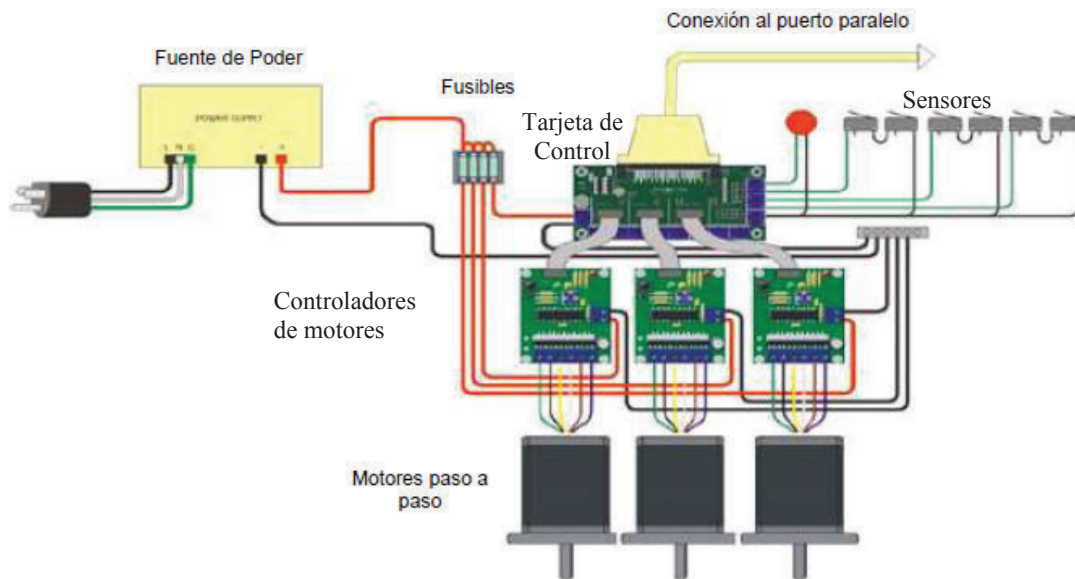


Figura 1.12 Control electrónico de un sistema CNC de tres ejes
(Crisanto, 2013, p.51)

1.3 INTEGRACIÓN CAD-CAM-CIM

Las técnicas de diseño con computador han experimentado un desarrollo muy notable en estos últimos años, siendo fundamentales durante el proceso de diseño y fabricación de un producto. En efecto, cuando éstas técnicas se las ejecuta en forma completa e integrada el proceso se vuelve realmente efectivo.

Precisamente, la Manufactura integrada por computador (CIM por sus siglas en inglés) establece el uso de la computadora para el ajuste de una manera eficiente y efectiva de los diferentes pasos que están interrelacionados en el desarrollo de productos manufacturados. CIM involucra un conjunto de actividades que inician a través del conocimiento sobre la necesidad de un producto; la proyección, el diseño, su ejecución; marketing y soporte del producto terminado. Todos los procesos desarrollados en estas actividades usan datos, que pueden ser gráficos, numéricos o textuales. El ordenador, es la herramienta más importante en cuanto

al manejo de datos, que da la posibilidad real de juntar todas las operaciones fragmentadas de manufactura en un sistema operativo único. Este involucramiento es conocido como manufactura integrada por computador¹⁰.

Para las etapas de diseño y manufactura del producto, un sistema CIM maneja los siguientes elementos integrados a través de una base de datos por computadora:

- Manufactura asistida por computadora (CAM)
- Tecnología de grupos (Group Technology)
- Robótica
- Diseño asistido por computadora (CAD)
- Planeación de recursos de fabricación (MRP)

En el presente trabajo se profundizará únicamente en los sistemas CAD-CAM.

1.3.1 SISTEMAS CAD

El Diseño Asistido por Ordenador (CAD por sus siglas en inglés) en los años 60 inicio como un sistema de sustitución de los tableros de dibujo, permitiendo ganar tiempo en la generación de planos. Progresivamente ha ido expandiendo su campo utilitario de aplicación y sus beneficios, hasta convertirse en una potente herramienta que atiende básicamente las tareas relacionadas con el diseño; tales como el dibujo técnico y su documentación, además admite ejecutar tareas adicionales de presentación y análisis del diseño como son simular su funcionamiento antes de su fabricación, verificar que no existe interferencias en los movimientos relativos de componentes, verificar si un circuito electrónico funciona tal como se planificó, comprobar si una estructura es capaz de soportar una determinada carga e incluso el movimiento de un fluido en un determinado molde de fundición o inyección de plástico.

Los sistemas CAD se dividen principalmente en dos tipos: Los modeladores en tres dimensiones (3D) y el software de dibujo en dos dimensiones (2D). Las herramientas utilizadas en dibujo 2D se fundamentan en formas geométricas

¹⁰AGUINAGA Álvaro; “Integración CAD-CAM-CIM”, primera edición; Escuela Politécnica Nacional; Ecuador; 2013; p. 4.

vectoriales como arcos, líneas, puntos, etc. Estas permiten operar mediante una interfaz gráfica. Mientras que los modeladores 3D viabilizan la definición de los objetos de forma espacial añadiendo superficies y sólidos.

Como se ha mencionado anteriormente el sistema CAD permite generar u obtener de un objeto su geometría, la misma que será utilizada en posteriores etapas en las que se ejecuten actividades de fabricación e ingeniería. Así se habla también de Ingeniería Asistida por Computador (CAE por sus siglas en inglés) al referirse a las tareas de evaluación, análisis, optimización y simulación efectuadas durante todo el ciclo de vida del bien producido.

Las aplicaciones del CAD se dividen en tres tipos principales, disciplina, industria y función. Según la función; puede aplicarse para diseño, análisis, documentación, simulación, control de calidad, entre otras. Según la disciplina, se aplica a mecánica, estructuras, electrónica, arquitectura, ingeniería civil, entre otras. Y finalmente según la industria, se utiliza en el sector automotriz, aeroespacial, electrónica, metalmecánica en general, etc.

En la actualidad existen diferentes métodos para ingreso de la información gráfica y generación de archivos CAD¹¹:

- Planos elaborados con cada una de las entidades gráficas
- Medición e ingreso detallado de la información
- Digitalización (mesa de medición de coordenadas CMM)
- Scanner láser o de visión

1.3.2 SISTEMAS CAM

Los sistemas CAM o sistemas de fabricación asistida por computador, tratan sobre el manejo de aplicaciones de software computacional de control numérico (NC) que permite elaborar detalladamente instrucciones (códigos G) que manejan las máquinas de herramientas en la manufactura de partes controladas numéricamente por computadora (CNC), en este caso se parte de un modelo CAD para generar las trayectorias de la herramienta que constituirán el programa

¹¹ PÁRAMO G. (2012). “Aplicaciones de los Sistemas CAD/CAM en la manufactura moderna”. Recuperado de: [http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidadeafit/article/view/1110\(diciembre;2014\)](http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidadeafit/article/view/1110(diciembre;2014))

CNC, permitiendo de esta manera simular la ejecución de éstos en el computador para evitar posibles errores y colisiones, aumentando la productividad de la máquina y la calidad de las piezas mecanizadas.

Una definición de CAM incluye el manejo de softwares para la preparación de modelos, establecimiento de planos de manufactura, diseño de herramientas, diseño asistido por computadora, programación de la inspección de la máquina de medición (CMM), programación NC, simulación de máquinas de herramientas o post-procesamiento¹². Se pueden utilizar los sistemas CAM para diferentes tecnologías que normalmente están disponibles por módulos: fresado, torneado, electro erosionado, corte por láser, punzonado, oxicorte, corte por plasma, etc. En las figuras 1.13 y 1.14 se presentan algunos ejemplos de software CAM.

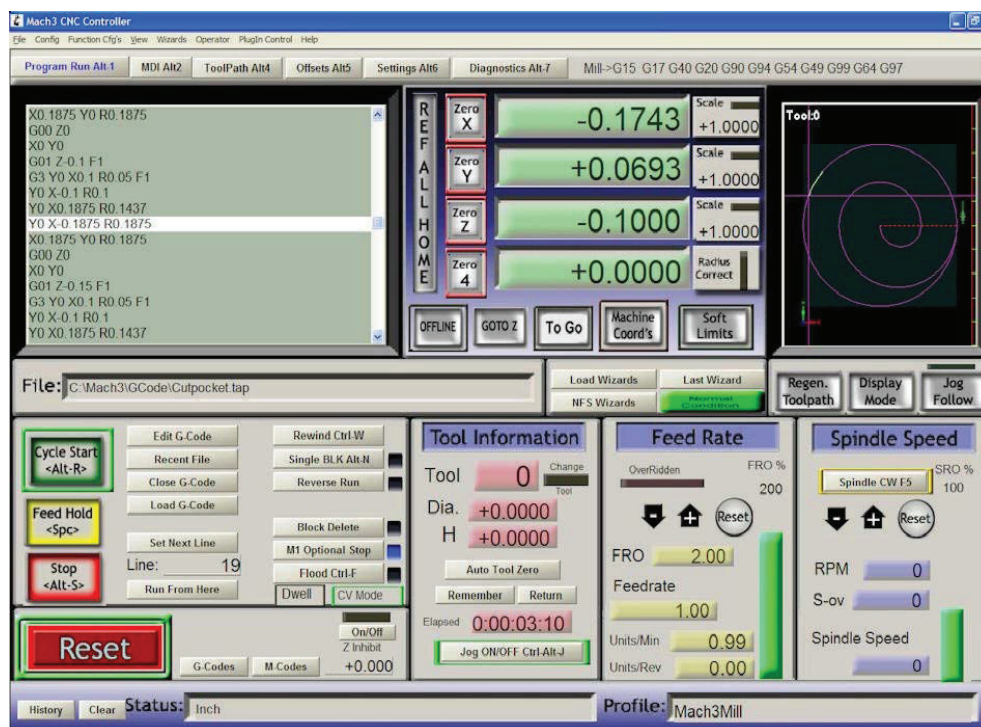


Figura 1.13 Generación de códigos g y simulación de trayectoria en mach 3

¹² SIEMENS PLM Software. Recuperado de http://www.plm.automation.siemens.com/es_mx/plm/cam.shtml (diciembre 2014)

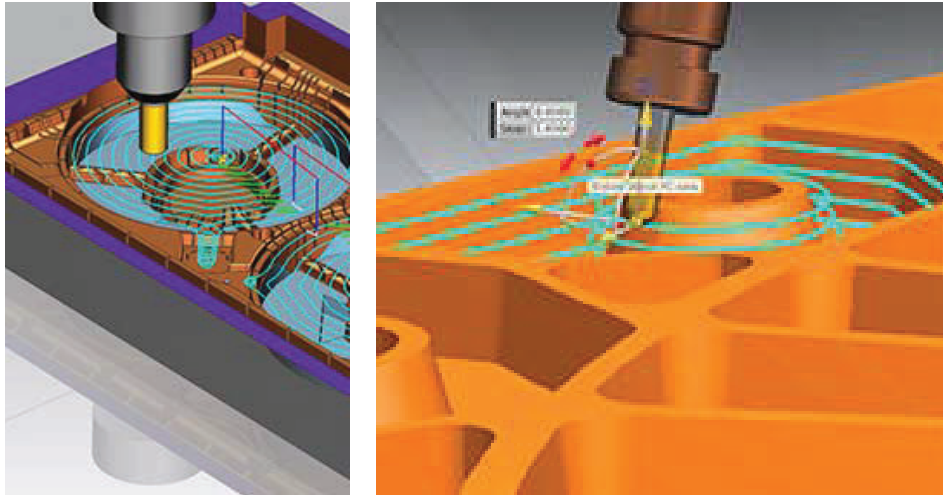


Figura 1.14 Pos procesamiento y simulación de programación CN de NX CAM

1.3.2.1 Codificación para programación de un CNC

La programación de la mayoría de las máquinas de Control Numérico Computarizado se efectúa mediante un lenguaje de bajo nivel llamado G y M. Un programa de este tipo es una lista secuencial de instrucciones de maquinado que serán ejecutadas por la máquina CNC. A las instrucciones se les conoce como CODIGO de CNC, las cuales deben contener toda la información requerida para lograr el maquinado de la pieza. Las máquinas típicas que son controladas con los códigos G y M son fresadoras, cortadoras, tornos e impresoras 3D.

Si bien en el mundo existen aún diferentes dialectos de programación con códigos G y M, se dio un gran paso adelante a través de la estandarización que promovió la ISO. Esta estandarización fue adoptada por la totalidad de los fabricantes serios de CNC y permite utilizar los mismos programas en distintas máquinas CNC de manera directa o con adaptaciones menores.

Las funciones de movimiento de la máquina como son por ejemplo: posicionamiento rápido, avance lineal, avance radial, pausa o ciclo, llevan lo que se denomina códigos generales (G). Mientras que las funciones misceláneas como encendido y paro del husillo, cambio de herramienta, refrigerante llevan los denominados códigos misceláneos (M).

A continuación se describen algunos códigos y su significado.

Tabla 1.2 Procedimiento para programación CNC

Código	Descripción	Sintaxis o Formato
G90	Programación en coordenadas absolutas	G90
G91	Programación en coordenadas relativas	G91
G21	Coordenadas en milímetros	G21
G20	Coordenadas en pulgadas	G20
G17	Seleccionar plano XY	G17
G18	Seleccionar plano ZX	G18
G19	Seleccionar plano YZ	G19
G00	Avance rápido	G00 X__Y__Z__
G01	Interpolación lineal (Avance de maquinado)	G01X__Y__Z__F__
G02	Interpolación circular horaria	G02X__Y__Z__I__J__F__ G02X__Y__Z__R__F__
G03	Interpolación circular anti horaria	G03X__Y__Z__I__J__F__ G02X__Y__Z__R__F__
G28	Retorno a la posición 0, home	G28
G41	Compensación a la izquierda	G41 D__
G42	Compensación a la derecha	G42 D__
G40	Cancelar compensación	G40
G94	Velocidad de avance en mm/min	G94
G95	Velocidad de avance en rev /min	G95
M03	Encender husillo horario	M03
M05	Apagar husillo	M05
M06	Cambio de herramienta	M06

1.3.3 CAD/CAM EN EL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN

Como se ha mencionado, el CAD/CAM/CAE son tecnologías que intentan automatizar varias tareas del ciclo productivo y convertirlas en procesos más eficaces. En la Figura 1.15 se puede visualizar la interacción de éstas tecnologías en un ciclo de producto típico.

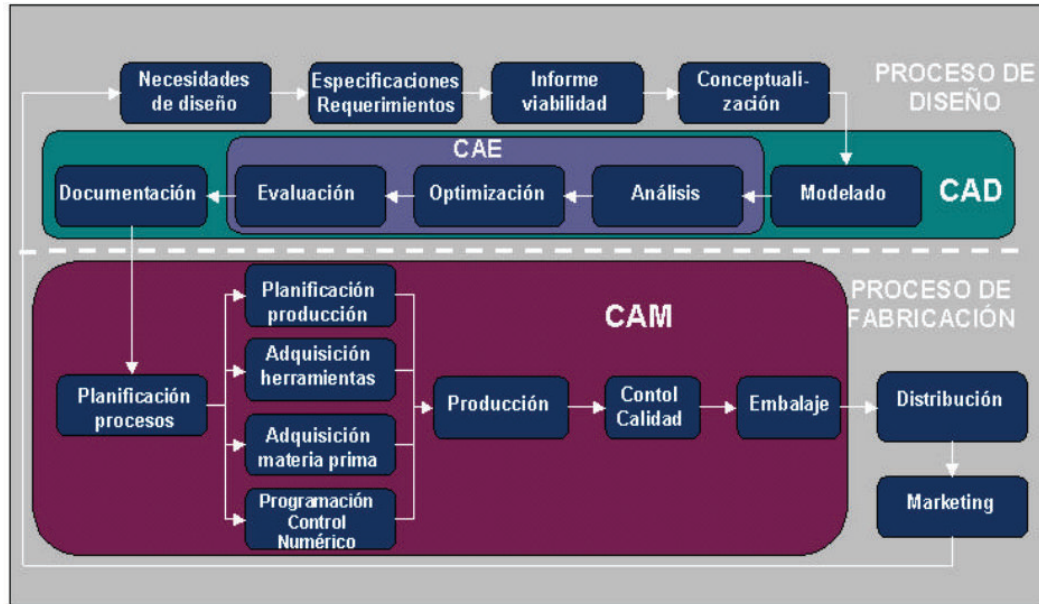


Figura 1.15 Ciclo de un producto típico
(Aguinaga B. 2013, p.8)

Para convertir una idea o concepto en un producto, se ejecutan los siguientes procesos: diseño y fabricación. Dentro del proceso de diseño, a su vez, se puede dividir en dos nuevas etapas, la primera que es donde se origina el producto y la segunda donde se optimiza, verifica y evalúa el producto elaborado llamada análisis. Cuando estas etapas hayan sido completadas, se empieza con la fabricación en donde, primeramente se planifican los procesos que se ejecutarán y los recursos a utilizar, para luego arrancar con la fabricación del producto. Finalmente antes de pasar a la fase de distribución y marketing se efectúa un control de calidad del producto terminado.

La constante demanda del mercado que exige productos más baratos, con excelente calidad y un ciclo de vida cada vez más corto, hace que sea necesaria la utilización de los computadores como herramientas que logren cumplir con estas exigencias. El uso de técnicas de CAD/CAM permite obtener una disminución de costos, de tiempo en el diseño y en la producción así como también incrementos en la calidad del producto. Dichos factores son fundamentales en la industria actual.

Dentro del ciclo del producto detallado se incluyó un grupo de tareas organizadas; unas en proceso CAD y otras en CAM, las que a su vez, son subconjuntos de

otros procesos como son el diseño y fabricación respectivamente. Las herramientas requeridas para cada proceso se detallan en las Tablas 1.3 y 1.4.

Tabla 1.3 Herramientas CAM para el proceso de fabricación
(Ochoa O. 2006, Cap.1, p.7)

FASES DE FABRICACIÓN	HERRAMIENTAS CAM SOLICITADAS
Planificación de procesos	Análisis de costos, especificación de materiales y herramientas
Mecanizado de piezas	Programación del control numérico (CNC)
Inspección	Aplicaciones de inspección
Ensamblaje	Simulación y programas de robots

Tabla 1.4 Herramientas CAD para el proceso de diseño
(Ochoa, 2006, Cap.1, p.6)

FASES DE DISEÑO	HERRAMIENTAS CAD SOLICITADAS
Conceptualización del diseño	Herramientas de modelado geométrico
Modelado del diseño y simulación	Las anteriores más herramientas de animación, ensamblaje y aplicaciones del modelado específicas
Análisis del diseño	Aplicaciones de análisis generales (Método de elementos finitos)
Optimización del diseño	Aplicaciones a medida, optimización estructural
Evaluación del diseño	Herramientas de acotación, tolerancias, listas de materiales

1.4 INTERCAMBIO DE DATOS CAD/CAM

Debido al rápido crecimiento de programas CAD-CAM se tuvo que llegar a un acuerdo para estandarizar la información. La solución del intercambio de datos fue el pasar de un tipo de archivo que maneja un programa A, a un archivo de formato neutral que debe ser de un estándar internacional y después de este formato traducirlo al archivo que maneja el programa B.

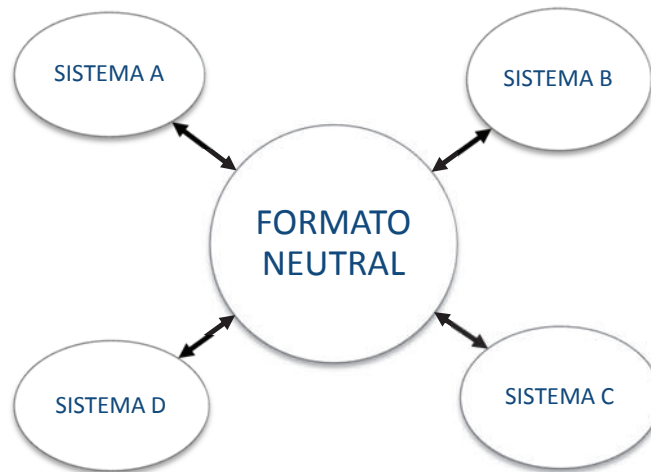


Figura 1.16 Intercambio de archivos CAD

1.4.1 TIPOS DE DATOS INTERCAMBIABLES

Todo archivo CAD lleva una determinada información que comúnmente se requiere intercambiar de un software a otro. Como ya se ha mencionado, esto se logra guardando la información en un formato neutral, estos traductores requieren soportar todos los tipos posibles de entidades, almacenamiento compacto, compatibilidad con versiones anteriores y permitir intercambiar los cuatro tipos de datos principales que a continuación se cita¹³.

1. Información del modelo geométrico
 - a. Geometría (dimensiones, coordenadas)
 - b. Topología (sólidos)
 - c. Características (tipos de línea, colores, etc)

¹³ OCHOA O. (2006); Cursos de Mecatrónica. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/mecatronica/>, (Diciembre, 2014).

2. Información gráfica
 - a. Imágenes sombreadas
 - b. Texto, cotas, unidades, precisión, etc
3. Información de diseño
 - a. Masa, densidad, mallas FEM, etc
4. Información de manufacturación
 - a. Trayectorias de la herramienta
 - b. Tolerancias
 - c. Planificación de procesos
 - d. Listas de materiales, etc

1.4.2 FORMATOS BÁSICOS NEUTRALES¹⁴

En la actualidad los diferentes softwares CAD ofrecen una amplia selección de herramientas de intercambio de datos permitiendo guardar y admitir varios formatos de intercambio estándar neutros. Los principales y más populares formatos son los siguientes.

- Especificación de Intercambio de Gráficos Inicial (IGES)
- ISO 10303 - STEP AP203/AP214
- Formato de Intercambio de Dibujos AutoCAD (DXF)
- STL de prototipo rápido
- Formato de intercambio liviano JT

En el presente trabajo se ha utilizado los archivos en formato DXF para el diseño de la geometría ya que es soportado por la mayoría de programas CAD del mercado. A continuación se presenta algunas definiciones de este tipo de archivo neutral.

1.4.3 ARCHIVOS DXF

El formato DXF (acrónimo del inglés Drawing Exchange Format), creado fundamentalmente para posibilitar la interoperabilidad entre los archivos DWG,

¹⁴ SIEMENS PLM Software. Recuperado de http://www.plm.automation.siemens.com/es_sa/products/nx/for-design/. (Diciembre 2014).

usados por el programa AutoCAD, fue desarrollado por AutoDesk para describir de manera precisa un archivo de dibujo en un formato de archivo de texto. Los archivos DXF se organizan en secciones, que constan de registros a su vez compuestos o por un código de grupo o un elemento de datos. Cada sección comienza con un código de grupo 0 seguido por la cadena SECTION. A continuación aparece un código de grupo 2 y una cadena que indica el nombre de la sección. Cada sección se compone de códigos de grupo y valores que definen sus elementos. Las secciones terminan con un 0 seguido de la cadena ENDSEC.

Un archivo DXF contiene las siguientes secciones (no se describen todas las secciones, si se requiere ampliar información se puede consultar los documentos de Autodesk en su página web).

- Sección de cabecera (Header Section).- Contiene la información general del dibujo. Cada parámetro tiene un nombre y un valor asociado.
- Sección de clase (Classes Section).- Posee la información de aplicaciones definidas, la cual está permanentemente fija en la jerarquía de clases.
- Sección de Tablas (Tables Section): Aquí se encontrará la descripción de los siguientes parámetros: tablas de tipo de línea, tabla de capas, tabla de tipo de letra, tabla de vistas, tabla de UCS, tabla VPORT, tabla de DWGMGR.
- Sección de Bloques (Blocks Section): Contiene una entrada para cada una de las referencias a un bloque del dibujo, describiéndolos individualmente.
- Sección de Entidades (Entities Section): Esta sección es la más importante ya que contiene la información de las figuras como entidades y objetos gráficos. Presenta las diferentes coordenadas x, y, z del dibujo.
- Sección de Objetos (Objects Section): contiene la información de objetos no gráficos del dibujo.

En la sección entidades, las coordenadas de las diferentes entidades se identifican mediante unos números identificadores que se muestran a continuación en la tabla 1.5.

Tabla 1.5 Identificadores para la sección ENTIDADES de archivos DXF

Identificador	Descripción
10	Coordenada X principal/inicial
11-18	Coordenadas X Auxiliares
20	Coordenada Y principal/inicial
21-28	Coordenadas Y Auxiliares
30	Coordenada Z principal/inicial
31-37	Coordenadas Z Auxiliares
39	Espesor de la entidad diferente de cero
40-48	Radio de arcos
50-58	Ángulos

A continuación se presenta un ejemplo de la estructura de la sección entidades para identificar una línea cuyo punto inicial es 5.125 en X y 7.625 en Y y su punto final es 107.25 en X y 50.875 en Y. Así también se identifica un arco, cuyas coordenadas X, Y de su centro son 60.0, 75.0 con un radio de 25 que va desde un ángulo de 0 ° a 180°, cabe señalar que AutoCAD siempre considera la dirección de los arcos en sentido anti horario.

0	0
SECTION	ARC
2	10
ENTITIES	60.0
0	20
LINE	75.0
10	40
5.125	25.0
20	50
7.625	0.0
11	51
107.25	180.0
21	0
50.875	ENDSEC

Figura 1.17 Identificación de líneas y arcos en archivos DXF

CAPÍTULO 2

DISEÑO MECÁNICO

2.1 DEFINICIÓN DEL PRODUCTO

Para iniciar el desarrollo de la máquina propuesta se recopiló información acerca de las máquinas CNC para corte por plasma que son construidas tanto localmente como en el extranjero con la finalidad de conocer sus características y principios de funcionamiento.

En el país existen muy pocas empresas dedicadas específicamente a la construcción de plasma CNC, la mayoría de empresas del sector únicamente comercializan máquinas extranjeras. Como referencia se investigó los productos de las siguientes fábricas que construyen máquinas CNC para corte por plasma:

- En Ecuador, la empresa SupraCNC conjuntamente con la empresa ELIMED¹⁵
- En México, la empresa MECATROBOTIC construye cortadoras y grabadoras láser, plasma y routers CNC, en varios tipos y tamaños¹⁶
- En Colombia, la empresa INGEACOL¹⁷

Las principales características que ofrecen las máquinas fabricadas por estas compañías son las siguientes:

- Capacidad de almacenamiento de programas virtualmente ilimitada.
- La mesa de trabajo consta de platinas de acero al carbono de elevada rigidez y de fácil reemplazo.
- Los ejes cuentan con guías lineales.
- Tienen un sistema de movimiento a base de cremallera o piñón.
- El voltaje de alimentación es de 220/60Hz trifásica.

¹⁵ SUPRA CNC (2015); Recuperado de <http://www.supracnc.com/plasma/> (mayo, 2015)

¹⁶ MECATROBOTIC (2009); Recuperado de <http://maquinados.cnc-mecatrobotic.com/> (mayo, 2015)

¹⁷ INGEACOL (2009); Recuperado de <http://www.ingecol.com/cart> (mayo, 2015)

- El eje Z, que controla la altura de la antorcha, utiliza una transmisión basada en husillo de bolas de alta precisión, en algunos casos con sensor de altura de corte.
- Los ejes son movidos por servomotores DC para movimientos de mayor velocidad y aceleración. Otros fabricantes utilizan motores de paso 1125 oz-in NEMA 34 para ejes X, Y y Z.
- La estructura que soporta al equipo es fabricado utilizando perfiles de acero y aluminio.
- Para el control de la máquina se utiliza softwares comerciales como Mach2, Mach3 o ArtCAM.
- El tamaño de la mesa de corte está en función de las necesidades de los clientes.

En la Figura 2.1, se presentan algunos modelos de cortadores de plasma CNC de los fabricantes anteriormente mencionados.



Figura 2.1 Modelos de cortadores de plasma CNC para PYMES
(a) Plasma Mecatronic (b) Plasma Ingeacol (c) Plasma SupraCNC

Así mismo, existen marcas reconocidas como ESAB o Koike Aronson, Inc/Ransone que fabrican cortadores CNC para industria metalmecánica pesada. Es necesario resaltar que estas máquinas además del sistema de corte por plasma incorporan otros sistemas como oxicorte para propano o acetileno controlado desde el CNC.

Las características principales de estas máquinas se detallan a continuación¹⁸:

- Se encuentra instalado un botón de emergencia para detener de una forma rápida y segura el movimiento de la máquina así como el proceso de corte.
- Disponen de guías lineales reemplazables para un movimiento suave y preciso. Además que un escudo térmico protege los motores del calor y las chispas.
- Portador de cables que mantiene organizados los cables y mangueras del sistema de corte por plasma durante el movimiento de la máquina.
- Abrazaderas de ajuste que permiten la colocación de la antorcha de plasma o de oxicorte de una manera fácil y precisa.
- Grandes piñones de accionamiento, que ofrecen un movimiento suave y preciso de la máquina.
- Disponen de finales de carrera en los ejes transversales para evitar que la máquina funcione fuera del riel.
- Disponen su propio software de control.
- Estructura robusta.

Estas cortadoras de plasma CNC para la industria pueden llegar a medir hasta 4m de ancho por 7.3m de longitud. En la Figura 2.2, se muestra algunos modelos de cortadores de plasma CNC para la industria.

¹⁸ ESAB (2008); “Cutting Products”; Recuperado de <http://www.esab-cutting.net/products/cutting-systems.html>; Koike Aronson (2015); “Worldwide Manufacturer of Metal Cutting, Welding & Positioning Equipment”; Recuperado de <http://www.koike.com/plasma-oxy-fuel-cutting-machines> (Abril, 2015)



Figura 2.2 Modelos de cortadores de plasma CNC para la industria pesada

2.1.1 ESPECIFICACIONES

En base a la metodología de diseño para la calidad DFQ (Desing for Quality)¹⁹ cuyo objetivo principal es asegurar que en la definición del producto se consideren las necesidades y requerimientos del cliente, se estableció las especificaciones de la máquina.

El presente trabajo pretende satisfacer los requerimientos de una empresa metalmecánica dedicada a la construcción y mantenimiento de equipos y máquinas agrícolas. La empresa está ubicada en la provincia de Cotopaxi en la localidad de Lasso y la petición explícita de su propietario es que se diseñe una máquina que permita cortar planchas o láminas metálicas de forma automática para mejorar sus procesos de construcción ya que actualmente utilizan equipo oxiacetilénico en pantógrafo o carro de corte “tortuga”.

¹⁹ RIBA, Carles; “Diseño Concurrente”, primera edición; Universidad Politécnica de Cataluña ETSEIB; 2002; p. 172- 197.

Siguiendo la metodología antes mencionada, se estableció una matriz que permita traducir las demandas del cliente en requerimientos técnicos. Esta matriz de denomina casa de la calidad²⁰.

A continuación se presenta el desarrollo de la matriz y las conclusiones finales.

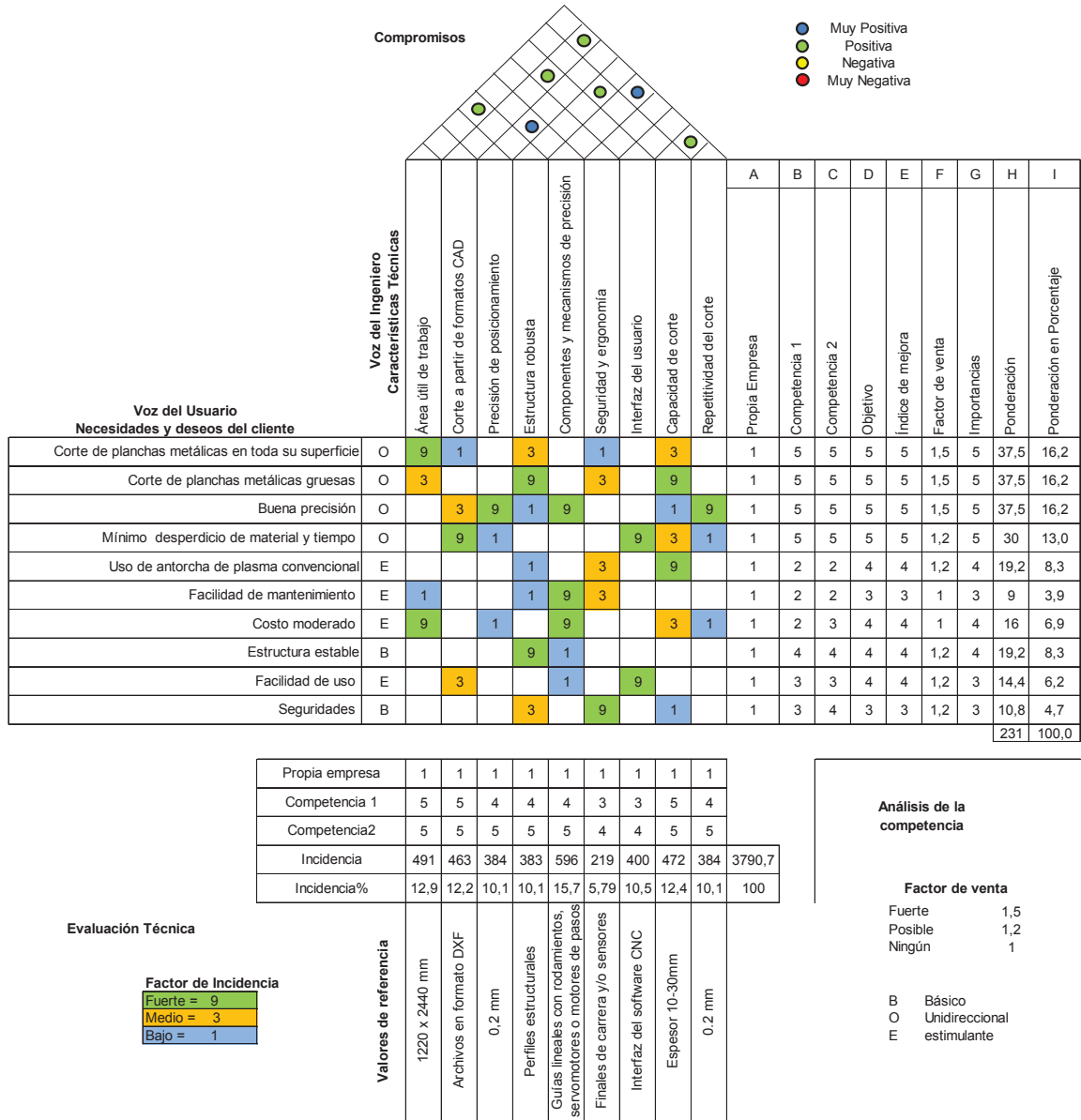


Figura 2.3 Casa de la calidad aplicada para definición de especificaciones de la máquina CNC para corte por plasma


²⁰ RIBA, Carles; “Diseño Concurrente”, primera edición; Universidad Politécnica de Cataluña ETSEIB; 2002; p. 178- 184.

Según la información obtenida al elaborar la casa de la calidad, los requerimientos técnicos que satisfacen las necesidades del cliente están en el siguiente orden:

1. Componentes y mecanismos de precisión: La máquina requiere guías lineales o husillos de bolas para el movimiento preciso en los tres ejes. Además, se requiere de un sistema de transmisión que permita un posicionamiento rápido.
2. Área útil de trabajo: Se requiere que el área de trabajo sea al menos la necesaria para cortar planchas metálicas estándar, es decir de 1220 x 2440 mm.
3. Profundidad de corte: Depende directamente del equipo de plasma, por lo general la empresa corta planchas de 12mm a 15mm, pero es deseable que se diseñe la estructura considerando el peso de planchas hasta 38mm. Adicionalmente, se requiere que la antorcha para corte manual sea fácilmente adaptable a la máquina.
4. Corte a partir de archivos dxf: El software debe reconocer archivos dxf y traducirlos a código de máquina para proceder al corte.
5. Precisión y repetitividad del corte: Se requiere una precisión de posicionamiento de la antorcha de plasma de 0.1 mm y la repetitividad de corte a corte de 0.1mm.
6. Interfaz del usuario: Debe ser sencilla y amigable. Cada variable del proceso de corte puede ser visualizada y controlada con facilidad desde la interfaz.
7. Estructura robusta: Debe resistir el peso de todos los componentes así como también, garantizar la estabilidad de la máquina al momento del corte.
8. Seguridad y ergonomía: Se requiere los mínimos requisitos de seguridad, como finales de carrera para limitar el movimiento, protecciones a los elementos eléctricos y guardas de seguridad para los elementos mecánicos expuestos.

A continuación se presentan en resumen las especificaciones de la máquina CNC para corte por plasma.

Tabla 2.1 Especificaciones técnicas de la máquina

 FORMATO DE ESPECIFICACIONES			
Cliete:	Empresa METALAGRO		Fecha: 03 de febrero de 2015
Dirección:	Lasso - Cotopaxi		
Producto:	Maquina CNC para corte por plasma		Elaborado por: Ing. Eduardo Moreno Ing. Diego Poma
CONCEPTO	PROPONE	R/D	DESCRIPCIÓN
Función	C + I	R	Máquina de control numérico computarizado CNC para cortar planchas metálicas.
Dimensiones	I	R	1500x 2800x1200 mm
Movimiento	I	R	Movimiento en los ejes X, Y, Z
Fuerzas	C+I	R	Transmisión motorizada en los tres ejes
	I	R	Guías de precisión para reducir la fricción
Materiales	I	R	Acero estructural en perfiles y placas
Control	C+I	R	Software CAM para reconocimiento de archivos DXF
	I	R	Tablero de control para alojar elementos eléctricos y electrónicos
	I	R	Tarjeta electrónica para control de tres ejes
Seguridad y Ergonomía	C+I	R	Finales de carrera para limitar movimiento
	C+I	D	Guardas de seguridad para elementos mecánicos
	C+I	D	Rieles porta cables
Equipo	C	D	Plasma para cortar hasta 38mm de espesor

Propone: C = Cliente ; I = Ingeniería

R/D: R = Requerimiento ; D = Deseo

2.2 DISEÑO CONCEPTUAL

A partir de las especificaciones del producto se analizó y seleccionó una alternativa constructiva y funcional para satisfacer las necesidades del cliente, para esto inicialmente se desarrolló la estructura funcional de la máquina.

2.2.1 FUNCIÓN GLOBAL Y ESTRUCTURA FUNCIONAL

Para describir y resolver el problema de diseño de la cortadora de plasma CNC, fue útil aplicar el concepto de función, que se refiere a cualquier transformación entre flujos de entrada y salida. De acuerdo con *Carles Riba*, la función global representa la tarea global del producto que se va a diseñar y se establece como una caja negra que relaciona los flujos de entrada y los de salida. Esta representación es muy esquemática y para obtener una representación más precisa, hay que dividir la función global en subfunciones (subtareas) y establecer las relaciones de flujos entre estas subfunciones. La representación del conjunto de subfunciones, las entradas y salidas así como las interrelaciones de flujos se conoce como estructura funcional.²¹

En la Figura 2.4 se representa la función global para la cortadora de plasma CNC, que consiste en tomar la información de archivos CAD y generar la trayectoria para el corte por plasma.

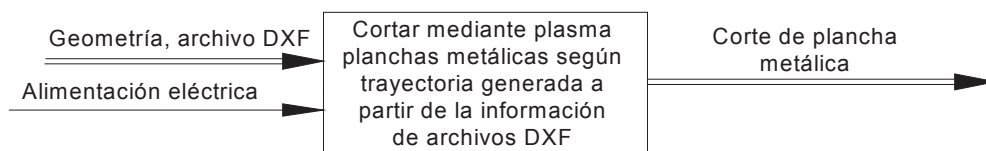


Figura 2.4. Función Global de la cortadora de Plasma CNC

Al avanzar con el análisis inmediatamente se constató que el sistema tiene dos modos de operación principales: 1) crear trayectoria de corte, 2) accionar los ejes X, Y y Z para generar el corte de la lámina. La estructura funcional para los dos modos de operación se muestra en la Figura 2.5.

²¹ RIBA, Carles; “Diseño Concurrente”, primera edición; Universidad Politécnica de Cataluña ETSEIB; 2002; p. 126.

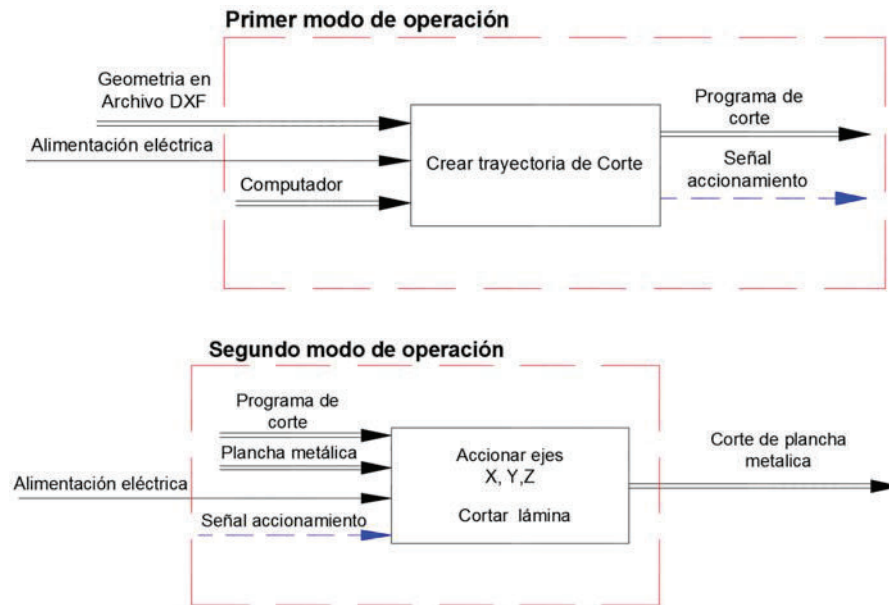


Figura 2.5. Estructura Funcional para los dos modos de operación que tendrá la cortadora CNC

El primer modo de operación está relacionado con el programa que ejecutará la trayectoria por lo que no será analizado en el presente capítulo. El análisis del segundo modo de operación presentó mayor complejidad como se aprecia en la figura 2.6 donde se estableció subfunciones para mover los ejes X, Y y Z, y adicionalmente para ejecutar el corte por plasma sobre la plancha metálica. Las primeras tres subfunciones determinan la ubicación de la antorcha, en tanto que la última subfunción ejecuta el corte.

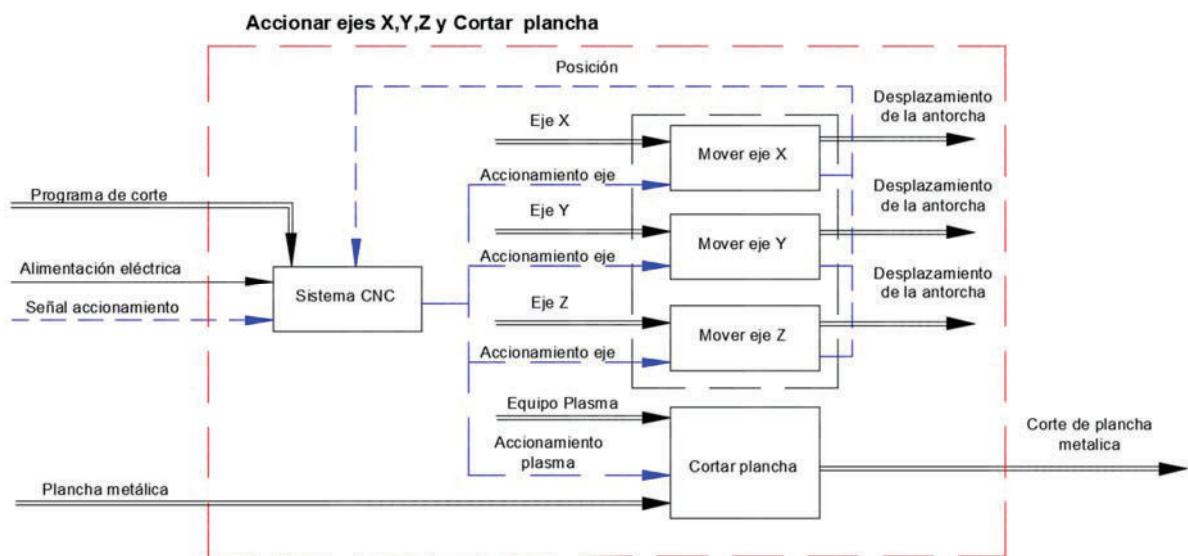


Figura 2.6. División modular del segundo modo de operación

Finalmente las tres subfunciones para mover los ejes se dividieron en tres funciones técnicas: guiar, generar movimiento y transmitir movimiento. En la figura 2.7, se indica la estructura funcional para mover los ejes.

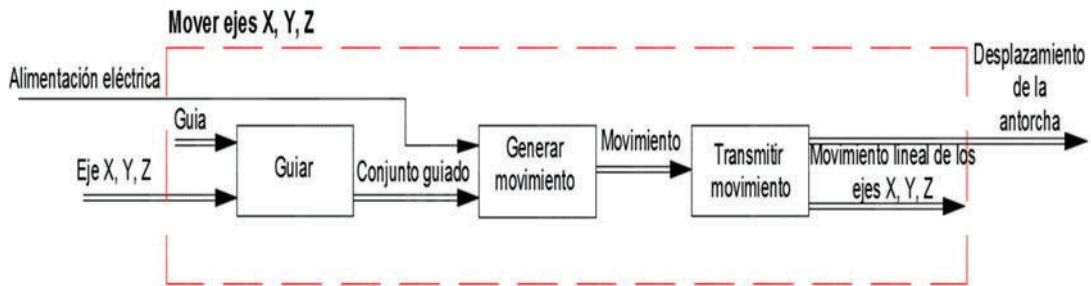


Figura 2.7. Estructura Funcional para movimiento lineal de los ejes

2.2.2 SOLUCIONES PARA EL MOVIMIENTO EN LOS EJES X, Y, Z

En la presente sección se planteó y analizó las soluciones que se utilizan con mayor frecuencia en máquinas CNC para corte por plasma con relación a las funciones técnicas establecidas para el movimiento en los ejes X, Y, Z que se listan a continuación:

1. Sistema de guiado
2. Sistema Motriz
3. Sistema de transmisión de movimiento

2.2.2.1 Sistema de Guiado

Los elementos de guiado juegan un papel vital en cualquier máquina CNC ya que direccionan los movimientos rectilíneos de los componentes de la máquina a lo largo de los ejes X, Y y Z de forma precisa y con baja fricción permitiendo aprovechar al máximo el torque de los motores.

A continuación se plantean algunas posibles soluciones.

- a) **Rodamiento lineal:** Este sistema utiliza como riel un eje que proporciona la guía lineal sobre el cual se desplazan uno o más bloques que en su interior disponen de rodamientos que disminuyen el juego y la fricción entre el buje y la guía.



Figura 2.8 Rodamientos lineales de bolas y eje²²

Tabla 2.2 Ventajas y desventajas del sistema de guiado con eje de precisión y buje con rodamientos lineales de bolas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Ideal para carreras largas con amplia capacidad de carga - Diseño compacto y rígido tanto para buje abierto como para cerrado - Movimiento preciso con reducida fricción - Costo moderado 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere lubricación y mantenimiento constante - Requiere mucho cuidado para mantener la superficie del eje totalmente lisa y evitar atascamientos de los rodamientos

b) **Sistema de riel y guía deslizante:** También conocidos como guías lineales, son sistemas de alta gama que utilizan rodamientos para mover una carga a lo largo de un camino recto.

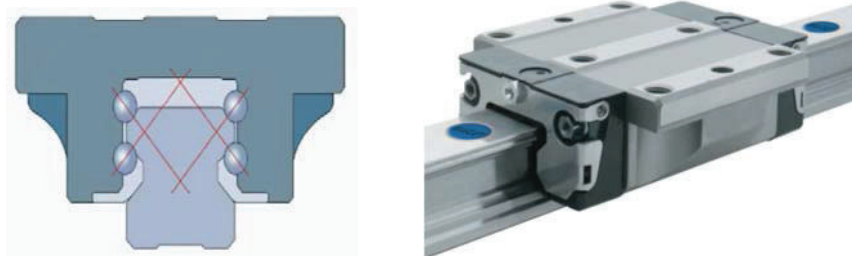


Figura 2.9 Riel y carro o guía deslizante²³

²² SKF(1997); Recuperado de <http://www.skf.com/es/products/linear-motion/index.html> (abril, 2015)

²³ SKF(1907); Recuperado de <http://www.skf.com/es/products/linear-motion/index.html> (abril, 2015)

Tabla 2.3 Ventajas y desventajas del sistema de guiado con riel y carro con hileras de rodamientos de bolas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Presentan elevada resistencia y precisión de movimiento - Utilizan rodamientos de bolas para mover la carga por lo que tienen alta eficiencia y muy baja fricción especialmente si son rodamientos re circulantes - Existe amplia gama de producto - Presentan diferentes alternativas de montaje, en todas permiten auto alineación del sistema - Mayor vida útil y mantenimiento reducido 	<ul style="list-style-type: none"> - Alto costo inicial - No existe amplia disponibilidad en el mercado local, solo bajo pedido

c) **Guía lineal con rodillos perfilados:** Éste tipo de guía utiliza ruedas de acero con un perfil en “C” en todo el perímetro que están en contacto contra una pista o riel que tiene un perfil complementario.

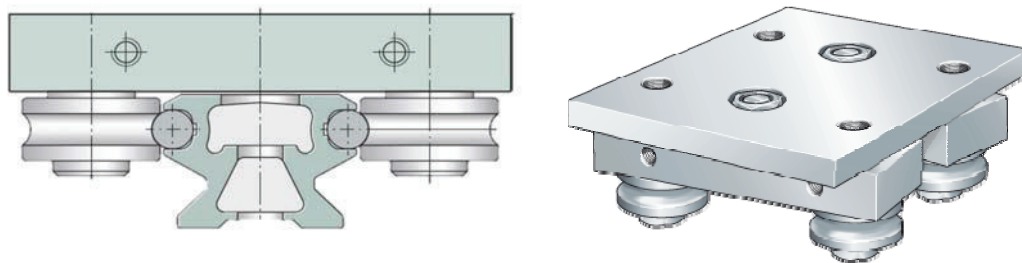


Figura 2.10 Guía lineal con rodillos perfilados²⁴

²⁴ SCHAEFFLER Iberia (2008): “Schaeffler Group Industrial”; Recuperado de http://www.schaeffler.com/remotemedien/media/_shared_media/08_media_library/01_publications/schaeffler_2/catalogue_1/downloads_6/lfi_es_es.pdf (abril, 2015)

Tabla 2.4 Ventajas y desventajas del sistema de guiado con rodillos perfilados

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Pueden trabajar a elevada velocidad de desplazamiento y largos recorridos manteniendo precisión en todo el trayecto - Amplia capacidad de carga - Elevada rigidez y resistencia 	<ul style="list-style-type: none"> - Requieren mayor disponibilidad de espacio por el tamaño de sus elementos - Difícil de adquirir en el medio local - Requiere calibraciones precisas - Presenta mayor resistencia al desplazamiento

2.2.2.2 Sistema Motriz

Cada eje emplea un sistema de transmisión lineal que moverá la antorcha en las direcciones que se requieren. El sistema de transmisión lineal de la máquina CNC debe incluir un motor que reciba la señal del sistema de control y se genere el movimiento. Los motores que utilizan en este tipo de máquinas son:

- a) **Servomotores:** Los servomotores son un tipo especial de motores de corriente continua, se caracterizan por su capacidad para posicionarse de forma inmediata dentro de un intervalo de operación. Los servomotores ofrecen un sistema de ciclo cerrado, que significa que después de recibir las direcciones de un control CNC, envían la señal de regreso al control que verifica que haya completado la tarea. En general, los servomotores están compuestos de cuatro elementos fundamentales:
- Motor DC: Es el elemento que brinda la movilidad.
 - Engranajes reductores: Se encarga de reducir la alta velocidad de giro del motor para aumentar la capacidad de torque.
 - Sensor de desplazamiento: Como un potenciómetro que se utiliza para conocer la posición angular del eje del motor.
 - Circuito de control: es una placa electrónica que controla la posición por retroalimentación, es decir, compara la posición de referencia con la posición actual.

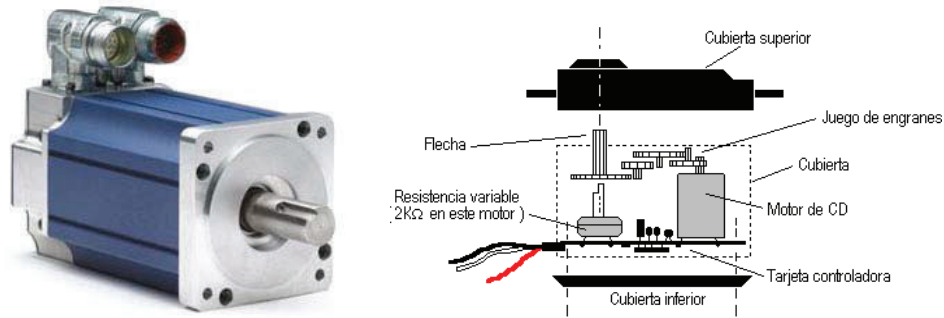


Figura 2.11 Esquema básico para servomotores

Tabla 2.5 Ventajas y desventajas de los servomotores

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Son muy versátiles en aplicaciones de automatización y máquinas CNC - Se puede utilizar en operaciones de alta velocidad y aceleración - Bajo consumo de energía - El ruido y la vibración que generan es muy pequeño - Método de control de ciclo cerrado - Presentan muy buena repetitividad especialmente si el encoder es configurado correctamente 	<ul style="list-style-type: none"> - Costo elevado - El diseño del driver es muy complicado, el motor y el circuito están soldados en conjunto - Al incorporar un encoder es más susceptible a fallos - Requieren una correcta calibración del PID para funcionamiento correcto

- b) **Motor paso a paso:** A diferencia de los motores de corriente continua convencionales que giran a todo lo que dan cuando son conectados a la fuente de alimentación, los motores de paso (PaP) solamente giran en un ángulo determinado. Si una o más de sus bobinas están energizadas, el motor estará enclavado en la posición correspondiente y por el contrario quedará completamente libre sino circula energía por ninguna de sus bobinas.

Tabla 2.6 Ventajas y desventajas de los motores PaP

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - El circuito driver es simple, puede ser fácilmente fabricado - Se puede controlar fácilmente su velocidad desde el computador - Bajo costo - Presentan alto torque a bajas velocidades (RPM) - Mecánicamente son muy simples y no disponen de partes consumibles 	<ul style="list-style-type: none"> - Produce notable ruido y vibración - No se puede utilizar para tareas de rotación de alta velocidad - Método de control de ciclo abierto

En el siguiente capítulo se ampliará la información acerca de los servomotores y motores de paso a fin de seleccionar la alternativa más conveniente para la generación del movimiento conjuntamente con el sistema de control electrónico de la máquina.

2.2.2.3 Sistema de Transmisión de Movimiento

Cuando se trata de máquinas CNC es de particular interés obtener elevada precisión en todos los movimientos de la máquina. En esta sección se analizó algunas formas de transmitir la potencia rotativa de un motor en movimiento lineal. A continuación se detallan algunas posibilidades para convertir este movimiento:

a) Tornillo y tuerca ACME

**Figura 2.12** Husillo ACME y tuerca

Tabla 2.7 Ventajas y desventajas de un husillo ACME

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Diseño sencillo y fácil de fabricar, no se requiere máquina especializada para su construcción - Elevada capacidad de transmisión de potencia y de transporte de carga - Número mínimo de piezas - Costo reducido 	<ul style="list-style-type: none"> - Generalmente trabajan con un elevado rozamiento entre roscas, por lo que su eficiencia es baja y no pueden ser usados en aplicaciones de transmisión de potencia continua - Existe un desgaste muy alto tanto del tornillo como de la tuerca, dependiendo de los materiales. Por lo que requieren mantenimiento continuo y lubricación - La precisión disminuye cuando se trata de mover la carga en largas carreras

- b) Husillo de bolas: Es un actuador lineal que permite convertir el movimiento de rotación del husillo o tuerca en movimiento lineal. La tuerca internamente dispone de una hilera de rodamientos que están en contacto con los surcos del husillo permitiendo el desplazamiento.

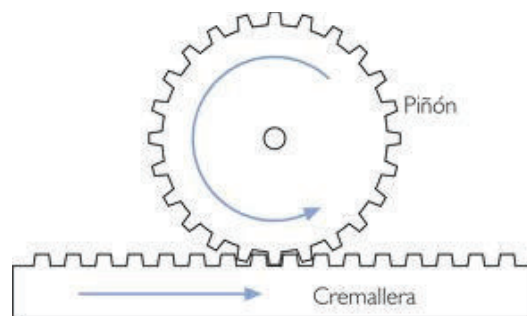
**Figura 2.13** Husillo de bolas²⁵

²⁵ SKF(1907); Recuperado de <http://www.skf.com/es/products/linear-motion/index.html> (abril, 2015)

Tabla 2.8 Ventajas y desventajas de un husillo de bolas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Reducida fricción, lo que se traduce en una alta eficiencia mecánica - La falta de fricción de deslizamiento entre la tuerca y el tornillo permite una larga vida útil del conjunto del husillo - Extremada precisión 	<ul style="list-style-type: none"> - Dependiendo de su ángulo de avance, los husillos de bolas pueden retroceder debido a su bajo rozamiento interno - Elevado costo - Difícil de adquirir en el mercado local

c) Piñón - Cremallera

**Figura 2.14** Mecanismo Piñón – cremallera**Tabla 2.9** Ventajas y desventajas del mecanismo piñón- cremallera

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Transmite potencias elevadas con apreciable precisión - Fácil de diseñar y construir. Para carreras largas se pueden empalmar diferentes tramos - Ofrece mejor desplazamiento de la carga en carreras largas 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere mantenimiento continuo y lubricación - Requiere alineación precisa para disminuir holguras - Al utilizar este sistema, el motor está en movimiento por lo que se requiere mayor cuidado con los cables y conexiones

2.2.3 MATRIZ MORFOLÓGICA

A continuación se estableció una matriz morfológica que permitió visualizar las diferentes alternativas planteadas para llevar a cabo cada función de la máquina. Adicionalmente, permitió crear algunos escenarios para el análisis de las combinaciones posibles. En este caso, las combinaciones fueron determinadas por la coherencia y por la investigación realizada a los productos de la competencia.

Tabla 2.10 Matriz morfológica

FUNCIONES		SOLUCIONES			ALTERNATIVAS	
MOVIMIENTO	EJE X	TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO EJE X	HUSILLO DE BOLAS	HUSILLO ACME	PIÑÓN CREMALLERA	SOLUCIÓN A SOLUCIÓN B SOLUCIÓN C
		GUIADO LINEAL EJE X	RODILLOS PERFILADOS	RODAMIENTO LINEAL	RIEL Y GUÍA DESLIZANTE	
	EJE Y	TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO EJE Y	HUSILLO DE BOLAS	HUSILLO ACME	PIÑÓN CREMALLERA	SOLUCIÓN A SOLUCIÓN B SOLUCIÓN C
		GUIADO LINEAL EJE Y	RODILLOS PERFILADOS	RODAMIENTO LINEAL	RIEL Y GUÍA DESLIZANTE	
	EJE Z	TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO EJE Z	HUSILLO DE BOLAS	HUSILLO ACME	PIÑÓN CREMALLERA	SOLUCIÓN A SOLUCIÓN B SOLUCIÓN C
		GUIADO LINEAL EJE Z	RODILLOS PERFILADOS	RODAMIENTO LINEAL	RIEL Y GUÍA DESLIZANTE	

De este análisis se descartaron algunas combinaciones y se establecieron tres posibles soluciones para el movimiento de los ejes X, Y y Z, representadas por las líneas continuas de color azul, rojo y verde.

Estas soluciones parciales fueron analizadas y valoradas en una matriz de selección, con base en los requerimientos, especificaciones, deseos y exigencias particulares del cliente.

2.2.4 EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL MOVIMIENTO DE LOS EJES X, Y, Z

Los criterios de evaluación que se consideraron más determinantes son los siguientes:

- a) Precisión: Se requiere de una máquina con una buena repetitividad y tolerancias muy ajustadas del producto final y esto depende indirectamente de los elementos que transmiten el movimiento y los sistemas de guiado.
- b) Facilidad de montaje y desmontaje: Es necesario que los elementos tengan cierta facilidad de instalación y una adecuada interacción entre sí para garantizar un correcto funcionamiento. Además, deben permitir realizar ajustes y verificaciones, así como también facilitar las operaciones de mantenimiento.
- c) Fiabilidad: Los elementos deben reducir al máximo la posibilidad de fallar en su funcionamiento y generar paros repentinos.
- d) Costo: Se debe considerar elementos de costo moderado con la finalidad de que la máquina sea competitiva en el mercado local, sin dejar de lado la calidad.

Para la selección de alternativas se aplicó el método de criterios ponderados²⁶ que establece inicialmente evaluar el peso específico de cada criterio. En la tabla 2.11 se observa esta valoración.

Tabla 2.11 Evaluación del peso específico de cada criterio

Fiabilidad > Precisión > Facilidad de Montaje > Costo						
Criterio	Precisión	Facilidad de montaje	Fiabilidad	Costo	$\Sigma + 1$	Ponderado
Precisión		0.5	0.5	1	3	0.3
Facilidad de montaje	0.5		0	0.5	2	0.2
Fiabilidad	0.5	1		1	3.5	0.35
Costo	0	0.5	0		1.5	0.15
SUMA					10	1

²⁶ RIBA, Carles; "Diseño Concurrente", primera edición; Universidad Politécnica de Cataluña ETSEIB; 2002; p. 59-62.

Para el Eje X, se evaluaron las siguientes soluciones:

- Solución 1: Husillo de bolas y rodillos perfilados
- Solución 2: Husillo ACME y rodamiento lineal
- Solución 3: Piñón-Cremallera y riel con guía deslizante

Tabla 2.12 Evaluación del peso específico del criterio *precisión* para el eje X

Precisión	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma + 1$	Ponderado
Solución 1		1	1	3	0,50
Solución 2	0		0	1	0,17
Solución 3	0	1		2	0,33
			SUMA	6	1

Tabla 2.13 Evaluación del peso específico del criterio *facilidad de montaje* para el Eje X

Facilidad de Montaje	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma + 1$	Ponderado
Solución 1		0,5	0	1,5	0,25
Solución 2	0,5		0	1,5	0,25
Solución 3	1	1		3	0,50
			SUMA	6	1

Tabla 2.14 Evaluación del peso específico del criterio *fiabilidad* para el eje X

Fiabilidad	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma + 1$	Ponderado
Solución 1		1	0,5	2,5	0,42
Solución 2	0		0	1	0,17
Solución 3	0,5	1		2,5	0,42
			SUMA	6	1

Tabla 2.15 Evaluación del peso específico del criterio *Bajo Costo* para el eje X

Bajo Costo	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma + 1$	Ponderado
Solución 1		0	0	1	0,17
Solución 2	1		1	3	0,50
Solución 3	1	0		2	0,33
			SUMA	6	1

En Conclusión, para el eje X:

Criterio	Precisión	Facilidad de montaje	Fiabilidad	Costo	Σ	Prioridad
Solución 1	0.15	0.05	0.15	0.03	0.37	2
Solución 2	0.05	0.05	0.06	0.08	0.23	3
Solución 3	0.10	0.10	0.15	0.05	0.40	1

Para el Eje Y, se evaluaron las siguientes soluciones:

- Solución 1: Husillo de bolas y riel con guías deslizantes
- Solución 2: Husillo ACME y rodamiento lineal
- Solución 3: Piñón-Cremallera y riel con guías deslizantes

Tabla 2.16 Evaluación del peso específico del criterio *precisión* para el eje Y

Precisión	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma + 1$	Ponderado
Solución 1		1	1	3	0,50
Solución 2	0		0	1	0,17
Solución 3	0	1		2	0,33
			SUMA	6	1

Tabla 2.17 Evaluación del peso específico del criterio *facilidad de montaje* para el Eje Y

Facilidad de Montaje	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma + 1$	Ponderado
Solución 1		0,5	0	1,5	0,25
Solución 2	0,5		0	1,5	0,25
Solución 3	1	1		3	0,50
SUMA				6	1

Tabla 2.18 Evaluación del peso específico del criterio *fiabilidad* para el eje Y

Fiabilidad	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma + 1$	Ponderado
Solución 1		1	0,5	2,5	0,42
Solución 2	0		0,5	1,5	0,25
Solución 3	0,5	0,5		2	0,33
SUMA				6	1

Tabla 2.19 Evaluación del peso específico del criterio *Bajo Costo* para el eje Y

BajoCosto	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma + 1$	Ponderado
Solución 1		0	0	1	0,17
Solución 2	1		1	3	0,50
Solución 3	1	0		2	0,33
SUMA				6	1

En Conclusión, para el eje Y:

Criterio	Precisión	Facilidad de montaje	Fiabilidad	Costo	Σ	Prioridad
Solución 1	0.15	0.05	0.15	0.03	0.37	1
Solución 2	0.05	0.05	0.09	0.08	0.26	2
Solución 3	0.10	0.10	0.12	0.05	0.37	1

Para el Eje Z, se evaluaron las siguientes soluciones:

- Solución 1: Husillo de bolas y rodamiento lineal
- Solución 2: Husillo ACME y rodamiento lineal
- Solución 3: Husillo ACME y riel y guías deslizantes

Tabla 2.20 Evaluación del peso específico del criterio *precisión* para el eje Z

Precisión	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma + 1$	Ponderado
Solución 1		1	0.5	2.5	0.42
Solución 2	0		0	1	0.17
Solución 3	0.5	1		2.5	0.42
SUMA				6	1

Tabla 2.21 Evaluación del peso específico del criterio *facilidad de montaje* para el Eje Z

Facilidad de Montaje	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma + 1$	Ponderado
Solución 1		0	0.5	1.5	0.25
Solución 2	1		1	3	0.50
Solución 3	0.5	0		1.5	0.25
SUMA				6	1

Tabla 2.22 Evaluación del peso específico del criterio *fiabilidad* para el eje Z

Fiabilidad	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma + 1$	Ponderado
Solución 1		0.5	0.5	2	0.33
Solución 2	0.5		0.5	2	0.33
Solución 3	0.5	0.5		2	0.33
SUMA				6	1

Tabla 2.23 Evaluación del peso específico del criterio *Bajo Costo* para el eje Z

Bajo Costo	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma + 1$	Ponderado
Solución 1		0	0	1	0.17
Solución 2	1		1	3	0.50
Solución 3	1	0		2	0.33
SUMA				6	1

En Conclusión, para el eje Z:

Criterio	Precisión	Facilidad de montaje	Fiabilidad	Costo	Σ	Prioridad
Solución 1	0.13	0.05	0.12	0.03	0.32	3
Solución 2	0.05	0.10	0.12	0.08	0.34	1
Solución 3	0.13	0.05	0.12	0.05	0.34	1

Finalmente un esquema general de la alternativa seleccionada se muestra a continuación

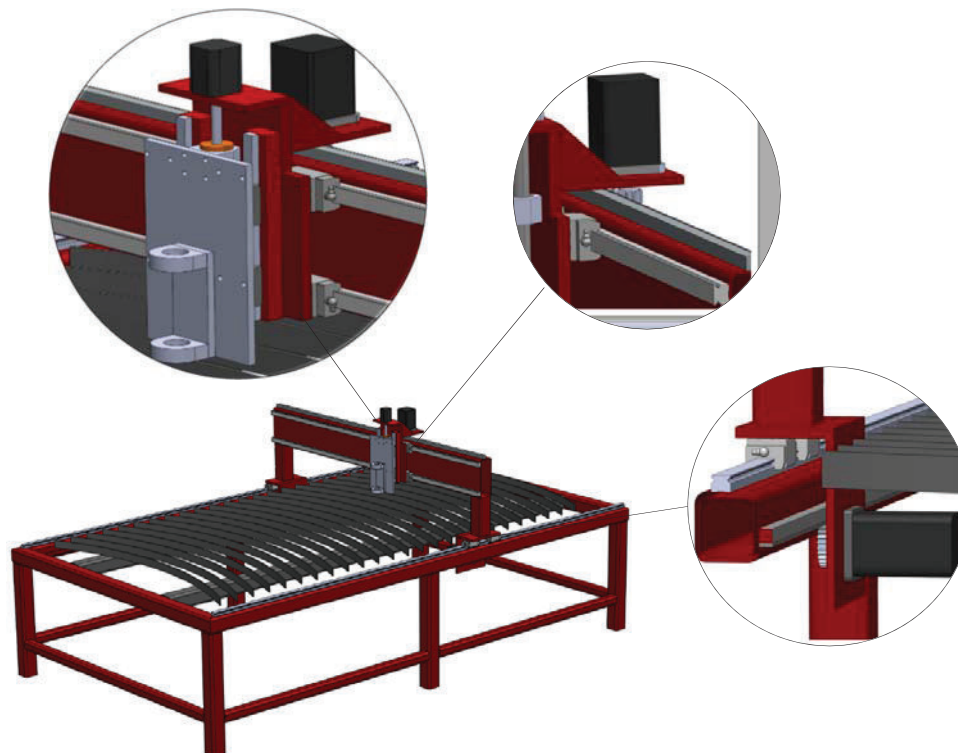


Figura 2.15 Esquema unificado de alternativa seleccionada

2.2.5 SOLUCIÓN PARA EL CORTE DE LA PLANCHA METÁLICA

Para cortar la plancha metálica se consideró la tecnología de corte por plasma en el diseño de la máquina cortadora CNC, para esto se analizó algunos conceptos fundamentales para entender las ventajas y desventajas de este proceso.

2.2.5.1 Plasma

Al definir las diversas formas de la materia, es común agruparlos en estados distintos, tales como: sólido, líquido o gas. Sin embargo hay otro estado fundamental de la materia, llamado plasma, que puede ocurrir bajo ciertas condiciones.

Toda la materia está hecha de átomos, que son fundamentalmente los bloques de construcción de los objetos cotidianos. Los átomos están compuestos de protones (con carga positiva), electrones (carga negativa) y neutrones (sin carga). Los átomos se combinan para formar moléculas.

Un átomo de gas típico contiene un número igual de cargas positivas y negativas. Por lo tanto, las cargas positivas en el núcleo están rodeadas por un número igual de electrones cargados negativamente, por lo que cada átomo es eléctricamente neutro. Como se aprecia en la figura 2.16, el plasma se forma cuando la adición de calor u otra energía provoca un número de átomos para liberar algunos o todos sus electrones. Las partes restantes de los átomos se quedan con una carga positiva y los electrones separados son libres para moverse. Estos átomos y el gas cargado eléctricamente resultante se dice que está "ionizado". Cuando suficientes átomos se ionizan para afectar significativamente las características eléctricas del gas, se convierte en plasma. El plasma genera fuerzas electromagnéticas²⁷.

²⁷Lincoln Electric (1999); "What is Plasma"; Recuperado de <http://www.lincolnelectric.com/es-es/support/welding-how-to/Pages/what-is-plasma.aspx> (abril, 2015)

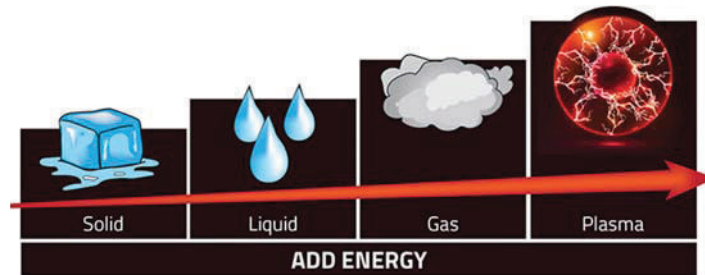


Figura 2.16. Los cuatro estados de la materia²⁸

2.2.5.2 Descripción del Proceso

El corte por arco de plasma es un proceso que corta el metal usando el calor de un arco de plasma de una boquilla contraída para fundir un área localizada. El metal fundido es removido por una corriente de gas ionizado con alta velocidad y temperatura. Las características del chorro de plasma varían de acuerdo a la velocidad de flujo de gas, tamaño del orificio de la boquilla, corriente de arco así como el tipo de gas usado.

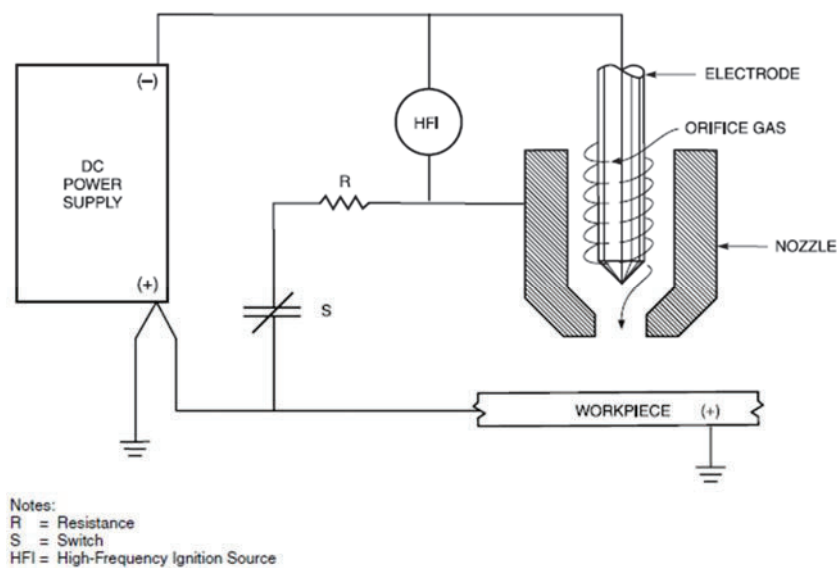


Figura 2.17. Circuito básico de la antorcha para arco de plasma
(AWS C5.2, 2001, p. 3)

En la figura 2.17, se aprecia el circuito básico para un sistema de arco de plasma. El ciclo de operación inicia al provocar que el gas de plasma fluya alrededor del

²⁸ Lincoln Electric (1999); "What is Plasma"; Recuperado de <http://www.lincolnelectric.com/es-es/support/welding-how-to/Pages/what-is-plasma.aspx> (abril, 2015)

electrodo y salga a través del orificio de la boquilla. La pieza de trabajo se conecta a tierra y una corriente de circuito abierto DC de 250V-400V es aplicado al electrodo formando un arco de plasma que es direccionado por la boquilla hacia la pieza de trabajo²⁹.

2.2.6 SELECCIÓN DE LA CORTADORA DE PLASMA

En el país se distribuyen y comercializan algunas marcas de máquinas para corte por plasma, entre las más reconocidas se tiene: Lincoln, ESAB, Miller y otros.

El primer factor que se necesita establecer es el espesor del metal para corte que con mayor frecuencia se requiere. De acuerdo a las especificaciones técnicas de la máquina, la profundidad de corte requerida es de 15mm Para el corte de producción, una buena práctica es elegir una máquina que pueda manejar aproximadamente 1.5 veces el grosor de corte normal.

Para la selección del equipo de corte por plasma se consideró la facilidad de adaptación de éste tanto a una operación manual como a una operación mecanizada como es el caso de un CNC. Por ello y luego de revisar algunas marcas se ha considerado conveniente el equipo de la marca ESAB, POWERCUT 1300. En el anexo I se presenta una hoja de especificaciones de éste equipo.



Figura 2.18. Equipo ESAB para corte por plasma³⁰

²⁹ AWS C5.2, "Recommended Practices for Plasma Arc Cutting and Gouging"; 2001; p 1-3

³⁰ TOMAHAWK 375 AIR, Lincoln Electric; "Manual del Operador"; 2012; p. B1-B3

En la tabla 2.24 se detalla las velocidades de corte recomendadas para acero al carbono según el espesor del material.

Tabla 2.24 Velocidad de corte recomendada POWERCUT 1300 ESAB
(ESAB Welding and Cutting Products POWERCUT 1300 ESAB)

Espesor		Velocidad de corte		
In	mm	ipm	mm/min	
0,125	3,2	140	3,556	Recomendado
0,25	6,4	47	1,194	
0,375	9,5	25	635	
0,5	12,7	10	254	
0,625	15,9	25	635	
0,75	19,1	4	101	
1	25,4	12	304	
1,25	31,8	10	254	
1,5	38,1	5	127	Max.

En el proceso de corte de plasma, se utiliza ya sea una antorcha manual o una mecánica. Lo ideal para una máquina CNC de trabajo continuo es una antorcha mecánica que consiste en un soplete de forma tubular con características robustas que garantizan su operatividad.

Las antorchas mecánicas pueden montarse sobre un sistema controlado por un ordenador o un robot. Usualmente la antorcha debe estar separada de la pieza de trabajo de 3 a 6 mm para lograr una mejor calidad en el corte. Algunas antorchas mecánicas están equipadas con un dispositivo de control automático que se conoce comúnmente como Control de Altura de Antorcha (THC por sus siglas en ingles) que mantiene una distancia fija entre la antorcha y el material³¹.

Las características de la antorcha definitivamente lo define la marca y está claro que cuando la marca es reconocida, mayor es el costo de la misma y en lo particular, los beneficios de utilizar una marca reconocida es el soporte técnico que ofrecen. Otro punto importante es que los consumibles sean de fácil adquisición.

³¹ SINGH, Vivek; "Analysis of process parameters of Plasma Arc Cutting using design of experiments", National Institute Technology Roukela Lincoln Electric; 2011; p 41 – 43

2.3 DISEÑO DE DETALLE

En base al análisis de alternativas, en el presente capítulo se dimensionó y seleccionó los diferentes elementos y mecanismos que componen la máquina. Posteriormente se levantó los planos constructivos de las partes y lista de materiales.

2.3.1 DISEÑO EJE Z

El movimiento en el eje Z, como ya se ha mencionado, permite la regulación de la altura de la antorcha respecto de la pieza a cortar, esta separación es muy importante ya que determina la calidad del corte. Para el diseño del eje Z se planteó inicialmente un esquema general que se detalla en la figura 2.19.

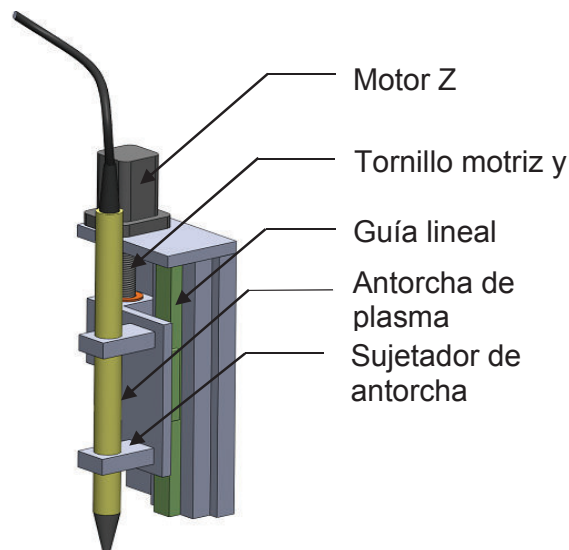


Figura 2.19 Esquema para EJE Z

Se trata de un sistema accionado por un motor que gira a un tornillo motriz que a su vez desplaza una placa donde se fija la antorcha de plasma. Ésta placa está guiada mediante un carro de rodamientos y riel.

2.3.1.1 Dimensionamiento

Para la aplicación requerida, el plasma seleccionado POWER CUT 1300 dispone de la antorcha PT37 para modo automático, éste tipo de antorchas tienen una área específica de montaje que se muestra en la figura 2.20.



Figura 2.20 Antorcha PT37 ESAB para máquinas automáticas
(ESAB Sopletes de corte plasmarc PT37)

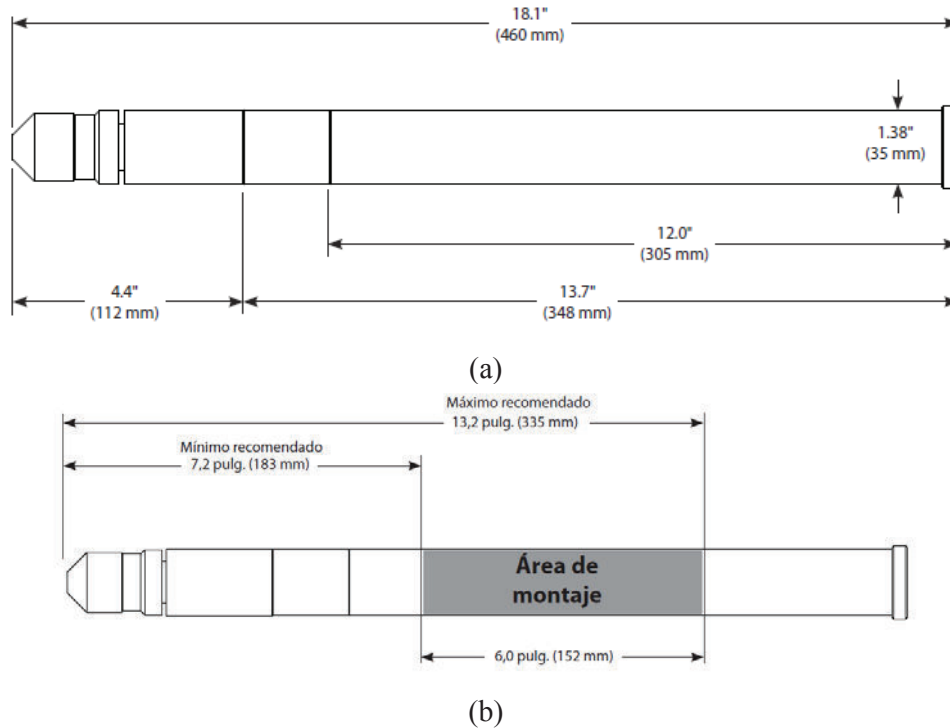


Figura 2.21 (a) Dimensiones de antorcha PT37 (b) Área disponible para el montaje
(ESAB Sopletes de corte plasmarc PT37, 125)

En base a las dimensiones mostradas en la figura anterior se estableció la fijación de la antorcha y la carrera vertical de la misma. La sujeción se realizó mediante un elemento en forma de abrazadera de manera que permita un desmontaje rápido.

A continuación se planteó algunos parámetros para determinar la carrera vertical de la antorcha.

- La separación óptima para el corte por plasma es de 3 a 6mm
- Posibilidad de acoplar antorcha recta y manual
- Posibilidad para cortar planchas hasta 50mm de espesor

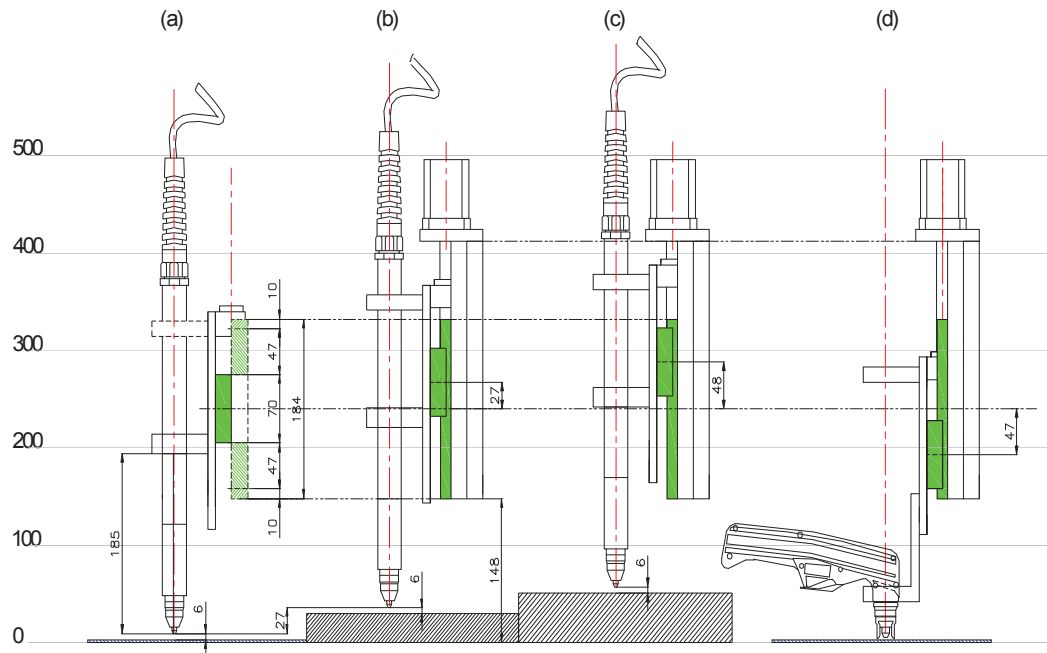


Figura 2.22 Dimensionamiento eje Z

El gráfico (a) de la figura 2.22 presenta el dimensionamiento de la longitud de la guía. La carrera necesaria para el corte de espesores entre 3 y 50mm es 48mm. Adicionalmente se consideró una zona de seguridad de 10mm, suponiendo que el carro deslizante no tendría más de 70mm de largo, la riel necesitaría una longitud mínima de 184mm. Finalmente la geometría para el eje Z incorpora el soporte para el motor que generará el movimiento en el eje Y, como se muestra en la figura 2.23.

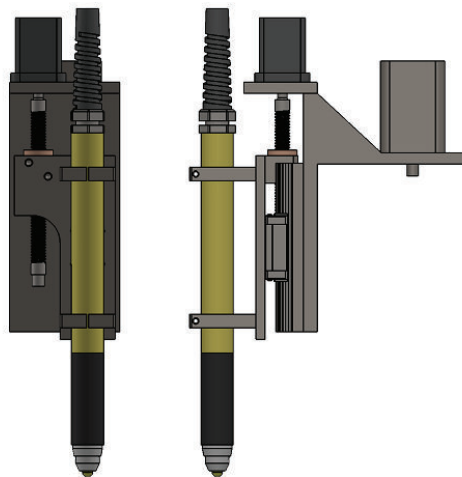


Figura 2.23 Geometría definida para el eje Z

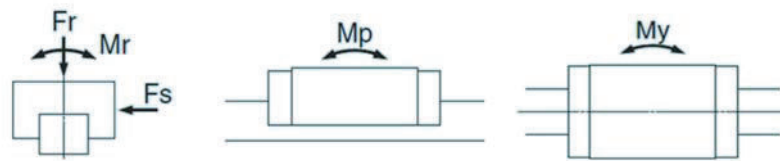
2.3.1.2 Selección de guía lineal

Para este diseño, se consideró utilizar guías lineales de la marca THK. Estas guías se seleccionan de acuerdo al tipo y magnitud de la carga que requieran soportar, en el anexo II se muestran los diferentes tipos de guías para movimiento lineal y las aplicaciones que ofrece ésta marca.

Todos los fabricantes de guías lineales utilizan dos valores de carga básicos de acuerdo a la norma ISO 14728-1 y 14728-2 para carga estática y carga dinámica. El valor de carga dinámica (C) se utiliza para el cálculo de la vida útil y el valor de carga estática (C0) define la carga estática máxima admisible.

Un sistema de movimiento lineal puede estar sujeto a una carga radial (F_r), una carga lateral (F_s) en varias direcciones y momentos que se definen en tres direcciones, M_r , M_p y M_y .

En la siguiente figura se muestra gráficamente las cargas sobre una guía lineal:



- Fr: Fuerza radial sobre la guía
- Fs: Fuerza lateral sobre la guía
- Mr: Momento de balanceo (Rolling)
- Mp: Momento de oscilación (Pitching)
- My: Momento de guiñada (Yawing)

Figura 2.24 Cargas y momentos que actúan sobre los sistemas de movimiento lineal
(Precision Machine Components, 2008, p. A17)

Al estar en movimiento o en reposo, un sistema de movimiento lineal puede estar sometido a fuerzas externas imprevistas causadas por vibraciones, impactos o fuerzas inerciales debido al arranque y parada de las cargas. Se debería considerar el factor de seguridad estática (f_s) para tener en cuenta estas fuerzas. Este factor representa la proporción de la capacidad de transporte de la carga (o valor básico de la carga estática C_0) de un sistema de movimiento lineal respecto a la carga que actúa sobre dicho sistema.

$$f_s = \frac{M_o}{M} \quad \text{o} \quad f_s = \frac{C_o}{P} \quad [2.1]$$

fs: Factor de seguridad

Co: Valor básico de carga estática

Mo: Momentos estáticos admisibles (MA, MB, MC)

M: Momento de diseño

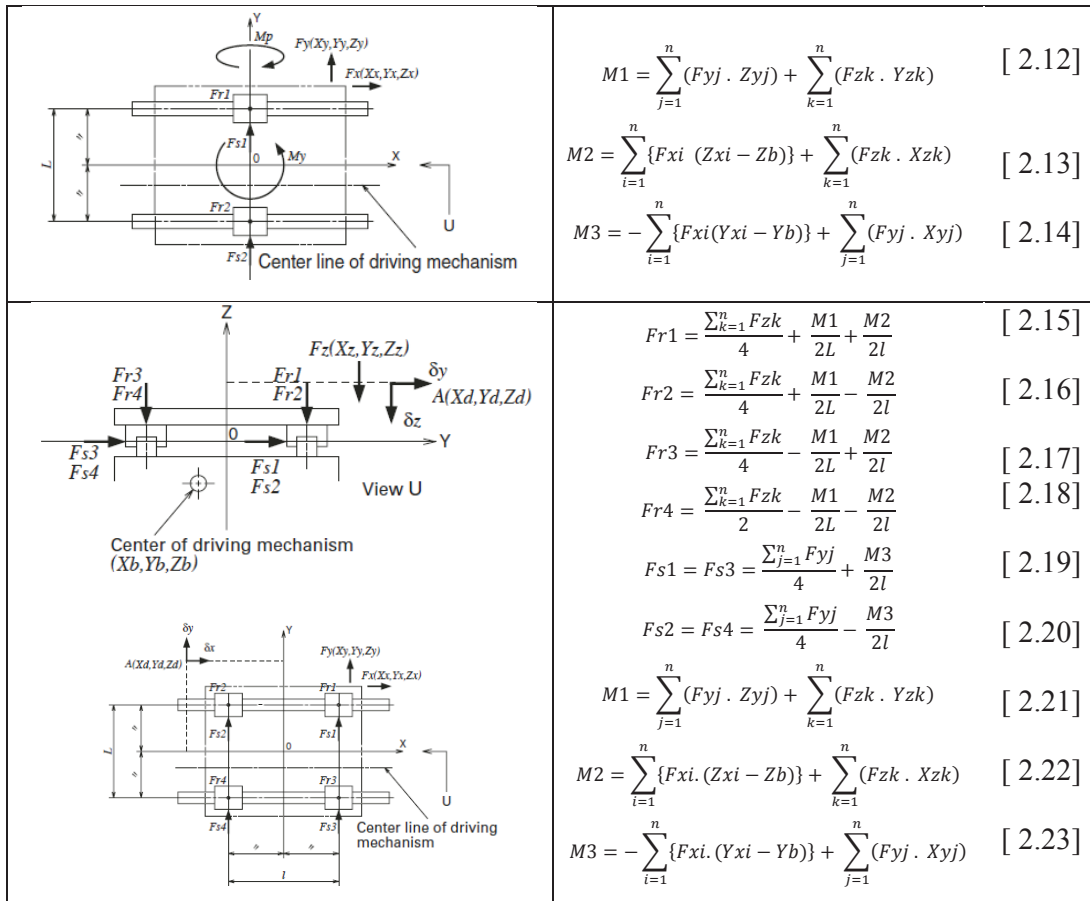
P: Carga de diseño

En la tabla 2.25 se muestra las ecuaciones para calcular las cargas que se aplican sobre algunos patrones típicos para el montaje de guías lineales en máquinas industriales. Estas ecuaciones nacen de un análisis estático de equilibrio en tres dimensiones.

Tabla 2.25 Ecuaciones para cálculo de cargas sobre guías lineales³²

Patrón de montaje	Ecuación
	$Fr1 = \sum_{k=1}^n Fzk \quad [2.2]$ $Fs1 = \sum_{j=1}^n Fyj \quad [2.3]$ $Mr1 = \sum_{j=1}^n (Fyj \cdot Zyj) + \sum_{k=1}^n (Fzk \cdot Yzk) \quad [2.4]$ $Mp1 = \sum_{i=1}^n \{ Fxi \cdot (Zxi - Zb) \} + \sum_{k=1}^n (Fzk \cdot Xzk) \quad [2.5]$ $My1 = - \sum_{i=1}^n \{ Fxi \cdot (Yxi - Yb) \} + \sum_{j=1}^n (Fyj \cdot Xyj) \quad [2.6]$
	$Fr1 = \frac{\sum_{k=1}^n Fzk}{2} + \frac{M1}{L} \quad [2.7]$ $Fr2 = \frac{\sum_{k=1}^n Fzk}{2} - \frac{M1}{L} \quad [2.8]$ $Fs1 = Fs2 = \frac{\sum_{j=1}^n Fyj}{2} \quad [2.9]$ $Mp1 = Mp2 = \frac{M2}{2} \quad [2.10]$ $My1 = My2 = \frac{M3}{2} \quad [2.11]$

³² NSK Linear Guides; “Precision Machine Components”; primera edición, Japan NSK Ltd; Japón; 2008; p. 17-20.



El proceso de selección de las guías lineales es iterativo, es decir, inicialmente se selecciona el tamaño y se toman del catálogo las cargas admisibles para posteriormente evaluar el factor de seguridad con base a las cargas calculadas.

Por facilidad de montaje se seleccionó el modelo de guía HSR-R de la marca THK.

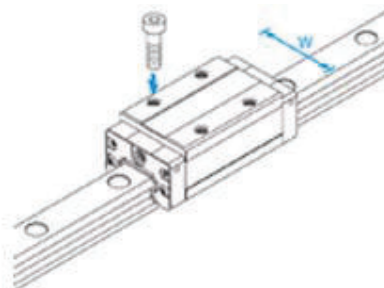
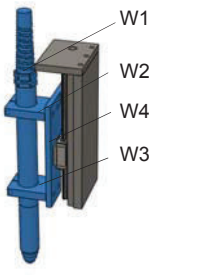


Figura 2.25 Guía lineal para el eje Z, Modelo HSR-R
(LM Guide Model HSR THK; 2011; p. a296, a297)

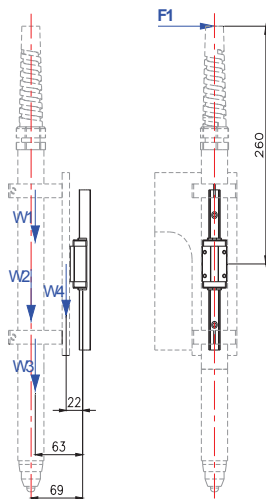
Utilizando el software CAD SolidWorks se estimó el peso aproximado de los diferentes componentes. Se ha considerado utilizar un factor de seguridad de 1.2 para el peso, ya que en algunos casos se desconoce el material o dimensión exacta y se requiere hacer algunas suposiciones.

Tabla 2.26 Peso de componentes EJE Z – selección de guía

	Elemento	Den.	Material	Peso
	Antorcha	W1	Varios	8 Kg
	Sujetador superior	W2	Acero	0.4 Kg
	Sujetador inferior	W3	Acero	0.4 Kg
	Placa base	W4	Acero	1.2 Kg
Total ($\Sigma \cdot 1.2$)				12 Kg

Adicionalmente se consideró una fuerza aproximada de 80N por la tensión o peso del cable de la antorcha de plasma.

Observando el esquema propuesto para el eje Z, el montaje de la guía lineal corresponde al patrón Nro. 1 indicado en la tabla 2.25 por lo que se utilizarán las ecuaciones correspondientes.



$$F_r = \sum_{k=1}^n F_{xi} = 0$$

$$F_s = \sum_{k=1}^n F_{xi} = F_1 = 80N$$

En coordenadas de la máquina en diseño:

$$M_r = \sum_{i=1}^n (F_{xi} \cdot Y_{xi}) + \sum_{j=1}^n (F_{yj} \cdot X_{yj})$$

$$M_r = 80(0.069) = 5.52 \text{ N m}$$

$$M_p = \sum_{k=1}^n (F_{zk} \cdot X_{zk}) + \sum_{i=1}^n (F_{xi} \cdot Z_{xi})$$

$$M_p = 8(1.2)(69) + 0.4(1.2)(63) + 0.4(1.2)(63) + 1.2(1.2)(22)$$




$$M_p = 754.56 \text{ Kg mm} = 7.55 \text{ N m}$$

$$M_y = - \sum_{j=1}^n (F_{yj} \cdot Z_{yj}) + \sum_{k=1}^n (F_{zk} \cdot Y_{zk})$$

$$M_y = 80(0.260) = 20.8 \text{ N m}$$

El tamaño de guía seleccionado corresponde al modelo HSR-20R. A continuación en la tabla 2.27 se presenta la información y resultados del cálculo del factor de seguridad para este modelo. Mayor información del modelo seleccionado de puede ver en el anexo III.

Tabla 2.27 Selección de tamaño de guía lineal para EJE Z

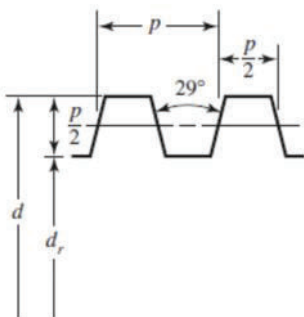
Momento admisible estático	Mp 	My 	Mr 
HSR20R	0.19 kN-m	0.19 kN-m	0.201 kN-m
FS	25.16	9.13	36.41

2.3.1.3 Cálculo tornillo motriz

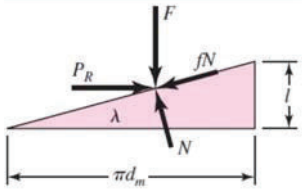
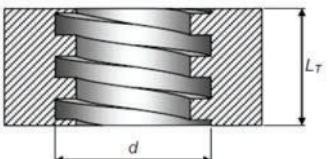
Los tornillos de transmisión son mecanismos o dispositivos que transforman movimiento giratorio en movimiento rectilíneo con el fin de transmitir fuerza o potencia mecánica. En base a la facilidad de construcción se decidió utilizar un tornillo de rosca ACME ya que admite un posicionamiento preciso más allá de la capacidad de carga que permiten mover.

A continuación se presentan las ecuaciones utilizadas en el cálculo.

Tabla 2.28 Ecuaciones para cálculo de tornillos de potencia

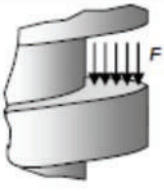
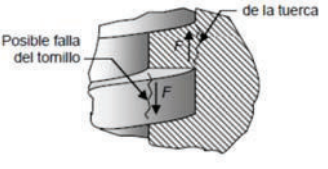
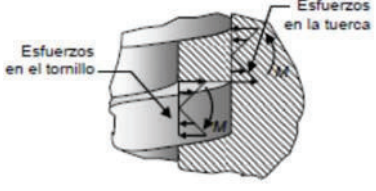
<p>Forma de rosca ACME y Par de torsión para subir y bajar la carga sin collarín³³.</p> 	$T_s = \frac{Fdm}{2} \left[\frac{\cos\phi \tan\lambda + \mu}{\cos\phi - \mu \tan\lambda} \right] \quad [2.24]$
	$T_b = \frac{Fdm}{2} \left[\frac{\mu - \cos\phi \tan\lambda}{\cos\phi + \mu \tan\lambda} \right] \quad [2.25]$
	$\tan\lambda = \frac{l}{\pi dm} \quad [2.26]$
	$l = n(p) \quad [2.27]$

³³ MOTT Robert; 'Diseño de Elementos de Máquina'; cuarta edición; Pearson Educación; México; 2006; p. 702.

 <p>DCL al subir la carga</p>	$e = \frac{T_s}{T_b} = \frac{F l}{2\pi T_s} \quad [2.28]$ <p>Dónde:</p> <p>Ts: Par torsional para subir la carga Tb: Par torsional para bajar la carga dm: Diámetro de paso F:Carga normal Φ:Ángulo de rosca 14.5° λ:Ángulo de avance μ: Coeficiente de fricción l: Altura del filete n: Número de entradas ρ: Paso e:Eficiencia</p>
<p>Altura de la tuerca³⁴</p> 	$L_T = Dm \varphi \quad [2.29]$ <p>Dónde:</p> <p>φ:Factor de construcción de la tuerca</p> $\varphi = \begin{cases} 1.8 - 2.5 ; \text{para tuerca de una pieza} \\ 2.5 - 3.5 ; \text{para tuerca partida} \end{cases}$ <p>Nota: Tomar valores cercanos a los inferiores cuando la tuerca y el tornillo son del mismo material y valores más grandes cuando el material de la tuerca sea menos resistente que el del tornillo.</p> $nt = \frac{L_t}{p} \quad [2.30]$ <p>Dónde:</p> <p>Lt: Altura de la tuerca nt: Número de filetes en contacto</p>
<p>Esfuerzos sobre los filetes del tornillo y la tuerca³⁵</p>	<p>Esfuerzo cortante en el cuerpo del tornillo</p> $\tau = \frac{16T_s}{\pi d r^3} \quad [2.31]$

³⁴ VANEGAS L (2011); “Diseño de Tornillos”. Recuperado de <http://www.utp.edu.co/~lvanegas/disI/Cap8.pdf> (mayo, 2015)

³⁵ SHIGLEY Joseph; “Diseño en Ingeniería Mecánica”, octava edición; McGraw Hill; México; 2008; p. 400-408.

 <p>(b) Aplastamiento. Los flancos del tornillo y de la tuerca soportan una carga de aplastamiento</p>  <p>(c) Barrido de los filetes por cortante</p>  <p>(d) Esfuerzos normales por flexión</p>	<p>Esfuerzo axial en el cuerpo del tornillo</p> $\sigma = \frac{F}{A} = \frac{4F}{\pi d r^2} \quad [2.32]$ <p>Factor de seguridad en el núcleo bajo carga axial y torsión</p> $\frac{1}{N^2} = \left(\frac{\sigma}{S_y}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{S_{ys}}\right)^2 \quad [2.33]$ <p>Dónde:</p> <p>Sy: Esfuerzo de fluencia $S_{ys} = 0.577 S_y$ Teoría de von Mises</p> <p>Esfuerzo de apoyo</p> $\sigma_B = \frac{F}{\pi d m n_t p/2} = \frac{2F}{\pi d m n_t p} \quad [2.34]$ <p>Esfuerzo flexionante en la raíz de la rosca</p> $\sigma_b = \frac{M}{I/c} = \frac{F p}{4 \pi d r n_t p^2} \frac{24}{p} = \frac{6F}{\pi d r n_t p} \quad [2.35]$ $\sigma_b = \frac{6F}{\pi d n_t p}; \text{ para la tuerca} \quad [2.36]$ <p>Esfuerzo cortante en la raíz de la rosca</p> $\tau_b = \frac{3V}{2A} = \frac{3}{2} \frac{F}{\pi d r n_t p/2} = \frac{3F}{\pi d r n_t p} \quad [2.37]$ $\tau_b = \frac{3F}{\pi d n_t p}; \text{ para la tuerca} \quad [2.38]$ <p>Factor de seguridad para los filetes bajo carga cortante</p> $N_b \geq \frac{S_{ys}}{\tau_b} \quad [2.39]$ <p>Factor de seguridad para filetes bajo carga de flexión</p> $N_{flex} \geq \frac{S_y}{\sigma_b} \quad [2.40]$
---	--

Por facilidad de construcción se seleccionó un tornillo con las siguientes características:

- $d = 5/8" = 0.625 \text{ in} = 0.01586 \text{ m}$
- $d_m = 0.5625 \text{ in} = 0.01428 \text{ m}$
- $d_r = 0.5 \text{ in} = 0.0127 \text{ m}$
- $p = 0.125 \text{ in} = 0.0032 \text{ m}$

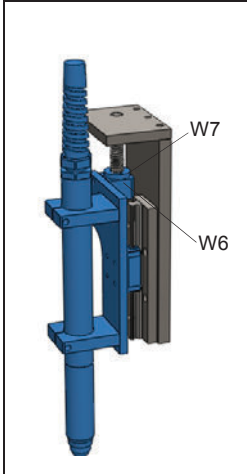
De acuerdo con la ecuación 2.29, la altura de la tuerca es:

$$L_T = d_m \varphi ; \varphi = 2.5$$

$$L_T = (0.5625)(2.5) = 1.4 \text{ pulg} = 35.5 \text{ mm}$$

La carga que el tornillo debe levantar está dada por el peso de los elementos, en la siguiente tabla se detallan los pesos calculados mediante el software SolidWorks.

Tabla 2.29 Peso de componentes EJE Z – cálculo de tornillo

	Elemento	Den.	Material	Peso
	Antorcha	W1	Varios	8 Kg
	Sujetador superior	W2	Acero	0.4 Kg
	Sujetador inferior	W3	Acero	0.4 Kg
	Placa base	W4	Acero	1.2 Kg
	Carro	W5	Acero	0.5 Kg
	Porta Tuerca	W6	Acero	0.3 Kg
	Tuerca	W7	Bronce	0.1 Kg
			Total (Σ *1.2)	13.1 Kg

Mediante las ecuaciones mostradas en la tabla 2.28 se estableció una hoja de cálculo para determinar el torque que se requieren para hacer girar el tornillo y desplazar la carga, así como también el factor de seguridad con base en los esfuerzos que se generan tanto en el cuerpo como en la rosca. Se consideró un coeficiente de fricción de 0.15 correspondiente a la combinación tornillo de acero y tuerca de bronce³⁶.

³⁶SHIGLEY Joseph; "Diseño en Ingeniería Mecánica", octava edición; McGraw Hill; México; 2008; p.407.

Tabla 2.30 Cálculo de características de tornillo y tuerca

Datos				
Diámetro exterior	d	0.0159	M	
Diámetro de paso	dm	0.0143	M	
Diámetro de raíz	dr	0.0127	M	
Paso	p	0.0032	M	
Carga	F	131.0000	N	
Ángulo de rosca	Φ	14.5000		
Números de entradas de rosca	n	1.0000		
Altura de filete	l	0.0032	M	
Ángulo de avance	λ	4.0461		
Coefficiente de fricción	μ	0.1500		
Altura de la tuerca	Lt	0.0355	M	
Número de filetes en contacto	nt	11.1811		
	nt min	1.0000		
Torque				
Para subir	Ts	0.21	Nm	
Para bajar	Tb	0.08	Nm	
eficiencia global	e	0.31		
Esfuerzos		Tornillo	Tuerca	
Esfuerzo cortante en el cuerpo del tornillo	τ	530903.97	Pa	
Esfuerzo axial en el cuerpo del tornillo	σ	-1034124.81	Pa	
Esfuerzo de apoyo	σ_B	-698608.76	Pa	
Esfuerzo flexionante en la raíz de la rosca	σ_b	6204748.85	Pa	4963799.08 Pa
Esfuerzo cortante en la raíz de la rosca	τ	3102374.42	Pa	2481899.54 Pa
Material:		AISI 1020		Bronce
Esfuerzo de fluencia	Sy	207.00 MPa		10.76 MPa
Factor de seguridad				
FS para el cuerpo del tornillo (f de teoría de VON MISESS)	FS	110.74		
FS para los filetes:				
Por cortante en los filetes	FS	38.50		2.50
Por flexión en los filetes	FS	33.36		2.17

Se comprobó que tanto para el tornillo como la tuerca los materiales y tamaños son satisfactorios para los fines pertinentes.

2.3.2 DISEÑO EJE Y

El eje Y en la máquina permite el desplazamiento de la antorcha en el sentido transversal. Como se puede observar en la figura 2.26, la estructura para este eje consiste en un pórtico que soporta y permite el desplazamiento del eje Z sobre un sistema de guiado lineal y que es accionado por un motor a través de una transmisión de piñón-cremallera.

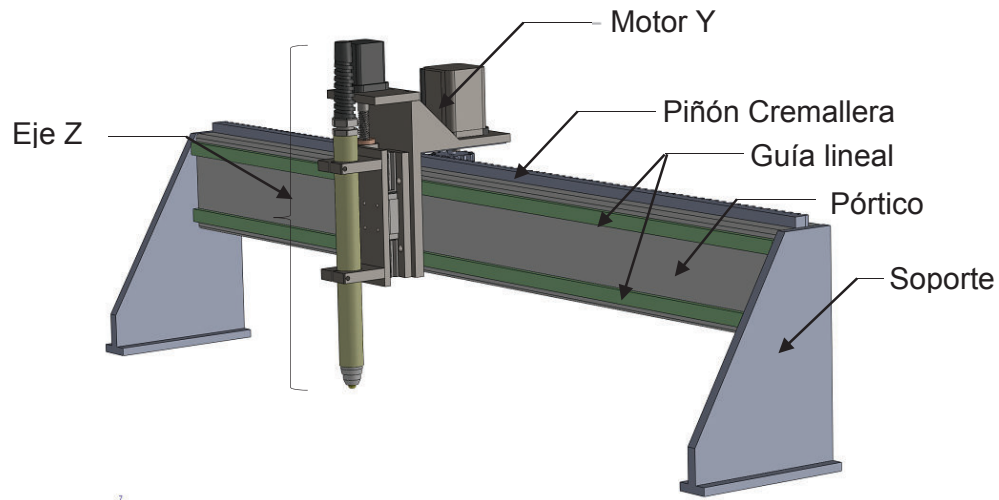


Figura 2.26 Esquema para EJE Y

2.3.2.1 Dimensionamiento

Para el dimensionamiento de la carrera transversal correspondiente al eje Y, se consideró el ancho de una plancha metálica estándar que es de 1220mm y una zona de seguridad de 30mm tanto para el lado izquierdo como para el derecho debido al posicionamiento que tuviere la plancha sobre la mesa.

Para el diseño se consideró fijar la cremallera al pórtico de manera que el piñón al girar se desplace en el sentido transversal. A continuación se presenta los esquemas de dimensionamiento desarrollados, donde se determinó que la longitud tanto del pórtico como de la cremallera y los rieles para guiado lineal son de 1470mm.

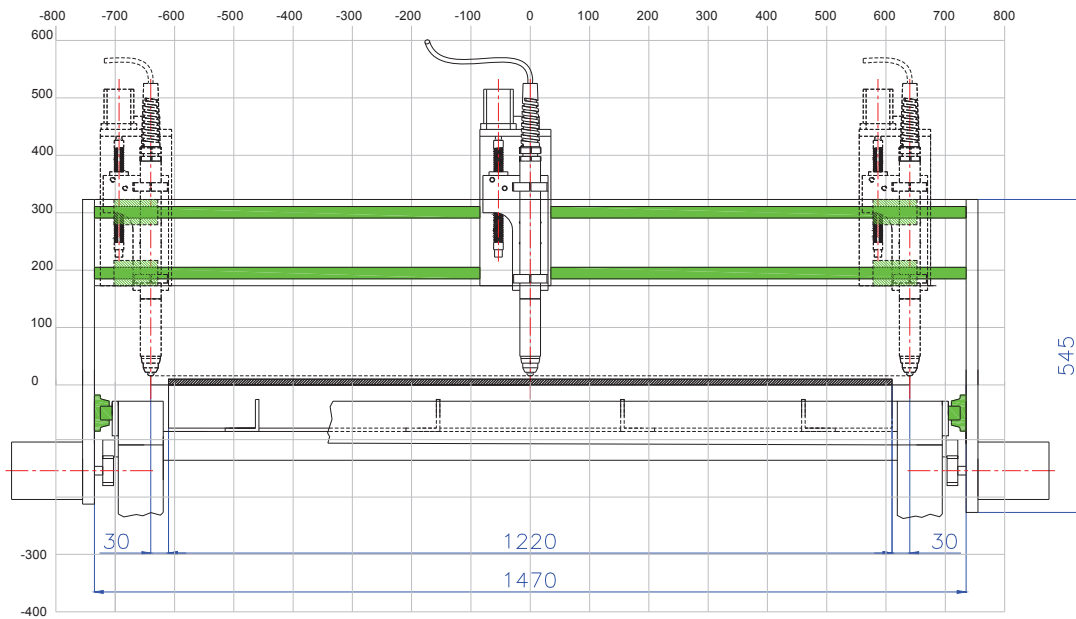


Figura 2.27 Dimensionamiento EJE Y, vista frontal

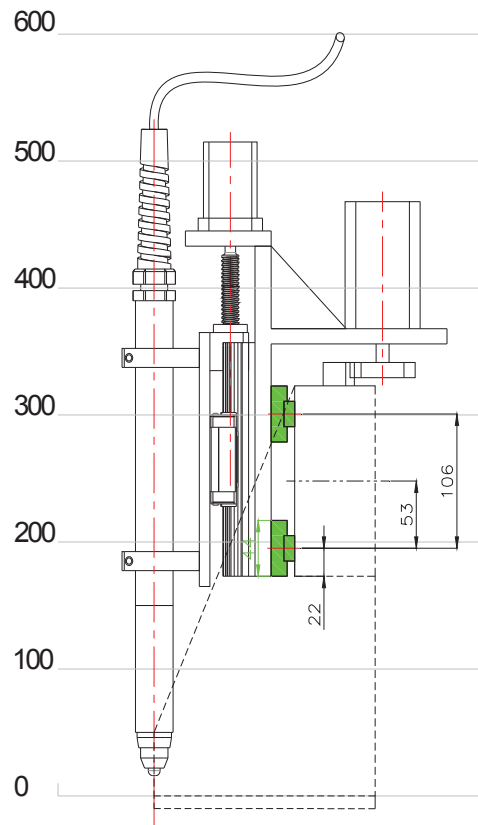


Figura 2.28 Dimensionamiento EJE Y, vista lateral

2.3.2.2 Diseño de transmisión piñón – cremallera

El uso de un piñón y cremallera es generalmente el método más común cuando se trata de mover elementos con distancias superiores a un metro, como es el caso de la máquina en diseño para los ejes X y Y.

Partiendo de las condiciones mecánicas como son; la masa a desplazar, velocidad y aceleración, se seleccionó el módulo, número de dientes del piñón y materiales más adecuados para obtener el factor de seguridad adecuado, debido a los posibles defectos que la transmisión pueda tener como son: choques, deformaciones estructurales (rigidez), alineación entre el piñón y la cremallera, errores de mecanización, entre otros.

Para esta transmisión se decidió utilizar dentado recto debido a que no existen grandes cargas a transmitir y las velocidades de trabajo son relativamente bajas. La figura 2.29 muestra la configuración básica de una transmisión de piñón – cremallera.

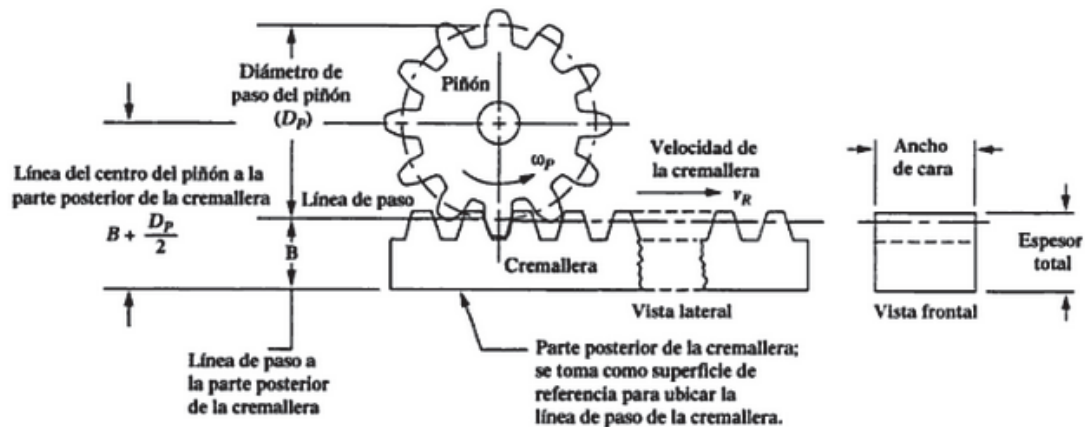


Figura 2.29 Transmisión piñón – cremallera³⁷

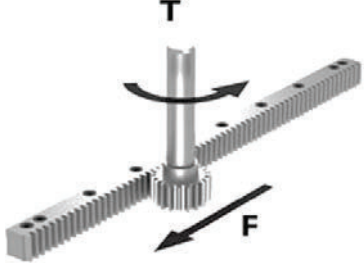
En la siguiente tabla se presenta algunas ecuaciones utilizadas para el cálculo de engranes rectos en cuanto a la geometría, potencia transmitida, esfuerzos de flexión y desgaste sobre los dientes del piñón y cremallera.

³⁷ MOTT Robert; ‘Diseño de Elementos de Máquina’; cuarta edición; Pearson Educación; México; 2006; p. 328.

Tabla 2.31 Ecuaciones para cálculo de engranes rectos

<p style="text-align: center;">Geometría³⁸</p>	$p = \pi \frac{D}{N} \quad [2.41]$
	$Pd = \frac{Ng}{Dg} = \frac{Np}{Dp} \quad [2.42]$
	$m = \frac{D}{N} = \frac{Dg}{Ng} = \frac{Dp}{Np} \quad [2.43]$
	$m = \frac{25.4}{Pd} \quad [2.44]$
	$Do = D + 2a \quad [2.45]$
	$a = 1/Pd \quad [2.46]$
	$Dr = D - 2b \quad [2.47]$
	$b = 1.25/Pd \quad [2.48]$
	$h = a + b \quad [2.49]$
	$\frac{8}{Pd} < F < \frac{16}{Pd} \quad [2.50]$
$C = B + \frac{D}{2} \quad [2.51]$	
$P_c = \pi \cdot m \quad [2.52]$	
<p>Dónde:</p> <p>p: Paso circular D: Diámetro de paso N: Número de dientes Pd: Paso diametral m: Módulo Do: Diámetro exterior a: Altura de cabeza Dr: Diámetro de raíz b: Altura de pie h: Altura total F: Espesor de cara del diente C: Distancia entre el centro del piñón y la parte posterior de la cremallera B: Distancia entre la línea de paso de la cremallera desde su base Pc: Paso de la cremallera</p>	

³⁸ SHIGLEY Joseph; "Diseño en Ingeniería Mecánica", octava edición; McGraw Hill; México; 2008; p. 656.

<p>Fuerzas sobre engranes rectos³⁹</p> 	$F = m \cdot g \cdot \mu + m \cdot a \quad [2.53]$ $a = \frac{V}{t} \quad [2.54]$ $\omega = \frac{V}{R} = \frac{2V}{D} \quad [2.55]$ $T = F(R) = F\left(\frac{D}{2}\right) \quad [2.56]$ $H = \frac{F \cdot \pi \cdot n \cdot D}{60000} \quad [2.57]$ <p>F: Fuerza tangencial m: Masa a ser movida μ: Coeficiente de fricción a: Aceleración V: Velocidad tangencial t: Tiempo de aceleración ω: Velocidad angular del piñón R: Radio del círculo de paso T: Par torsional H: Potencia transmitida, [W] n: Velocidad, [rpm] D: Diámetro de paso, [mm]</p>
<p>Esfuerzos de flexión y desgaste de la superficie⁴⁰</p>	$\sigma = \frac{K_v W^t}{F m Y} \quad [2.58]$ $\sigma_c = -C_p \left[\frac{K_v W^t}{F \cos \phi} \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \right]^{1/2} \quad [2.59]$ <p>σ: Esfuerzo de flexión Kv: Factor dinámico Wt: Carga tangencial Y: Factor de forma de Lewis σc: Esfuerzo de contacto Cp: Coeficiente elástico r1, r2: radio de curvatura de piñón y engrane</p>

³⁹ ATLANTA (2012); "Rack and Pinion Drive-Calculation and Selection". Recuperado de www.atlantadrivers.com/pdf/ads_racksel.pdf (junio, 2015)

⁴⁰ SHIGLEY Joseph; "Diseño en Ingeniería Mecánica", octava edición; McGraw Hill; México; 2008; p. 717,723.

2.3.2.2.1 Definición de la geometría del piñón y cremallera

El dimensionamiento de la transmisión por piñón-cremallera depende de algunos parámetros como la precisión requerida para el corte, requisitos de carga, restricciones de diseño (espacio) y costo.

De acuerdo con el esquema presentado en la figura 2.28, la disponibilidad de espacio limita a que el diámetro exterior del piñón no debe ser superior a 60mm. Los cálculos se realizaron mediante un proceso iterativo que permitió definir tanto el diámetro como el módulo adecuado al determinar el factor de seguridad por esfuerzos sobre los dientes del piñón o cremallera. Normalmente para este tipo de máquinas el número de dientes del piñón oscila entre 15 y 40⁴¹.

Al aplicar las ecuaciones de la tabla 2.31, se obtuvieron las siguientes características.

Tabla 2.32 Hoja de cálculo para la geometría de piñón y cremallera, EJE Y

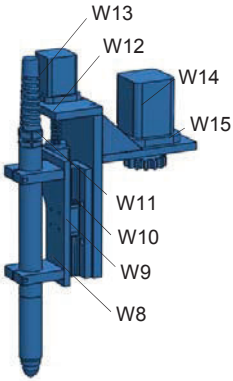
Datos			
Módulo	m	2	mm
Diámetro exterior	Do	44	mm
Distancia entre la línea de paso de la cremallera desde su base	B	25	mm
Geometría			
Paso diametral	Pd	12,7	dientes/in
Número de dientes	N	20	dientes
Diámetro de paso	D	40	mm
Altura de cabeza	a	2	mm
Altura de pie	b	2,5	mm
Diámetro de raíz	Dr	35	mm
Altura del diente	h	4,5	mm
Ancho de cara mínimo	F	16	mm
Distancia entre el centro del piñón y la parte posterior de la cremallera	C	45	mm
Paso de cremallera	Pc	6,28	mm

⁴¹OVERBY Alan; "CNC Machining Handbook", primera edición; McGraw Hill; México; 1976; p.43.

2.3.2.2.2 Fuerza tangencial y esfuerzos

Los datos de entrada para la determinación de la fuerza tangencial son; el peso de los componentes a mover y la velocidad de desplazamiento. En cuanto al peso, en la tabla 2.33 se detalla la masa de los elementos que requieren desplazarse sobre el EJE Y.

Tabla 2.33 Peso de componentes EJE Z – Transmisión piñón cremallera

	Elemento	Den.	Material	Peso
	Antorcha	W1	Varios	8 Kg
	Sujetador superior	W2	Acero	0.4 Kg
	Sujetador inferior	W3	Acero	0.4 Kg
	Placa base	W4	Acero	1.2 Kg
	Carro	W5	Acero	0.5 Kg
	Porta Tuerca	W6	Acero	0.3 Kg
	Tuerca	W7	Bronce	0.1 Kg
	Riel	W8	Acero	0.3 kg
	Placa base	W9	Acero	0.9 kg
	Placa eje Z	W10	Acero	3.8 kg
	Base Motor Z	W11	Acero	0.8kg
	Tornillo	W12	Acero	0.5 kg
	Motor Z	W13	Varios	6.5 kg
	Motor Y	W14	Varios	7 kg
	Base Motor Y	W15	Acero	2.3 kg
	Total (Σ *1.2)			40Kg

Por otra parte, la velocidad está en función del material a cortar, del equipo de plasma que se utilice o la selección de amperaje de trabajo. En la sección 2.2.6, se determinó que el equipo de plasma adecuado para la operación de la máquina

en diseño es el POWERCUT 1300 de la marca ESAB cuyos parámetros de velocidad para planchas de acero en función del espesor se muestran en la tabla 2.24. La velocidad de la máquina no se basó exclusivamente en las especificaciones del equipo de plasma seleccionado sino que se dará al cliente la opción de que la máquina pueda trabajar con otros equipos de plasma, de manera que permita cortar otros materiales como aluminio o acero inoxidable en espesores que van desde 3mm a 38mm (1/8" a 1-1/2").

De los diferentes catálogos se puede observar que a menor espesor de material se utiliza mayor velocidad de corte y a mayor espesor de material se requiere menor velocidad de corte. Normalmente las velocidades de corte para aluminio son 10-20 % mayores que para el acero de bajo carbono y las velocidades de corte para acero inoxidable son 10-20 % menores que para el acero de bajo carbono⁴².

En la tabla 2.34 se presenta las velocidades de algunos equipos para corte por plasma de trabajo pesado comercializado localmente.

Tabla 2.34 Velocidad de corte por plasma de máquinas comercializadas localmente

Marca	Equipo	Espesor de corte	Velocidades in/min		
			Acero	Acero Inox.	Aluminio
ESAB	POWERCUT 1300	3mm@ 60A	140	102	138
MILLER	Spectrum® 2050	3mm@ 55A	175	149	201
THERMAL DYNAMICS	CUTMASTER82	3mm@ 80A	230	196	300
LINCOLN	Tomahawk 1000	12mm@50A	65	55	75

Con base en los datos de la tabla anterior y considerando que la velocidad de posicionamiento debería ser mayor que la velocidad de corte, se decidió establecer que la velocidad máxima de la máquina sea de 500 in/min (12700 mm/min). En las siguientes tablas se muestra los cálculos desarrollados para determinar el factor de seguridad del piñón-cremallera anteriormente dimensionado.

⁴² Lincoln Electric (2012); "Tomahawk 375 Air". Recuperado de www.lincolnelectric.com (mayo, 2015)

Tabla 2.35 Hoja de cálculo para la fuerza tangencial y factor de seguridad de transmisión piñón cremallera, EJE Y

Datos			
Módulo	m	2	mm
Diámetro exterior	Do	44	mm
Distancia entre la línea de paso de la cremallera desde su base	B	25	mm
masa a mover	M	40	Kg
Coefficiente de fricción de la guía lineal	μ	0,05	
Velocidad lineal	V	12700	mm/min
tiempo de recorrido	t	0,5	s
Análisis de fuerzas			
Fuerza tangencial o Carga transmitida	Ft	36,93	N
Factor de seguridad para la fuerza	FSf	1,50	
	Ft	55,40	N
Torque a vencer	T	1,11	Nm
Velocidad angular	ω	101,06	rpm
Potencia transmitida	H	11,73	W
Diseño a flexión según SHIGLEY			
Factor dinámico	Kv	1,03	
Factor de forma de Lewis	Y	0,34	
Esfuerzo de flexión	σ	5,32	MPa
Material		AISI 1020	Laminado
Resistencia a la fluencia	Sy	210	MPa
Resistencia última	Sut	380	MPa
Dureza		111	HB
Límite de resistencia a la fatiga	Se'	190	MPa
Factor de acabado superficial	Ka	0,93	
Factor de tamaño	Kb	0,8	
Factor de carga	Kc	1	
Factor de temperatura	Kd	1	
Factor de confiabilidad	Ke	0,9	
Factor de efectos varios	Kf	1,3	
Límite de resistencia a la fatiga corregido	Se	166,17	MPa
Factor de Seguridad	FS	31,26	

Como se puede ver en la tabla 2.35, el factor de seguridad es elevado con lo cual se comprobó que el diseño tanto del piñón como de la cremallera es satisfactorio.

2.3.2.3 Selección de guía lineal

Para las guías lineales correspondientes al eje Y, se consideró utilizar guías del modelo HSR-B por facilidad de montaje como se muestra en el anexo II. Este modelo dispone de una “brida” con agujeros pasantes para montaje desde la parte exterior como se puede ver en la siguiente figura.

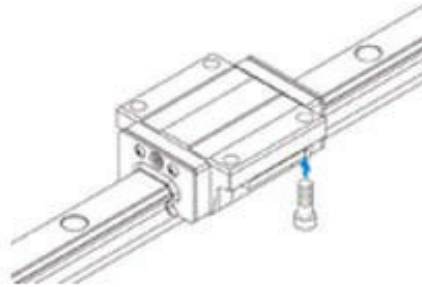


Figura 2.30 Guía lineal para el eje Y, Modelo HSR-B
(LM Guide Model HSR THK; 2011; p. a292, a293)

La disposición de las guías para el eje Y corresponde al patrón número 2 indicado en la tabla 2.25 que consiste en dos rieles, cada uno lleva 2 carros deslizantes. La carga que soportan las guías corresponde al peso de los componentes a desplazar, 40Kg como se detalla en la tabla 2.33.

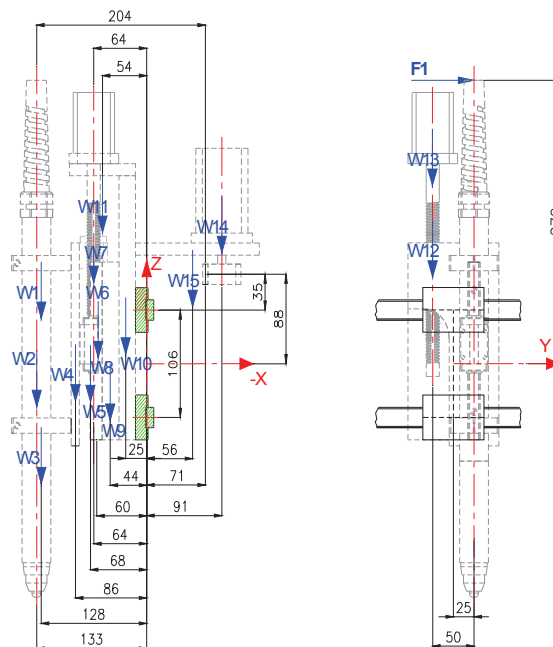


Figura 2.31 DCL para cálculo de cargas sobre guías lineales

Con base en el esquema de la figura 2.31, se elaboró una hoja de cálculo para determinar las cargas presentes sobre las guías deslizantes. Tal como se mencionó en la sección 2.3.1.2, el proceso de selección del tamaño tanto de la guía como del riel fue iterativo hasta observar un factor de seguridad conveniente.

Para los cálculos se aplicó las ecuaciones indicadas en la tabla 2.25 correspondiente al segundo patrón de montaje de los sistemas de guiado lineal.

En las tablas 2.36, 2.37 y 2.38 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 2.36 Fuerzas sobre el eje Z y momentos generados

	Fz	Fz*1,2	Dist. X	Dist. Y	Fz . X	Fz . Y
W1	8	Kg -94,08 N	133	Mm 25	mm -12512,64	N.mm -2352
W2	0,4	Kg -4,704 N	128	Mm 25	mm -602,112	N.mm -117,6
W3	0,4	Kg -4,704 N	128	Mm 25	mm -602,112	N.mm -117,6
W4	1,2	Kg -14,11 N	86	Mm 25	mm -1213,632	N.mm -352,8
W5	0,5	Kg -5,88 N	68	Mm 25	mm -399,84	N.mm -147
W6	0,3	Kg -3,528 N	64	Mm 50	mm -225,792	N.mm -176,4
W7	0,1	Kg -1,176 N	64	Mm 50	mm -75,264	N.mm -58,8
W8	0,3	Kg -3,528 N	60	Mm 25	mm -211,68	N.mm -88,2
W9	0,9	Kg -10,58 N	44	Mm 25	mm -465,696	N.mm -264,6
W10	3,8	Kg -44,69 N	25	Mm 0	mm -1117,2	N.mm 0
W11	0,8	Kg -9,408 N	54	Mm 0	mm -508,032	N.mm 0
W12	0,5	Kg -5,88 N	64	Mm 50	mm -376,32	N.mm -294
W13	6,5	Kg -76,44 N	64	Mm 50	mm -4892,16	N.mm -3822
W14	7	Kg -82,32 N	-91	Mm 0	mm 7491,12	N.mm 0
W15	2,3	Kg -27,05 N	-56	Mm 0	mm 1514,688	N.mm 0

Tabla 2.37 Fuerzas sobre el eje Y y momentos generados

	Fy	Dist. Z	Dist. X	Fy . (Z-Zb)	Fy . (X-Xb)
F1	80	N 279	mm 133	mm 15280	N.mm 16320

Datos: L=106 mm, Xb= -71mm, Yb=0, Zb=88mm




L es la distancia de montaje de los rieles paralelos y las coordenadas X, Y, Z del punto b que corresponden a las distancias a la línea o punto del mecanismo de accionamiento, que en este caso es la transmisión por piñón–cremallera.

Tabla 2.38 Cálculo de cargas sobre las guías lineales para el EJE Y

M1	$M1 = \sum_{k=1}^n (Fzk \cdot Xzk) + \sum_{i=1}^n (Fxi \cdot Zxi)$	-14197	N.mm
M2	$M2 = \sum_{j=1}^n \{Fyj (Xyj - Xb)\} + \sum_{i=1}^n (Fxi \cdot Yxi)$	16320	N.mm
M3	$M3 = - \sum_{j=1}^n \{Fyj(Zyj - Zb)\} + \sum_{k=1}^n (Fzk \cdot Yzk)$	-23071	N.mm
Fr1	$Fr1 = \frac{\sum_{i=1}^n Fxi}{2} + \frac{M1}{L}$	-133,93	N
Fr2	$Fr2 = \frac{\sum_{i=1}^n Fxi}{2} - \frac{M1}{L}$	133,93	N
Fs1	$Fs1 = Fs2 = \frac{\sum_{z=1}^n Fzk}{2}$	-194,04	N
Fs2		-194,04	N
Mp1	$Mp1 = Mp2 = \frac{M2}{2}$	8160	N.mm
Mp2		8160	N.mm
My1	$My1 = My2 = \frac{M3}{2}$	-11536	N.mm
My2		-11536	N.mm

Por conveniencia dimensional se seleccionó la guía HSR-20B. En la tabla 2.39 se detalla los momentos estáticos admisibles para este modelo y el factor de seguridad resultante según las cargas anteriormente calculadas.

Tabla 2.39 Selección de tamaño de guía lineal para EJE Y

Momento admisible estático	Mp 	My 	Mr 
HSR20B	1.04 KN m	1.04 KN m	-
Factor de seguridad	127.5	90.1	-

2.3.2.4 Análisis estructural del pórtico

Para el análisis estructural del pórtico se utilizó el método de los elementos finitos MEF o FEM por sus siglas en inglés, que consiste en subdividir un sistema en elementos de estudio sencillos, para luego volverlo a reconstruir ensamblando la contribución de cada elemento y así predecir el comportamiento global. Dentro de cada elemento de estudio se distinguen una serie de puntos llamados nodos que forman lo que se denomina la malla.

El software seleccionado para realizar el análisis por elementos finitos es SolidWorks a través de su módulo de simulación SolidWorks Simulation seleccionando como tipo de problema el de análisis estático. El proceso de análisis constó de los siguientes pasos.

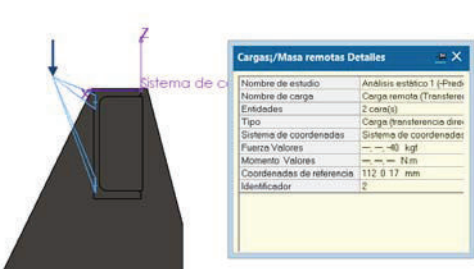
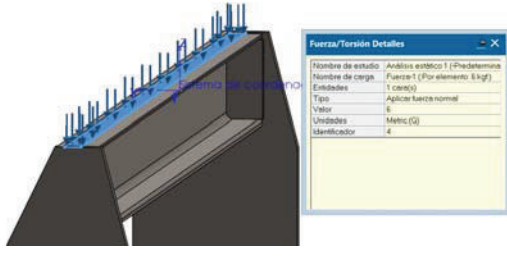
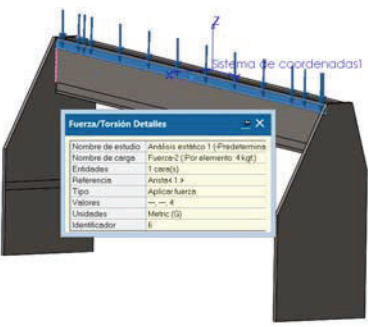
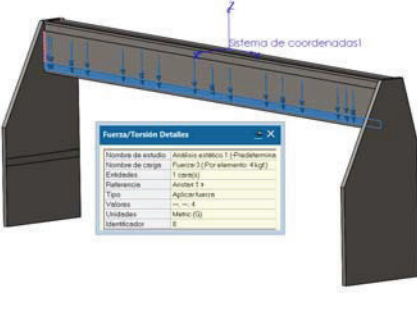
1. Definición de geometría
2. Asignación de material a cada componente
3. Aplicación de restricciones (condiciones de borde) y cargas
4. Mallado
5. Ejecución del análisis
6. Resultados y validación

Para la modelación se utilizó el dimensionamiento mostrado en la figura 2.27, donde se consideró utilizar un perfil UPN 140 tapado como pórtico anclado a dos soportes laterales de espesor 15mm y acero A36.

El análisis se efectuó en la posición más crítica que en este caso es cuando la carga actúa en el centro del pórtico, ésta carga corresponde al peso de los componentes del EJE Z (40 Kg). Adicionalmente, se consideró el peso de los elementos que se montan sobre el pórtico como son los rieles y la cremallera. En la tabla 2.40 se detalla la asignación de cargas para la simulación del pórtico.

A partir de las cargas establecidas, se realizó un análisis estático donde la discretización del modelo se generó en base a una malla sólida basada en curvatura formada por elementos cuadriláteros.

Tabla 2.40 Cargas sobre el Pórtico

<p>Peso del conjunto EJE Z. 40 Kg (Se aplica en el centro de gravedad del conjunto, Figura 2.28)</p>	<p>Peso Cremallera. 6 Kg</p>
	
<p>Peso Riel 1 EJE Y. 4Kg</p>	<p>Peso Riel 2 EJE Y. 4 Kg</p>
	

Los resultados para esfuerzos y deformación fueron validados una vez comprobada la convergencia de la solución donde se realizó varios afinamientos de la malla. A continuación se presentan los resultados obtenidos.

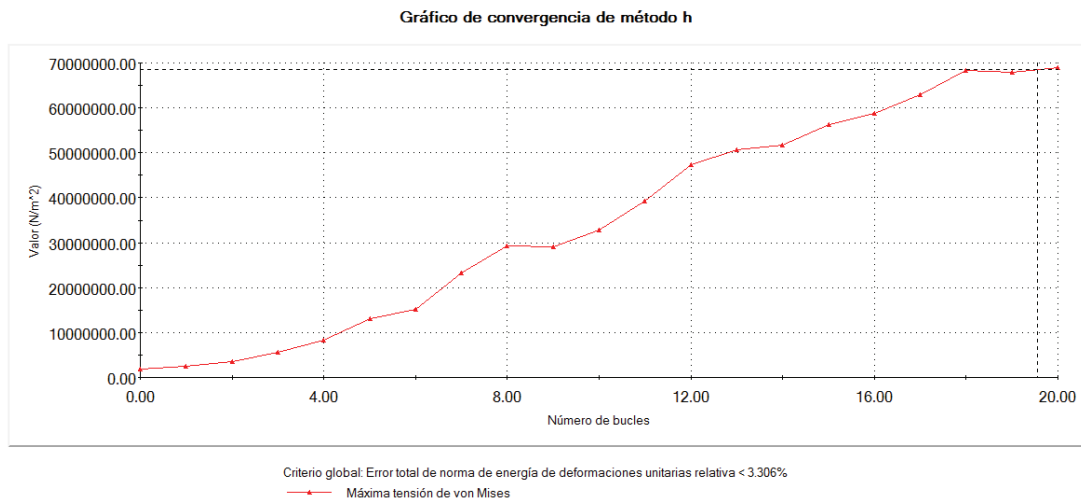


Figura 2.32 Convergencia de la solución para el pórtico correspondiente al EJE Y

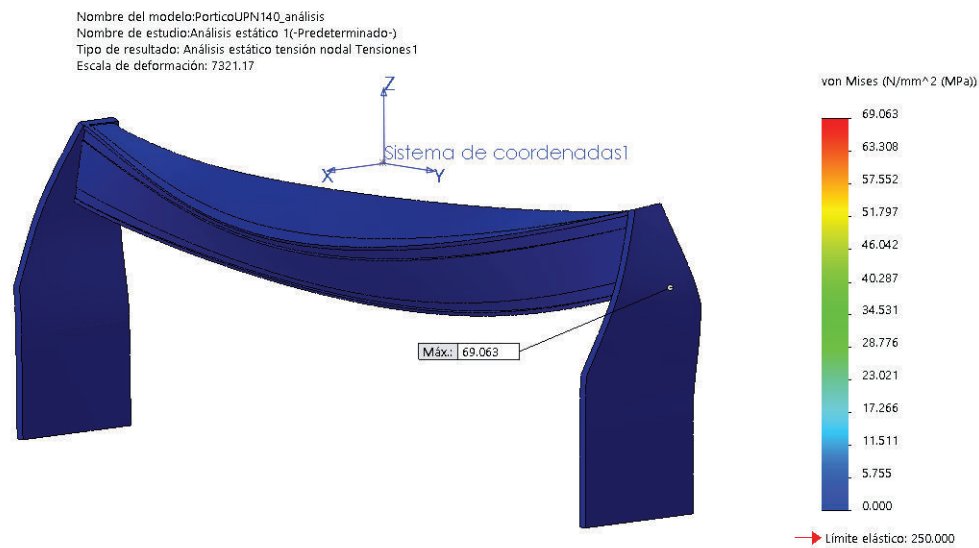


Figura 2.33 Resultados de tensiones y esfuerzos de von Mises para el pórtico

Como se puede ver en la figura 2.33, al aplicar las cargas se genera una tensión máxima de 69 MPa ubicada en la parte inferior del pórtico.

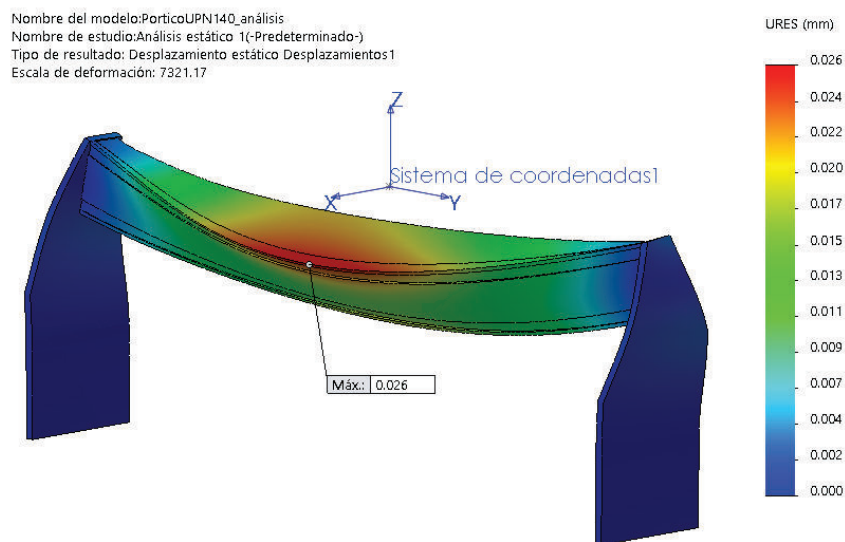


Figura 2.34 Resultados de deformaciones para el pórtico

En la figura 2.34, se observa una deflexión máxima de aproximadamente 0.026mm con las cargas de acuerdo a la tabla 2.40. Para la cortadora CNC se

debe limitar la deflexión a ciertos valores máximos debido a que la apariencia de la estructura se ve afectada por deflexiones excesivas y esto además puede incidir en el proceso de corte de la máquina. En vista que no existe para este tipo de aplicaciones un criterio de deflexión máxima permisible se ha considerado utilizar como buena práctica constructiva el código ASME NOG-1 2010, en donde indica que la deflexión vertical total de la viga del pórtico no deberá exceder el $1/1000^{43}$ del tramo entre los soportes para la carga máxima, cuando la deflexión es calculada como una viga simplemente apoyada.

A continuación se realiza el cálculo de la deflexión permisible.

$$0.026mm < \left(\frac{1}{1000}\right) \times 1470mm$$

$$0.026mm < 1.47mm , \text{Ok}$$

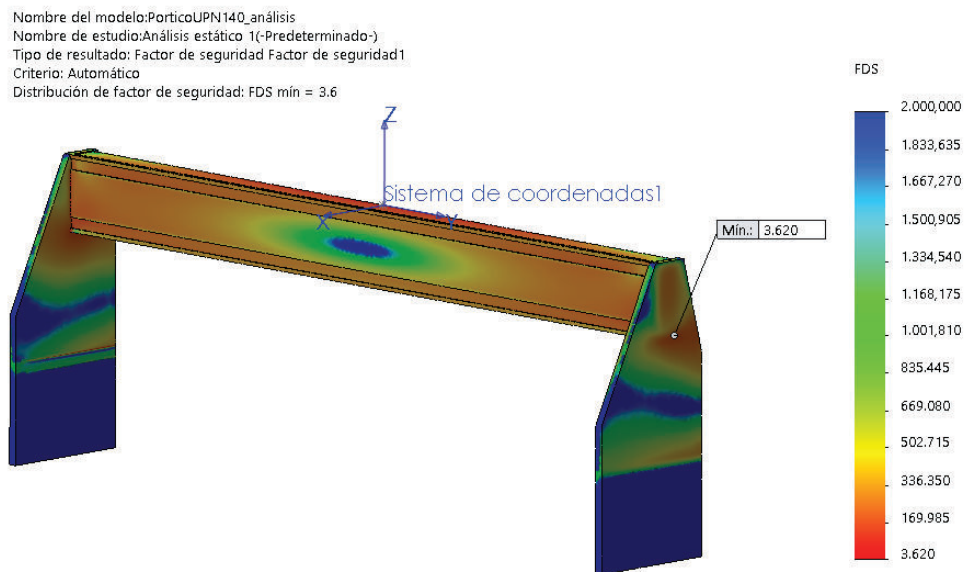


Figura 2.35 Resultado del factor de seguridad para el pórtico

Como se puede observar en la figura 2.35, el factor de seguridad 3.6 garantiza que no exista falla bajo las cargas establecidas.

⁴³ ASME NOG-1 2010. Rules for Construction of Overhead and Gantry Cranes (Top Running Bridge, Multiple Girder). p. 34.

2.3.3 DISEÑO EJE X

El eje X consiste básicamente en una estructura donde se asienta la plancha metálica a cortar. Esta estructura soporta también el peso de los Ejes Y y Z a través de guías deslizantes que permiten el movimiento longitudinal mediante doble transmisión de piñón-cremallera accionados por motores independientes lo que garantiza la precisión del movimiento.

2.3.3.1 Dimensionamiento estructural

Con base a los criterios de montaje, fabricación y seguridad, se determinó que la disposición más adecuada corresponde a la mostrada en la figura 2.36. Debido a que requiere menos piezas a construir, los motores se ubican en la parte exterior de la mesa, facilitando el montaje y posibilitando la incorporación de una bandeja para agua que absorba los gases producto del corte.

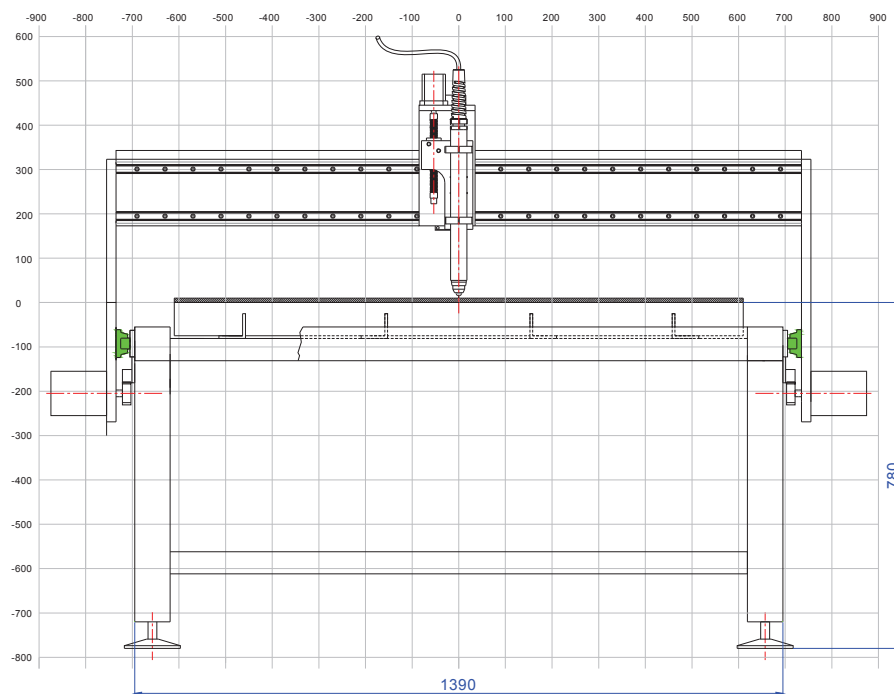


Figura 2.36 Dimensionamiento EJE X, vista frontal

A partir de los esquemas detallados en las figuras 2.36 y 2.37 y para planchas metálicas estándar (1220 x 2440mm), se pudo determinar la longitud de la cremallera y rieles para el guiado lineal. En la siguiente figura se observa éstas longitudes requeridas.

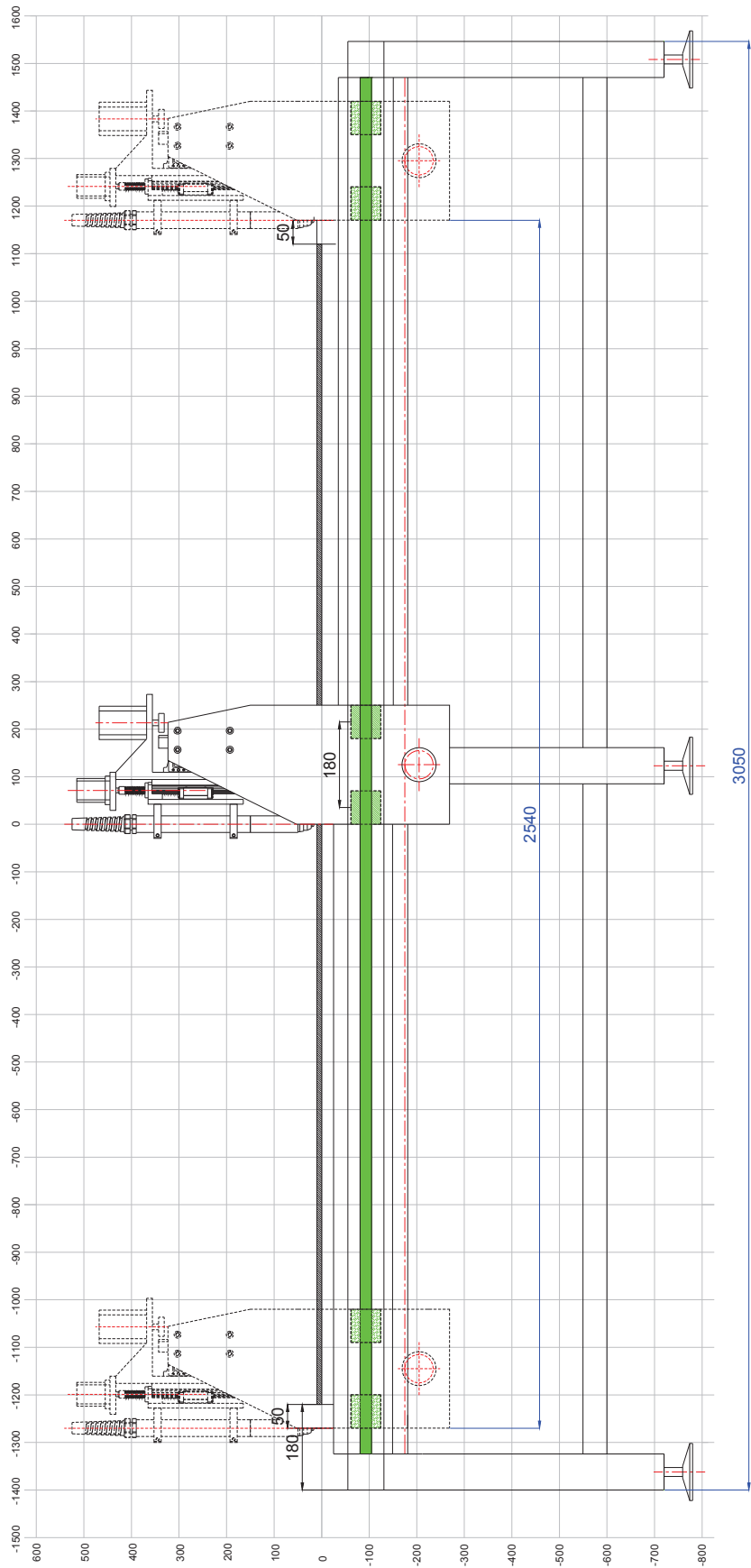


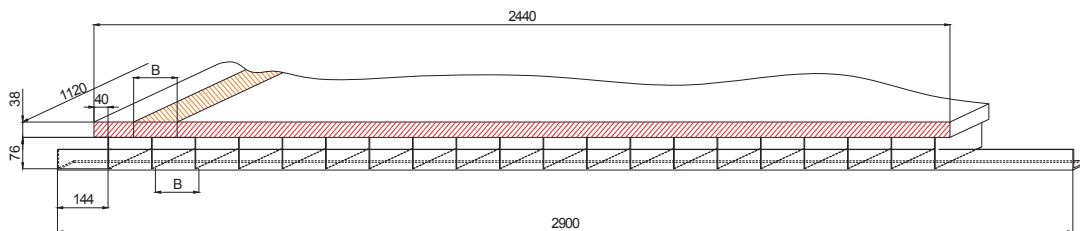
Figura 2.37 Dimensionamiento Eje X, vista lateral

2.3.3.2 Dimensionamiento y validación de rejilla de corte

El área de trabajo para máquinas CNC para corte por plasma está conformada por un arreglo de placas conocidas también en inglés como “burning bars”. Éste conjunto de placas o rejillas tienen la función de soportar la plancha metálica en posición horizontal y normalmente son intercambiables debido al deterioro del producto de corte por lo que están apoyadas sobre cuatro ángulos. Para éste diseño, se decidió trabajar con el peso máximo el de una plancha metálica estándar de espesor 38mm y utilizar la carga por área tributaria que afectaría a cada placa. Con base a los datos mostrados en la tabla 2.41, se estableció utilizar 20 placas.

Tabla 2.41 Selección del número de placas

Nro. Placas	Separación B	Carga
15	169 mm	61.35 Kg
20	124 mm	45.20 Kg
25	98 mm	35.79 Kg
30	81 mm	29.62 Kg
35	69 mm	25.26 Kg



Masa plancha Acero AISI 1020: 887.9 Kg, 298.3Kg/m²

Figura 2.38 Esquema para rejilla de corte, vista lateral

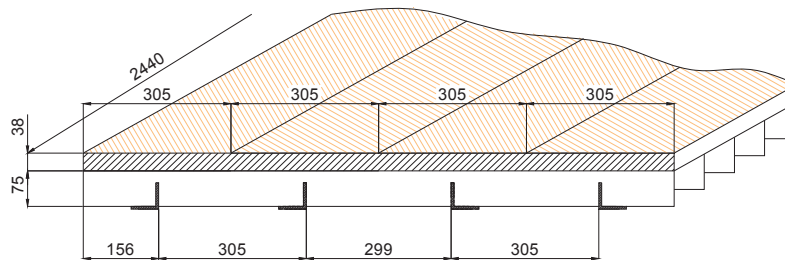


Figura 2.39 Esquema para rejilla de corte, vista frontal

Normalmente el espesor de las placas que conforman la rejilla de corte están entre 1.5 a 3mm por lo que se realizó un análisis de pandeo por medio del método de elementos finitos simulado en el software Solid Works en el cual se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 2.42 Factor de seguridad por pandeo en función del espesor y carga por placa

Nro. de placas 20	
Espesor	Factor de seguridad de pandeo o Factor de carga
1.5	26
2.0	57
3.0	191

Como se puede observar los factores de seguridad para todos los casos son elevados. Sin embargo, debido al desgaste y deterioro se decidió utilizar placas de 2mm de espesor.

En la figura 2.40 se presenta el resultado de amplitud máxima para el primer modo de falla por pandeo que está asociado a la carga crítica más baja. Para este análisis se empleó una malla solida estándar formada por elementos cuadriláteros con tamaño 1.5mm.

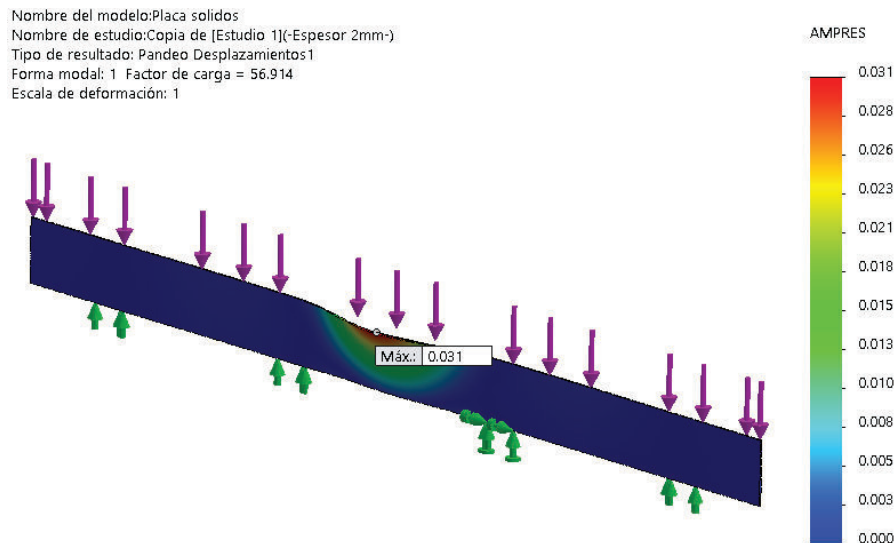


Figura 2.40 Análisis de Pandeo Solid Works

2.3.3.3 Diseño de la transmisión por piñón-cremallera

2.3.3.3.1 Definición de geometría del piñón y cremallera

Al igual que se hizo para la transmisión del EJE Y, para definir la geometría del piñón y cremallera correspondientes al EJE X, se realizó un análisis iterativo para establecer el módulo y el diámetro del piñón. Para esta transmisión no existen restricciones en cuanto al espacio. Las características determinadas en base a una hoja de cálculo se muestran en la tabla 2.43.

Tabla 2.43 Características geométricas para piñón y cremallera del EJE X

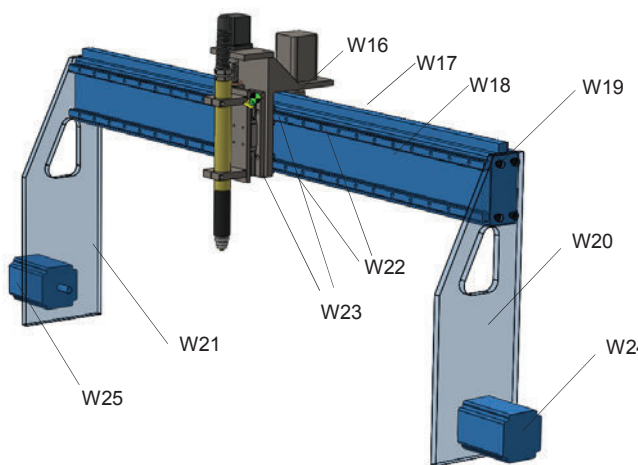
Datos			
Módulo	M	2	mm
Diámetro exterior	Do	44	mm
Distancia entre la línea de paso de la cremallera desde su base	B	25	mm
Geometría			
Paso diametral	Pd	12.7	dientes/in
Número de dientes	N	20	dientes
Diámetro de paso	D	40	mm
Altura de cabeza	A	2	mm
Altura de pie	B	2.5	mm
Diámetro de raíz	Dr	35	mm
Altura del diente	H	4.5	mm
Ancho de cara mínimo	F	16	mm
Distancia entre el centro del piñón y la parte posterior de la cremallera	C	45	mm
Paso de cremallera	Pc	6.28	mm

2.3.3.3.2 Fuerza tangencial y esfuerzos

Partiendo del peso aproximado de los componentes a desplazar, se calculó la fuerza tangencial y los esfuerzos sobre los dientes del piñón y cremallera. Los datos de entrada en cuanto a velocidad y tiempo de aceleración se asumió los mismos que para el cálculo de la transmisión del EJE Y.

Adicionalmente se consideró que el EJE X lleva doble transmisión por lo que el peso a desplazar se dividió. En la tabla 2.44 se detalla el peso de los componentes.

Tabla 2.44 Peso de componentes sobre la guía lineal para el eje X



Cant.	Elemento	Den.	Material	Peso
1	Eje Z (tabla 2.33)			40 Kg
1	Piñón	W16	Acero	0.3 Kg
1	Cremallera	W17	Acero	5.5 Kg
1	Pórtico	W18	Acero	22.2 Kg
2	Tapa lateral LH y RH	W19	Acero	1.4 Kg
1	Soporte LH	W20	Aluminio	14 Kg
1	Soporte RH	W21	Aluminio	14 Kg
2	Riel eje Y	W22	Acero	6.6 Kg
2	Carro eje Y	W23	Acero	1.2 Kg
1	Motor 1 Eje X	W24	Varios	7 Kg
1	Motor 2 Eje X	W27	Varios	7 Kg
	Subtotal			95.2 Kg
	($\Sigma*1.2$)			
	Total			135.2Kg
	($\Sigma*1.2+40Kg$)			

Tabla 2.45 Hoja de cálculo para la fuerza tangencial y factor de seguridad de transmisión piñón cremallera, EJE X

Datos			
Módulo	m	2	mm
Diámetro exterior	Do	44	mm
Distancia entre la línea de paso de la cremallera desde su base	B	25	mm
masa a mover (135,2/2 por tener doble transmisión)	M	67,6	Kg
Coefficiente de fricción de la guía lineal	μ	0,05	
Velocidad lineal	V	12700	mm/min
tiempo de recorrido	t	1	s
Análisis de fuerzas			
Fuerza tangencial o Carga transmitida	Ft	48,11	N
Factor de seguridad para la fuerza	FSf	1,50	
	Ft	72,16	N
Torque a vencer	T	1,44	Nm
Velocidad angular	ω	101,06	rpm
Potencia transmitida	H	15,27	W
Diseño a flexión según SHIGLEY			
Factor dinámico	Kv	1,03	
Factor de forma de Lewis	Y	0,322	
Esfuerzo de flexión	σ	7,25	MPa
Material		AISI 1020	Laminado
Resistencia a la fluencia	Sy	210	MPa
Resistencia última	Sut	380	MPa
Dureza		111	HB
Límite de resistencia a la fatiga	Se'	190	MPa
Factor de acabado superficial	Ka	0,93	
Factor de tamaño	Kb	0,8	
Factor de carga	Kc	1	
Factor de temperatura	Kd	1	
Factor de confiabilidad	Ke	0,9	
Factor de efectos varios	Kf	1,3	
Límite de resistencia a la fatiga corregido	Se	166,17	MPa
Factor de Seguridad	FS	22,93	


Como se puede ver en la tabla 2.45, el factor de seguridad es elevado con lo cual se comprobó que el diseño tanto del piñón como de la cremallera es satisfactorio.

2.3.3.4 Selección de guía lineal

Para el EJE X se consideró utilizar guías lineales del modelo HSR-B de la marca THK al igual que las guías para el EJE Y. La selección del tamaño se basa en determinar las cargas que actúan sobre cuatro guías que se desplazan en dos rieles paralelos que garanticen el alineamiento. Ésta carga corresponde al peso de los componentes del EJE Z y EJE Y.

La disposición de las guías se estableció según indica el tercer patrón que se muestra en la tabla 2.25. Dado el dimensionamiento anteriormente presentado, el montaje de estas guías es en sentido vertical. En la tabla 2.46 se presentan los resultados obtenidos por medio de una hoja de cálculo con base a las ecuaciones indicadas en la tabla 2.25.

Tabla 2.46 Cargas sobre cada guía lineal para el EJE X

	M1	-198764.42	N.mm
	M2	5728.30	N.mm
	M3	-10000.00	N.mm
	Fs1	-383.21	N
	Fs2	-415.04	N
	Fs3	-244.70	N
	Fs4	-276.52	N
	Fr1=Fr3	-7.78	N
	Fr2=Fr4	47.78	N
	Mayor Po1, Fr1+Fs1	-391	N

En función de los resultados, se observa que la guía 1 presenta mayor carga equivalente de tal manera que se comprobó el factor de seguridad para ésta guía.

Tabla 2.47 Selección de tamaño de guía lineal para EJE X

Carga estática admisible	Co
HSR20B	23.8 KN
Factor de seguridad	60.8

2.3.3.5 Análisis estructural para la mesa de corte

Para el análisis se utilizó el módulo de simulación y cálculo por elementos finitos para estructuras metálicas de Solid Works. De acuerdo con las dimensiones presentadas en las figuras 2.36 y 2.37 se asignaron los siguientes miembros estructurales o perfiles de material acero A36.

- Tubo cuadrado 75 x 75 x 3mm
- Tubo cuadrado 50 x 50 x 3mm
- Ángulo 50 x 50 x 3mm

Como condiciones de borde, para fines de simulación se estableció apoyos fijos a los seis soportes de la estructura y las cargas fueron asignadas de acuerdo a los datos detallados en la siguiente tabla.

Tabla 2.48 Cargas sobre la mesa de corte

	Espesor máximo plancha	38	mm
	Longitud plancha	2440	mm
	Ancho plancha	1220	mm
W28	Peso Plancha metálica	887.98	Kg
	Nro. De placas rejilla	20	u
	Espesor placas	2	mm
	Alto placas	76	mm
	Ancho placas	1220	mm
W29	Peso placas	29.11	Kg
	Nro. Largueros angulares	4	u
W30	Peso ángulos	28.00	Kg
	Peso A (W28+W29+W30)	945.09	Kg
	94.50%	893.11	Kg
	Nro. de juntas	16.00	u
	Carga puntual 1	55.82	Kg
	5.50%	51.98	kg
	Nro. de juntas	4.00	u
	Carga puntual 2	13.00	kg

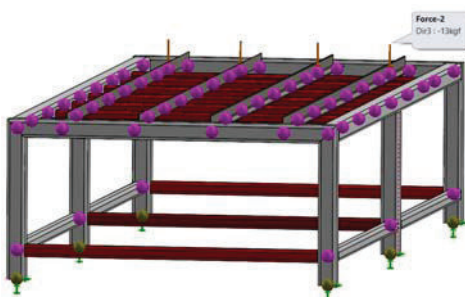
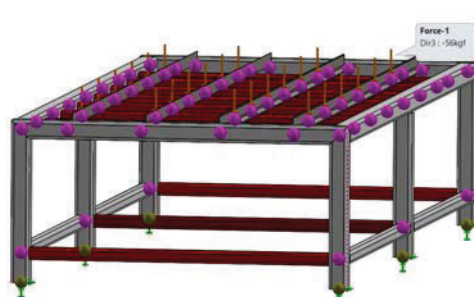
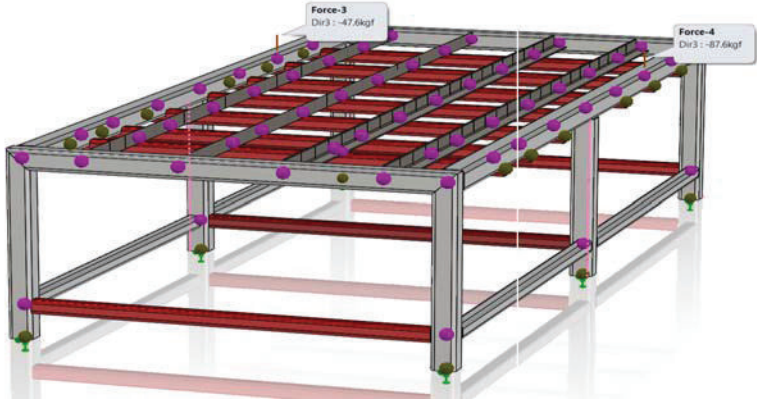
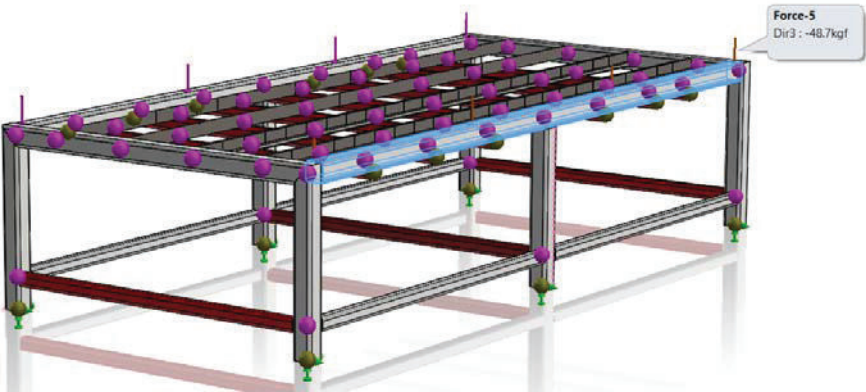



Tabla 2.42	Peso pórtico EJE Y	95.2	Kg
Tabla 2.42	Peso Eje Z	40	Kg
	Carga puntual larguero LH	47.6	Kg
	Carga puntual Larguero RH	87.6	Kg



W31	Peso guías lineales EJEX (2)	18.7	kg
W32	Peso cremallera EJE X (2)	26.4	kg
W33	Peso placas laterales (2)	52.2	Kg
	Carga LH (W31+W32+W33)/2	48.7	Kg
	Carga RH (W31+W32+W33)/2	48.7	Kg



El modelo se discretizó con la malla estándar del software para estructuras metálicas obteniendo finalmente los siguientes resultados para los esfuerzos máximos, deformaciones y factor de seguridad.

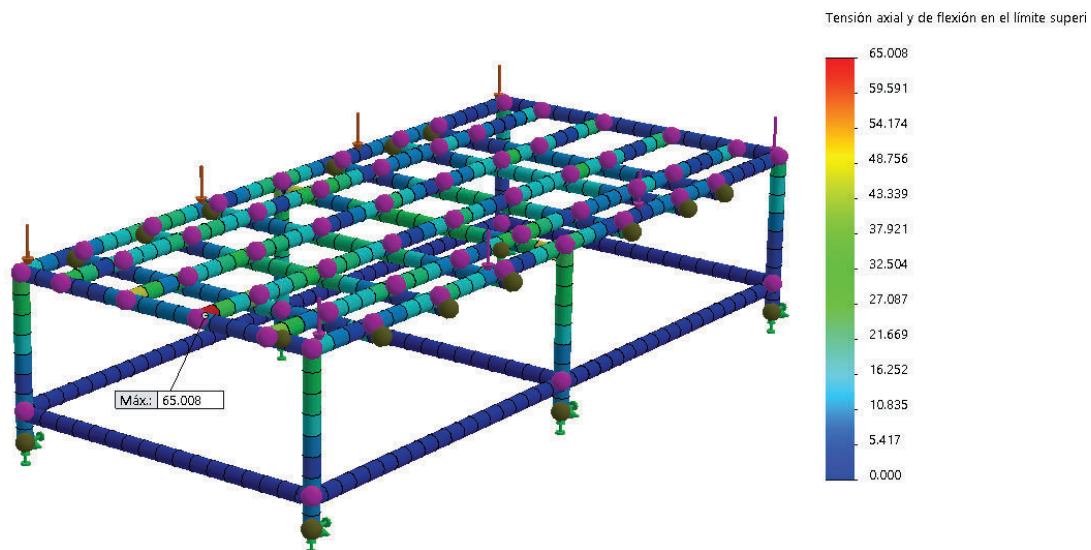


Figura 2.41 Esfuerzos axiales

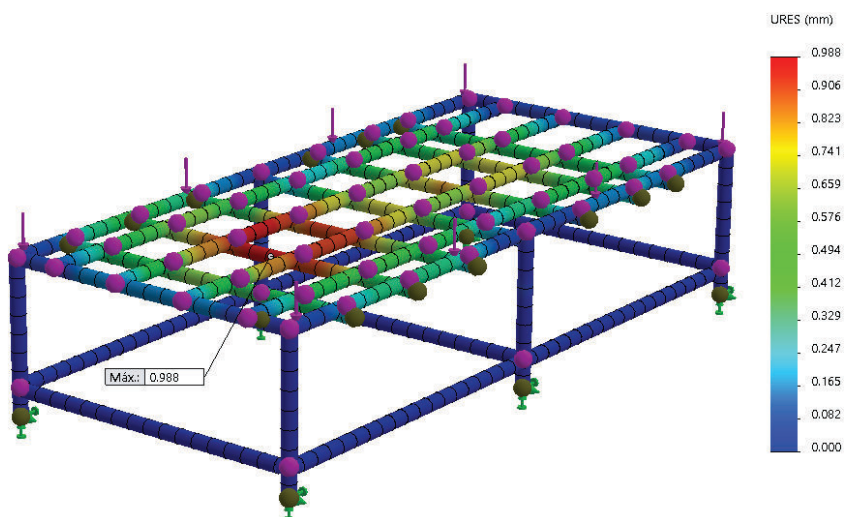


Figura 2.42 Deformación

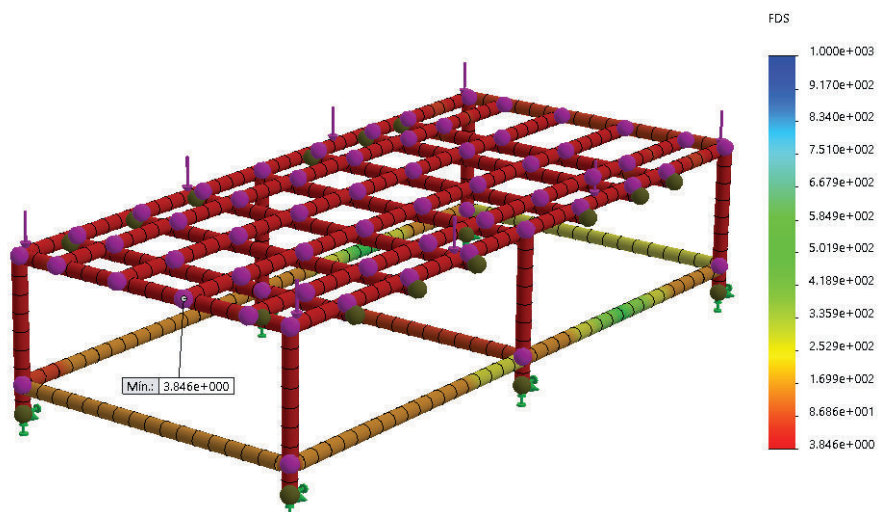


Figura 2.43 Factor de seguridad para los elementos de la estructura

En la figura 2.41, se puede observar el mayor esfuerzo axial que es de 65 MPa situado en la parte frontal de la máquina justo en el ángulo central. Así también en la figura 2.42 se pudo determinar que la máxima deformación es de 0.98 mm, un valor bajo considerando que se trabajó con un espesor de plancha de 38mm superior al que normalmente se utilizaría.

Finalmente, en la figura 2.43 se puede ver que el factor de seguridad para la mesa de corte es de 3.85, por lo que se garantiza que no existiría falla para las cargas establecidas.

2.3.3.6 Selección de apoyos regulables

Se utilizó apoyos articulados con altura regulable mediante tornillo para posibilitar la nivelación de la máquina en el lugar donde se instale.

Para un diámetro de tornillo de 16mm, se verificó los factores de seguridad a flexión y cortante de los filetes de la rosca tanto para el tornillo como para la tuerca.

Tabla 2.49 Cálculo de esfuerzos en pies de apoyo de altura regulable

Datos				
Diámetro exterior	d	0.016	m	
Diámetro de paso	dm		m	
Diámetro de raíz	dr	0.014	m	
Carga(Wtotal/6; 1348 kg/6)	F	224.67	Kg	1348
Paso	p	0.002	m	
Tipo de rosca		UNS/ISO		
Altura de la tuerca	Lt	0.013	m	
Número de filetes en contacto	nt	1.00		
Esfuerzos cortante en los filetes de la rosca		Tornillo	Tuerca	
Área		0.00008	0.00010	
Esfuerzo flexionante en la raíz de la rosca	σ_b	15891878.64	Pa	13408772.6 Pa
Esfuerzo cortante en la raíz de la rosca	τ	7945939.32	Pa	6704386.3 Pa
Material:		A304		AISI 1020
Esfuerzo de fluencia	Sy	241.00	MPa	207.00 MPa
Factor de seguridad				
Por flexión en los filetes	FS	15.16		15.44
Por cortante en los filetes	FS	17.50		17.82

Con base a los resultados, se comprobó que el tornillo seleccionado no tendrá problemas para soportar la carga dispuesta. Para la base, el diámetro seleccionado es de 100 mm y el material es una poliamida de alta resistencia especificada por el fabricante. En el anexo IV se presenta la hoja técnica de los pies de apoyo seleccionados.

2.3.4 REDUCTOR DE VELOCIDAD PARA MOTORES DE PASO

De acuerdo con el motor para generar movimiento en cada eje de la máquina cuya selección se detalla en el siguiente capítulo, se estableció incorporar una reducción de velocidad tanto para el Eje Y como para el Eje X con la finalidad de obtener mejor resolución para el corte ya que la relación de transmisión empleada permite dividir el ángulo de paso del motor. Esta reducción de velocidad se decidió realizarla mediante banda de sincronización y polea dentada debido a que estos elementos son ideales para transmisiones de precisión.

En la figura 2.44 se presenta la geometría de las bandas y poleas de sincronización

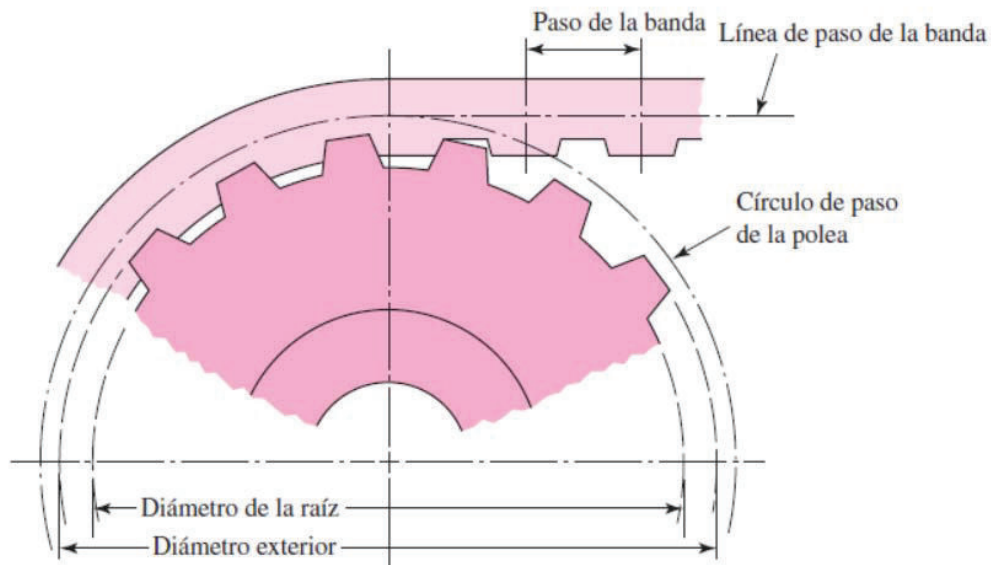


Figura 2.44 Geometría de una transmisión por correa de sincronización⁴⁴

⁴⁴ SHIGLEY Joseph; “Diseño en Ingeniería Mecánica”, octava edición; McGraw Hill; México; 2008; p. 885.

Existen correas dentadas tanto en el sistema inglés (MXL, XL, L, H, XH) como métrico (T) con pasos estándares que se seleccionan a partir de las potencia a transmitir y la velocidad de giro de la polea conductora. Según SHIGLEY, las series MXL y XL se utilizan para un servicio extra ligero, L para un servicio ligero, H y XH para servicio pesado y extra pesado respectivamente. Adicionalmente, existen dentados curvilíneos (series HTD, GT), que presentan mejores cualidades en comparación con el dentado trapezoidal.

La figura 2.45 muestra las diferentes zonas de servicio para dos tipos de dentado en función de la potencia y la velocidad del eje más rápido. En las tablas 2.45 y 2.35 se muestran los resultados del cálculo de potencia y velocidad del piñón para desplazar tanto el pórtico a lo largo del Eje X como la antorcha a lo largo del Eje Y. Para utilizar el gráfico de la figura 2.45 es necesario establecer tanto la potencia y velocidad en el eje del motor por lo que a los datos obtenidos hay que multiplicar la potencia y dividir la velocidad por la relación de transmisión mínima requerida que se estableció en 3:1.

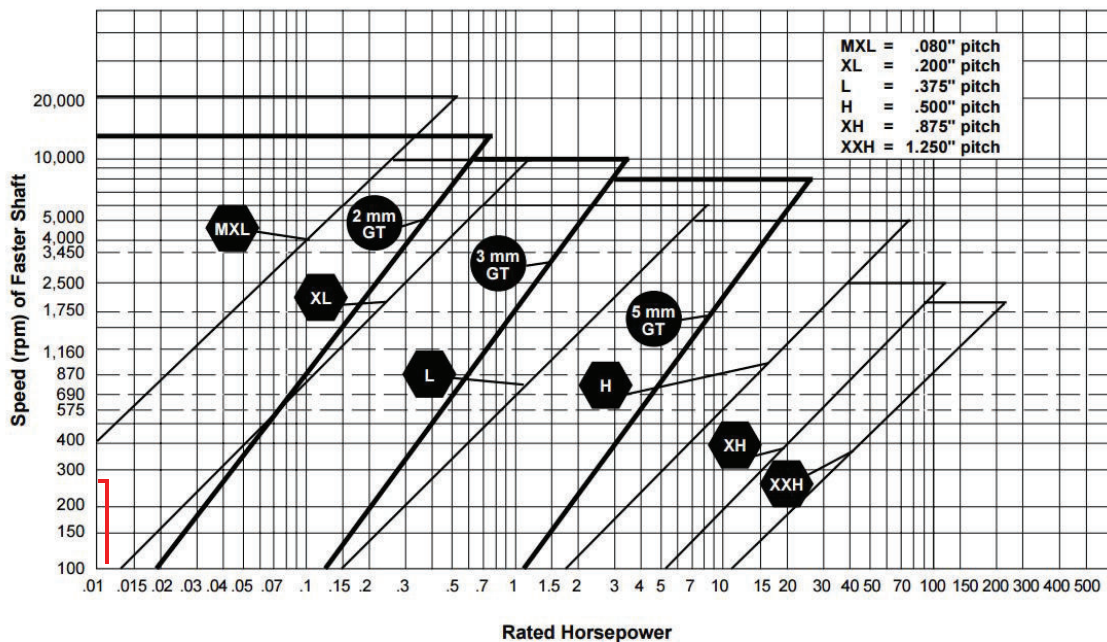


Figura 2.45 Selección del tipo de correa dentada
(Gates Ruber Co, The world of timing belts, T6)

Luego de seleccionar el tipo de dentado y el paso se procedió a dimensionar las poleas para la relación de transmisión. Para éste dimensionamiento se utilizó la calculadora propuesta en el sitio web <http://sdp-si.com>, en donde se determinaron los diámetros de paso tanto de la polea conductora como de la conducida, así como también la longitud necesaria de la correa en función de la distancia de montaje entre poleas. En la figura 2.46 se muestran los resultados obtenidos.

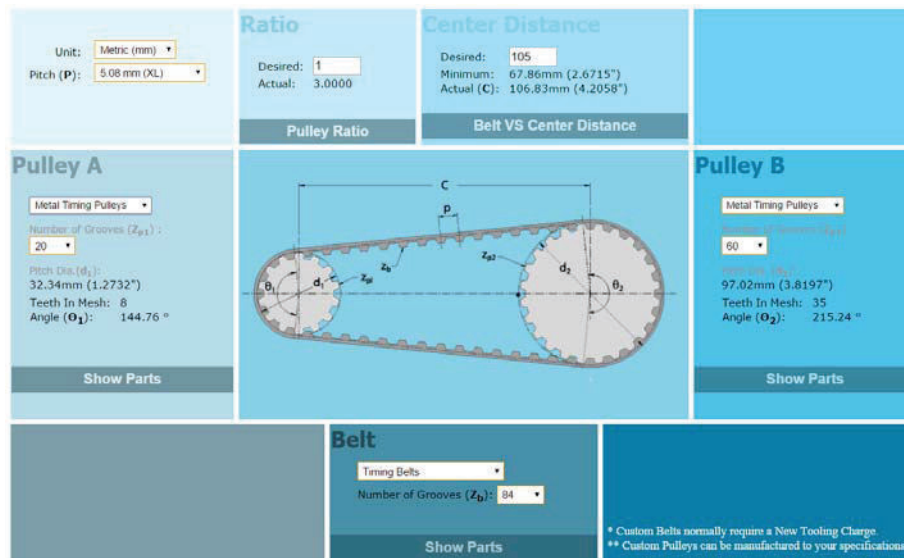


Figura 2.46 Dimensionamiento de poleas y correa dentada⁴⁵

A continuación se detallan los datos obtenidos la correa y poleas dentadas

Polea dentada conductora

Paso: XL (5.08mm)

Diámetro de paso: 32.34mm

Nro. De dientes: 20

Polea dentada conducida

Paso: XL (5.08mm)

Diámetro de paso: 97.02mm

Nro. De dientes: 60

Correa dentada

Nro. De dientes: 84

Distancia entre centros: 106.83 mm (Nominal 105mm)

⁴⁵ Stock drive products/sterling instrument (2002); "Timing belt and pulleys"; Recuperado de <https://sdp-si.com/eStore/CenterDistanceDesigner> (Septiembre 2015)

2.3.4.1 Mecanismo ajustador de piñón-cremallera

En las máquinas CNC es muy importante mantener la precisión en el montaje de los componentes en especial de los elementos que transmiten el movimiento como es el mecanismo de piñón cremallera. Muchos fabricantes utilizan tensores entre el piñón y la cremallera para mantenerlos unidos en todo momento especialmente cuando los dientes son muy pequeños y por el movimiento pueden producir un salto o desalineamiento.

Para este diseño se ha propuesto utilizar como tensor un resorte cuya fuerza de tensión se determinará empíricamente durante las pruebas de funcionamiento de la máquina. En las siguientes figuras se detalla el montaje de los elementos.

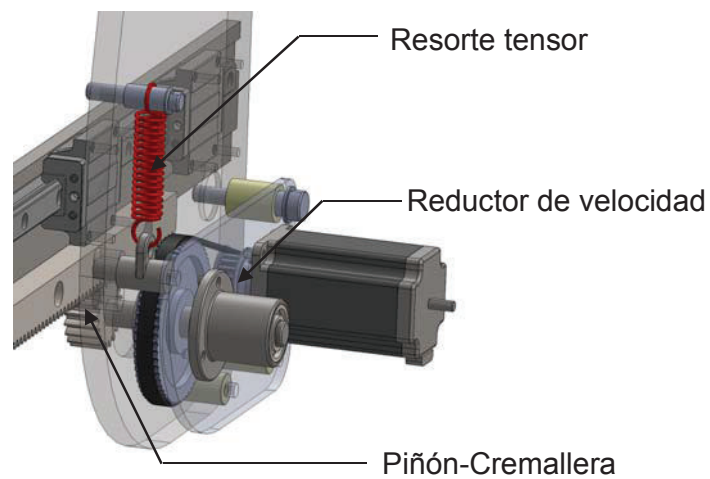


Figura 2.47 Transmisión Eje X

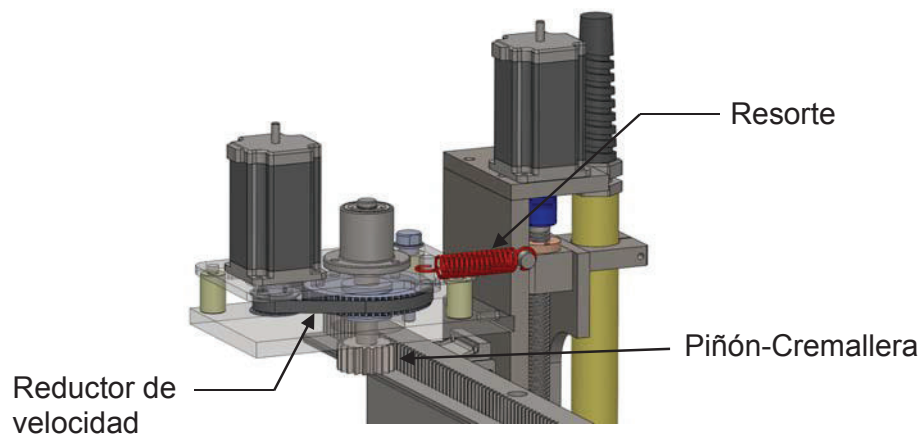


Figura 2.48 Transmisión Eje Y

2.3.4.2 Diseño de ejes de transmisión

Tanto para el EJE X como para el EJE Y se dispuso utilizar una reducción de velocidad mediante poleas dentadas que permitan la transmisión de movimiento desde el motor de pasos hacia el mecanismo piñón-cremallera.

En la figura 2.49 se presenta el montaje propuesto de los componentes sobre los ejes tanto para la transmisión correspondiente al EJE X como para la transmisión para el EJE Y.

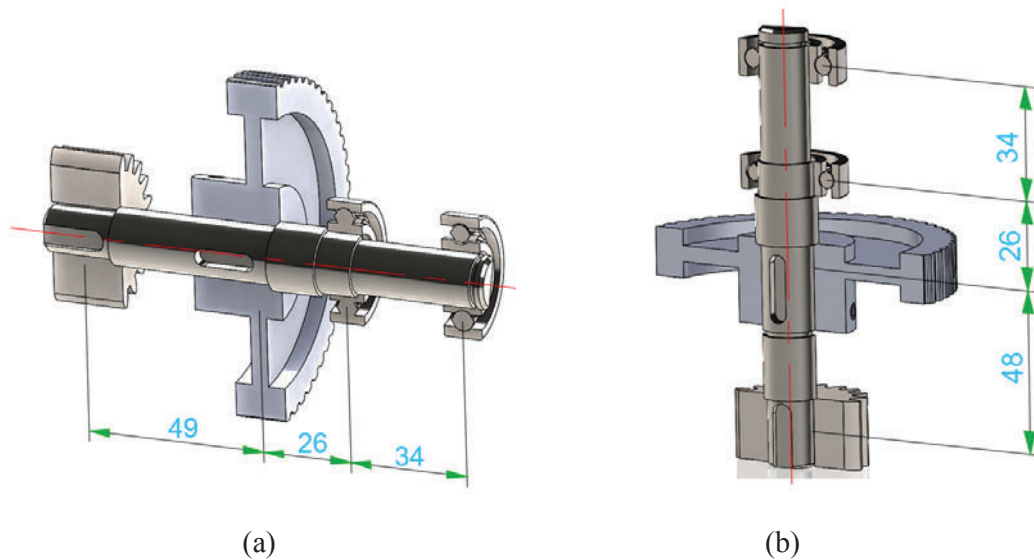
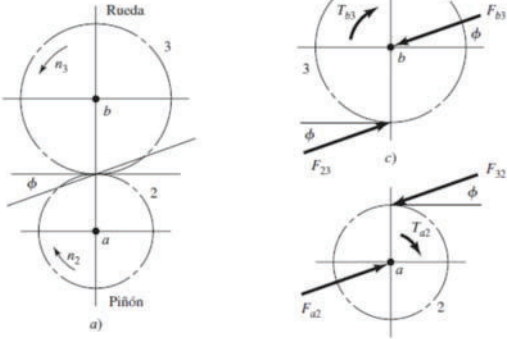
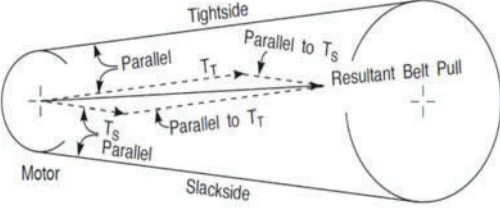


Figura 2.49 (a) Dimensiones propuestas para el eje en EJE X, (b) Dimensiones propuestas para el eje del EJE Y

En el presente cálculo se ha considerado los resultados obtenidos en las secciones 2.3.2.2 y 2.3.3.3 donde se determinó tanto para el EJE X como para el EJE Y, la fuerza tangencial en el mecanismo piñón cremallera y el torque a transmitir.

Debido a que las cargas nominales son variables en dirección (por el mecanismo piñón –cremallera), la falla ocurriría por fatiga; por lo tanto, se consideró aplicar el análisis por fatiga para diseño de ejes. En la tabla 2.50 se detallan las ecuaciones requeridas para el diseño de ejes.

Tabla 2.50 Ecuaciones para el diseño de ejes

<p>Fuerzas sobre Engranajes rectos</p> 	$F_t = T / (D/2) \quad [2.60]$ $F_r = F_t \tan \phi \quad [2.61]$ <p>Dónde:</p> <p>F_t= Fuerza transmitida T= Torque transmitido D= Diámetro de paso del piñón F_r= Fuerza radial Φ= Ángulo de presión</p>
<p>Fuerzas sobre correas dentadas⁴⁶</p> 	$T_T = \frac{2.5 (Q)}{Pd} \text{ (lb)} \quad [2.62]$ $T_S = \frac{0.5 (Q)}{Pd} \text{ (lb)} \quad [2.63]$ <p>Donde: T_T = Tight side tension (lbs) T_S = Slack side tension (lbs) Q = Torque Load (lb·in) Pd = Pitch diameter (in)</p> $T_{T,S} = \sqrt{T_T^2 + T_S^2 - 2(T_T(T_S)\cos\theta)} \quad [2.64]$
<p>Diámetro de la sección⁴⁷</p>	$D = \left[\frac{32n}{\pi} \sqrt{\left[\frac{Kt M}{S'n} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[\frac{T}{Sy} \right]^2} \right]^{1/3} \quad [2.65]$ <p>Donde:</p> <p>D=Diámetro de la sección n= Factor de seguridad Kt=Factor de concentración de esfuerzo M=Momento flexionante S'n= Resistencia a la fatiga corregida</p>

⁴⁶ GATES, PowerGrip GT3; "Drive Design Manual"; Gates Corporation; 2014; p 183.

⁴⁷ MOTT Robert; "Diseño de Elementos de Máquinas"; 4ta edición; Pearson; México; 2006; p. 531-538.

	<p>T= Torque transmitido Sy= Esfuerzo de fluencia</p> $Dv = \sqrt{2.94 Kt(V)n/S'n} \quad [2.66]$ <p>Donde: Dv=Diámetro de la sección cuando la carga vertical sea la única carga importante presente.</p> $S'n = Sn(Cm)(Cst)(CR)(Cs) \quad [2.67]$ <p>Donde: Se=Resistencia a la fatiga* Cm= Factor de material Cst= Factor de tipo de esfuerzo CR=Factor de confiabilidad Cs= Factor de tamaño</p> <p>(* Se determina en función de la resistencia a la tensión del material mediante la figura 2.48.</p>
--	---

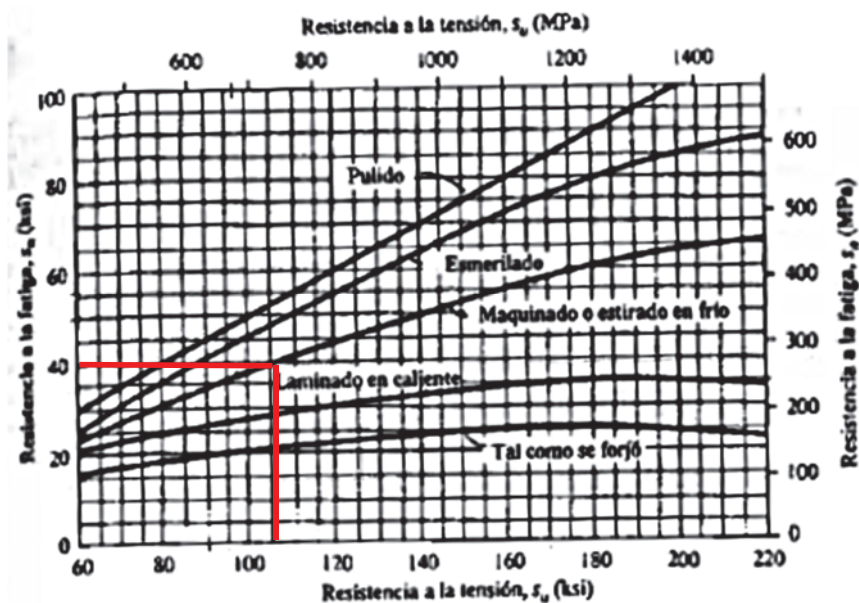


Figura 2.50 Resistencia a la fatiga S_n en función de la resistencia a la tensión⁴⁸

⁴⁸ MOTT Robert; "Diseño de Elementos de Máquinas"; 4ta edición; Pearson; México; 2006; p. 175

Para el diseño se calculó el diámetro mínimo aceptable en varios puntos del eje a partir de un factor de seguridad de 2. En la figura 2.51, se presenta el diagrama de cuerpo libre para éste eje donde se muestran las fuerzas axiales y pares de torsión.

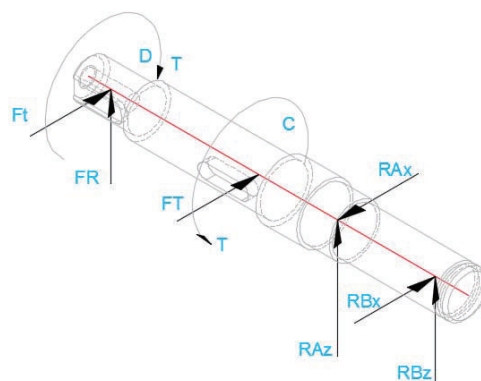


Figura 2.51 DCL para el eje de la transmisión del EJE X

En la tabla 2.51 se presenta una hoja de cálculo establecida para calcular la magnitud de las fuerzas que actúan sobre el eje en estudio.

Tabla 2.51 Cálculo de cargas sobre el eje para la transmisión del EJE X

Datos			
Diámetro de paso de la polea conductora	D	32,340	mm
Diámetro de paso de la polea conducida	D	97,020	mm
Diámetro de paso del Piñón	D	40,000	mm
Ángulo de presión para piñón-cremallera	ϕ	20,000	
Torque transmitido	T	1,443	N.m
Distancia entre centros	C	106,830	
Ángulo entre ramales de banda	α	33,685	
Suplemento	θ	146,32	
Cargas sobre el eje		Tornillo	
Fuerza transmitida (tabla 2.45)	Ft	72,16	N
Fuerza radial	Fr	26,27	N
Fuerza por acción del resorte de tensión($Fr \cdot 1,5$)	FR	39,40	N
Tensión en 1er ramal	TT	111,57	N
Tensión en segundo ramal	TS	22,31	N
Fuerza de tensión	FT	93,82	N

Se calculó las reacciones en los rodamientos y se prepararon los diagramas de cortante y momento flector. En la figura 2.52 se muestra los resultados.

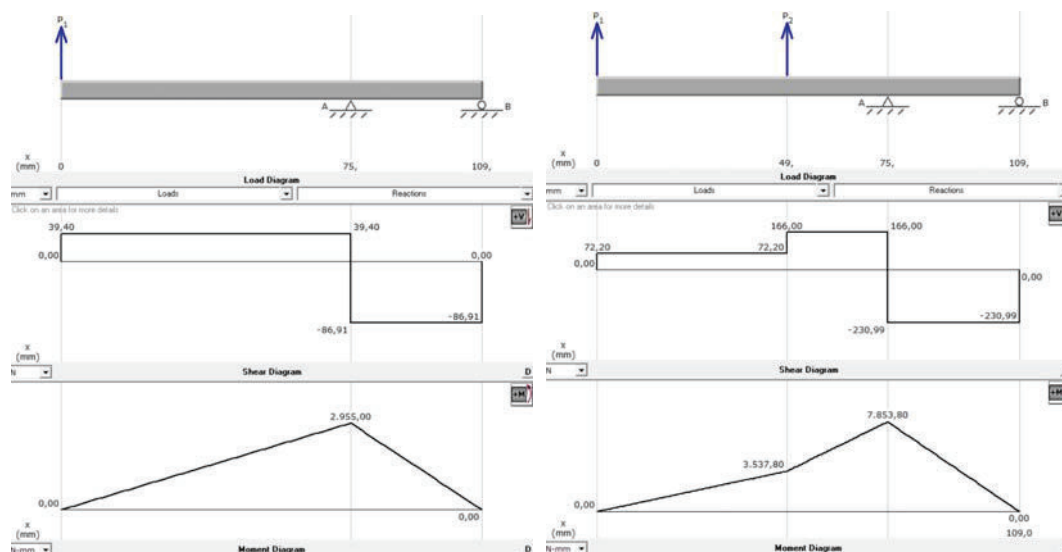


Figura 2.52 Diagrama de cortante y momento flector en X y Z para el eje de la transmisión EJE X

Aplicando las ecuaciones mostradas en la tabla 2.50 y los resultados de los diagramas de la figura 2.51, se obtuvieron los siguientes valores para el diámetro en las secciones del eje.

Tabla 2.52 Cálculo del diámetro para cada sección del eje. Transmisión EJE X

SECCIONES		D	C	A	B
Momento Flector	M	0,00	4,03	8,39	0,00
Torque	T	3,00	3,00	0,00	0,00
Cortante Vertical	V				246,81
Factor de seguridad	n	2	2	2	2
Material: Acero AISI 1045 Sy=435 MPa Sut=738 MPa	Sy	435000000	435000000	435000000	435000000
Factor de concentración de esfuerzo Chavetero cerrado: Kt=2 Chavetero abierto: Kt=1,6 Radio de acuerdo agudo: Kt=2,5 Anillo de retención: Kt=3	Kt	2,5	2,5	2,5	3
Resistencia a la fatiga Sn=40000 PSI = 220631834 Pa CR=0,81	Se	275789793	275789793	275789793	275789793
Diámetro mínimo	D	4,96	9,10	11,57	3,97
Diámetro Seleccionado	D	13	16	17	15

Aplicando los mismos criterios se realizó el diseño para el eje de la transmisión EJE Y. En la figura 2.53 se presenta el diagrama de cuerpo libre de fuerzas axiales y pares de torsión.

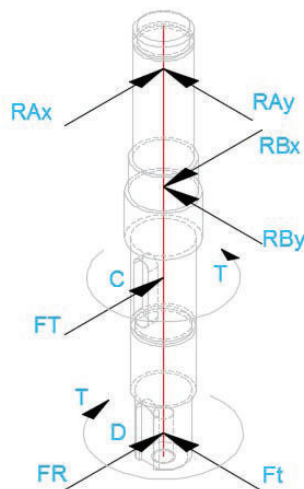


Figura 2.53 DCL para el eje de la transmisión del EJE Y

En la tabla 2.53, se presenta la hoja de cálculo para la determinación de las cargas sobre el eje.

Tabla 2.53 Cálculo de cargas sobre el eje para la transmisión del EJE X

Datos			
Diámetro de paso de la polea conductora	D	32,340	mm
Diámetro de paso de la polea conducida	D	97,020	mm
Diámetro de paso del Piñón	D	40,000	mm
Ángulo de presión para piñón-cremallera	ϕ	20,000	
Torque transmitido	T	1,110	N.m
Distancia entre centros	C	106,830	
Ángulo entre ramales de banda	α	33,685	
Suplemento	θ	146,32	
Cargas sobre el eje		Tornillo	
Fuerza transmitida (tabla...)	Ft	55,40	N
Fuerza radial	Fr	20,16	N
Fuerza por acción del resorte de tensión($Fr*1,5$)	FR	30,25	N
Tensión en 1er ramal	TT	85,81	N
Tensión en segundo ramal	TS	17,16	N
Fuerza de tensión	FT	72,16	N

Se calculó las reacciones en los rodamientos y se prepararon los diagramas de cortante y momento flector. La figura 2.54 y tabla 2.54 muestra los resultados.

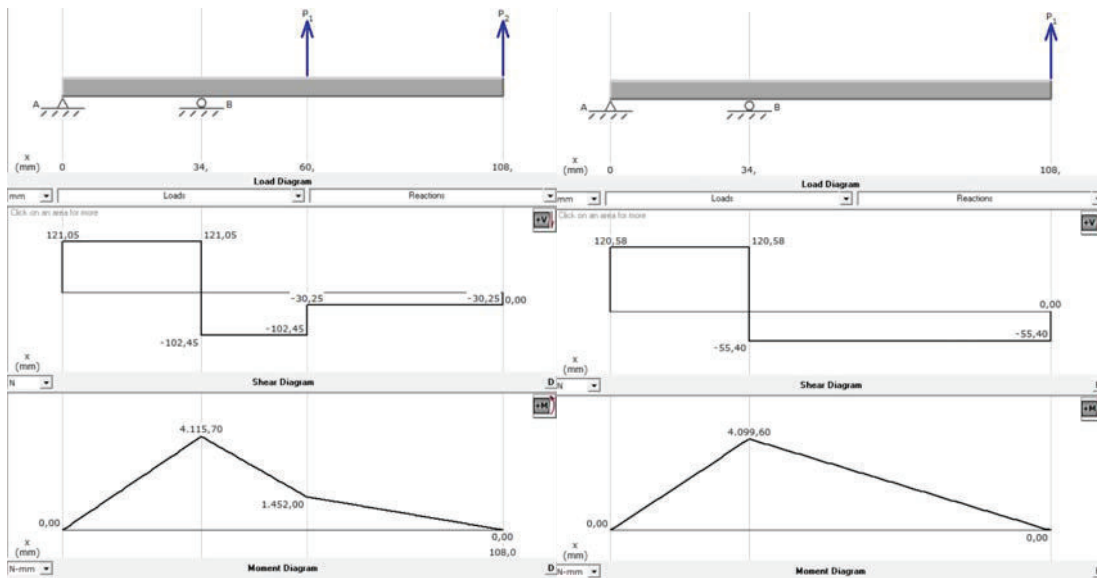


Figura 2.54 Diagrama de cortante y momento flector en X y Y para el eje de la transmisión EJE Y

Tabla 2.54 Cálculo del diámetro para cada sección del eje. Transmisión EJE Y

		A	B	C	D
Momento Flector	M	0,00	5,87	3,03	0,00
Torque	T	0,00	0,00	1,11	1,11
Cortante Vertical	V	170,41			
Factor de seguridad	n	2	2	2	2
Material: Acero AISI 1045 Sy=435 MPa Sut=738 MPa	Sy	435000000	435000000	435000000	435000000
Factor de concentración de esfuerzo Chavetero cerrado: Kt=2 Chavetero abierto: Kt=1,6 Radio de acuerdo agudo: Kt=2,5 Anillo de retención: Kt=3	Kt	3	2,5	3	2,5
Resistencia a la fatiga Sn=40000 PSI = 220631834 Pa CR=0,81	Se	275789793	275789793	275789793	275789793
Diámetro mínimo	D	3,30	10,27	8,76	3,56
Diámetro Seleccionado	D	13	16	17	15

2.3.5 DISEÑO PLACAS BASE

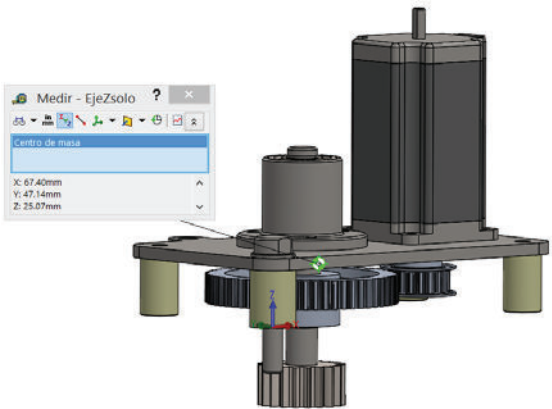
Una vez definidos los diferentes elementos de la máquina cortadora por plasma, se comprobó que no existan deflexiones muy grandes en las placas que sirven como soporte de los diferentes elementos. A continuación se presenta un análisis para las placas que conforman el EJE Z y que se ha considerado como elementos más críticos.

El bastidor para el EJE Z, está formado de tres placas una vertical y dos horizontales que por un lado soporta el peso del motor de pasos que comanda el movimiento del tornillo de potencia y por el otro lado soporta el peso de la transmisión que permite el desplazamiento de la antorcha en el sentido transversal de la máquina.

El análisis se realizó por el método de elementos finitos simulando las tensiones y deformaciones máximas y factor de seguridad mínimo.

En la tabla 2.55 se presentan las fuerzas que fueron cargadas a las placas para la simulación.

Tabla 2.55 Cargas sobre las placas EJE Z

Peso motor Eje Z	2.4 kg
<p>Peso de mecanismo reductor</p> <p>Para este caso se cargó la fuerza en el centro de gravedad del conjunto cuya posición definida por Solidworks se muestra en esta figura.</p>	<p>5 KG. Todo el conjunto</p> 

En la figura 2.55, se presentan los resultados de la simulación para la tensión, deformación y factor de seguridad.

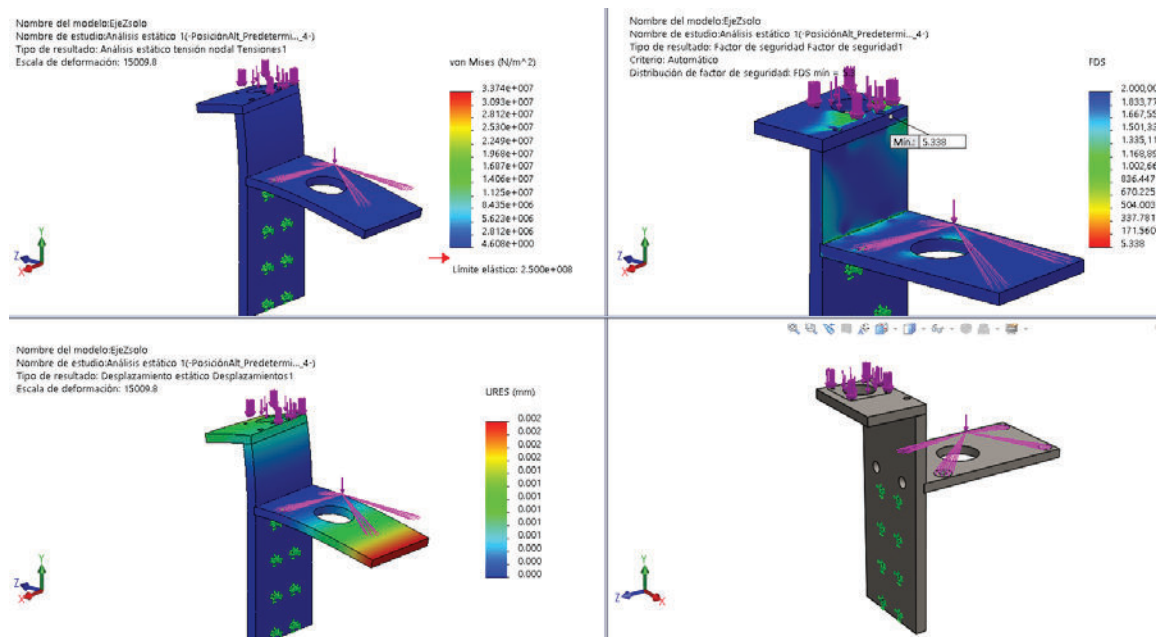


Figura 2.55 Simulación para esfuerzos, deformaciones y factor de seguridad para placas correspondientes al EJE Z

Como se puede ver la deformación máxima llegó a 0.002mm, el valor máximo de la tensión es de 33.74 MPa por lo que se obtuvo un factor de seguridad de 5.4, con lo que se comprueba que bajo las cargas establecidas los elementos no fallarían y las deflexiones son totalmente admisibles.

2.3.6 PLANOS CONSTRUCTIVOS

Una vez dimensionado y seleccionado los diferentes elementos se desarrollaron los planos constructivos de la máquina que se presentan en el anexo V. Algunos elementos se han dimensionado por facilidad de fabricación o por ser complementarios con otros por lo que no han requerido diseño.

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO

En el capítulo anterior se detalló el diseño mecánico de la máquina de corte CNC, en el presente capítulo se desarrolló el diseño del sistema del control automático que permite automatizar la máquina cortadora. En la figura 3.1, se puede ver a más de la arquitectura de una máquina de control numérico, el flujo de tareas que son necesarios para producir un componente o parte.

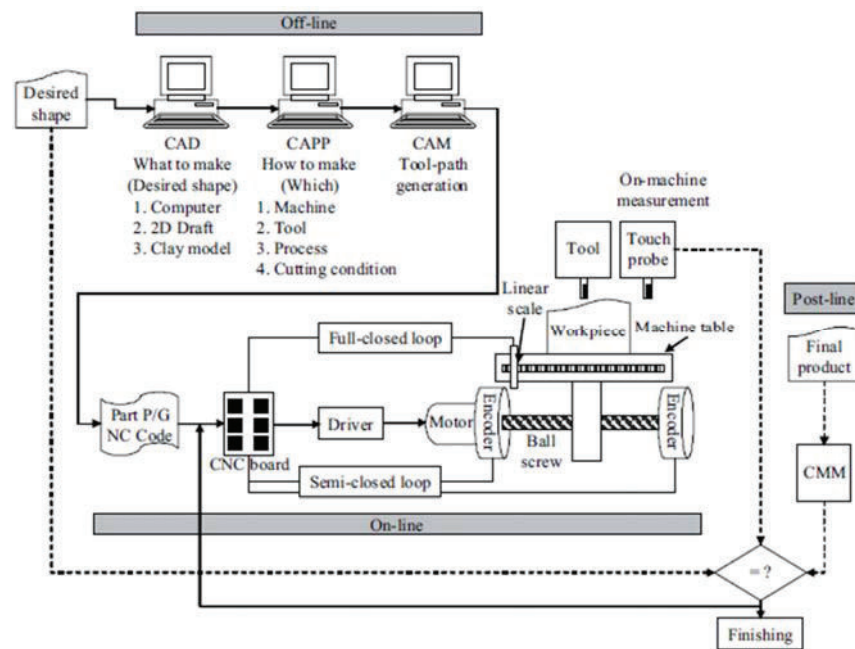


Figura 3.1 Arquitectura de una máquina CNC y el flujo de operación de maquinado (Suh y otros, 2008, p. 7)

Como se mencionó en el capítulo 1, el control numérico es el sistema que permite a las máquinas herramientas fabricar un componente con formas diversas de una manera rápida y precisa. En el Control Numérico, el actuador (servomotor o motor de pasos) es usado para controlar la máquina herramienta acorde a las operaciones definidas por el usuario.

3.1 LAZOS DE CONTROL CNC

Como la velocidad real y la posición detectada de un sensor es retroalimentada a un circuito de control, el actuador usado en una máquina CNC es continuamente monitoreado para minimizar el error en la velocidad o en la posición. La retroalimentación del sistema de control consiste en tres lazos de control independientes para cada eje del plasma CNC, que se detallan a continuación⁴⁹.

3.1.1 LAZO SEMICERRADO

El lazo semicerrado es el mecanismo de control más popular, como se muestra en la figura 3.2, un detector de posición se encuentra en el eje del motor que detecta el ángulo de rotación. La precisión de la posición del eje está influenciado por la precisión de las guías.

De ser necesario, la compensación del error de pasos y del error de holgura pueden ser usados en el control numérico para incrementar la precisión en la posición.

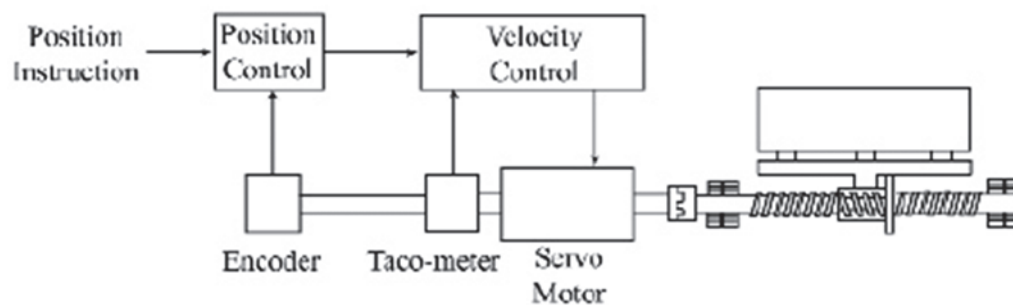


Figura 3.2 Lazo de Control Semicerrado
(Suh y otros, 2008, p. 20)

3.1.2 LAZO CERRADO

El rendimiento del lazo semicerrado depende de la precisión del tornillo de bolas y es posible incrementar la precisión en la posición por medio de la compensación de pasos y compensación de holgura. Sin embargo, de forma general, la holgura puede variar de acuerdo al peso y la localización de la pieza de trabajo y la

⁴⁹ Suh y otros, (2008). *Theory and Design of CNC Systems*. (1st ed). Springer, p. 17 – 20.

acumulación del error de paso del tornillo de bolas que varía según la temperatura. Adicionalmente, para máquinas herramientas de grandes dimensiones, el tornillo de bolas es poco práctico debido a su longitud, por lo que se utiliza el sistema de transmisión piñón cremallera. Sin embargo la precisión de la cremallera es limitada. En este caso, el lazo cerrado tal como se muestra en la figura 3.3 es aplicado. En el lazo cerrado se adjunta un detector de posición a la mesa de la máquina con el fin de tener una retroalimentación del error de la posición hacia el sistema de control.

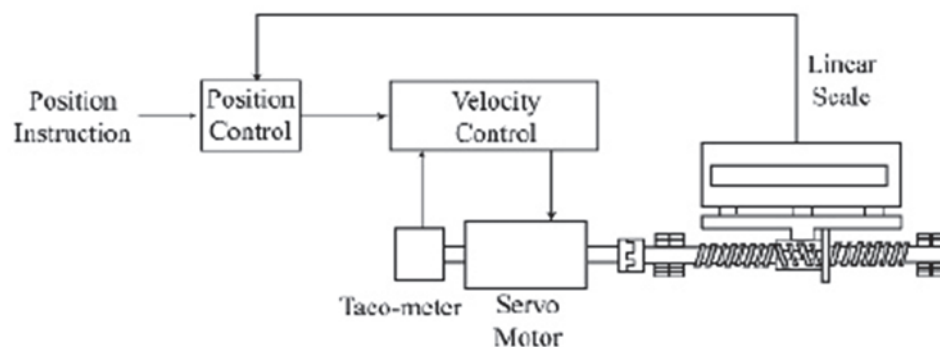


Figura 3.3 Lazo Cerrado
(Suh y otros, 2008, p. 20)

3.1.3 LAZO HIBRIDO

El lazo cerrado, es necesario para reducir la ganancia en el caso que sea difícil incrementar la rigidez en proporción al peso del elemento en movimiento o disminuir las pérdidas de movimiento en máquinas muy pesadas. Si la ganancia es muy baja, el rendimiento es pobre con respecto al tiempo de posicionamiento y precisión. En este caso, se usa el Lazo Híbrido mostrado en la figura 3.4. En el lazo híbrido, hay dos tipos de lazos de control, el lazo semicerrado donde la posición es detectada desde el eje del motor y el lazo cerrado, el cual se basa en una escala lineal. En el lazo semicerrado, es posible el control con altas ganancias debido a que la máquina no está incluida en el sistema de control. El lazo cerrado aumenta la precisión por compensación del error que el lazo semicerrado no puede controlar. Debido a que el lazo cerrado es usado solo para compensar el error de posición, que se comporta bien a pesar de una ganancia

pequeña. Por la combinación del lazo cerrado y semicerrado, es posible obtener alta precisión con alta ganancia en una máquina mal acondicionada.

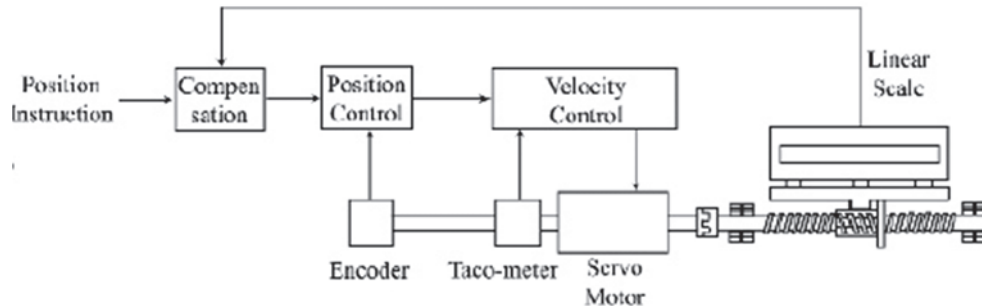


Figura 3.4 Lazo Híbrido.
(Suh y otros, 2008, p. 20)

3.1.4 LAZO ABIERTO

A diferencia de los lazos de control mencionados, el lazo abierto no tiene retroalimentación. El lazo abierto puede ser aplicado en el caso donde la precisión del control no es tan alta y se utiliza motores de pasos. Debido a que el lazo abierto no necesita detectores ni circuito de retroalimentación.

3.2 SELECCIÓN DE LOS MOTORES

Los actuadores o motores son el corazón de cualquier máquina CNC. El tamaño y el tipo de motor puede definir la precisión, velocidad y exactitud de una máquina cortadora CNC. Para cumplir con este objetivo se tiene dos tipos de actuadores, los cuales son:

- Servo motores
- Motores Paso a Paso

Cada motor tiene sus características, las que se enumeran a continuación:

3.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR PASO A PASO

1. Bajo costo, los componentes asociados con los sistemas de motores paso a paso (por ejemplo motores, drives, etc.) son menos costosos

2. Muy preciso y fiable en circunstancias normales – intrínseco en motores paso a paso y su habilidad para lograr una alta precisión en la posición
3. Retroalimentación opcional con un encoder “híbrido”
4. No requiere de ajustes
5. Estos motores operan mejor a bajas temperaturas, por lo que requieren bajas relaciones de reducción
6. Es un sistema simple de entender y trabajar

3.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS SERVOMOTORES

1. Altos costos, drives amplificadores y fuentes de alimentación
2. El sistema de lazo cerrado provee un control más seguro
3. Mayor reducción mecánica. Las altas revoluciones pueden exceder los requerimientos para determinadas aplicaciones por lo que pueden ser corregidas con reductores de velocidad
4. Los ajustes son necesarios, para una operación apropiada del sistema se requiere de ensayos de pruebas y error
5. Tiempos de respuesta y operación rápidos
6. Es más complejo de entender y solucionar problemas

De acuerdo a las ventajas anteriores se decidió usar los motores paso a paso. Para poder determinar el modelo de motor paso a paso, la configuración y el tipo de control, se revisaron conceptos básicos sobre selección de motores.

3.3 CALCULO DE LA SELECCIÓN DEL MOTOR PASO A PASO

A continuación se explican las fórmulas requeridas para el control de un motor paso a paso basado en la señal de pulsos.

3.3.1 PATRÓN DE FUNCIONAMIENTO

Para el motor paso a paso, el patrón de operación para aceleración y desaceleración es comúnmente usado como patrón de operación en la velocidad de pulsos y se muestra en la figura 3.5.

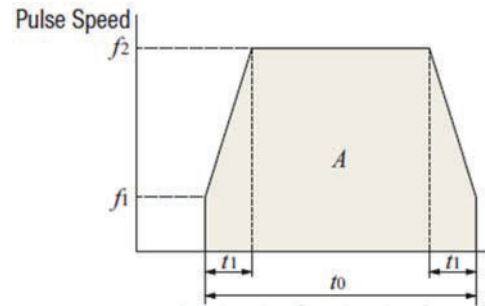


Figura 3.5 Operación Aceleración/Desaceleración
(Catálogo General Orientalmotor, 2015, p. H-5)

En la figura 3.6, se encuentra el patrón para la operación de arranque/parada que puede ser usado cuando las velocidades de operación son bajas y la carga por inercia es pequeña.

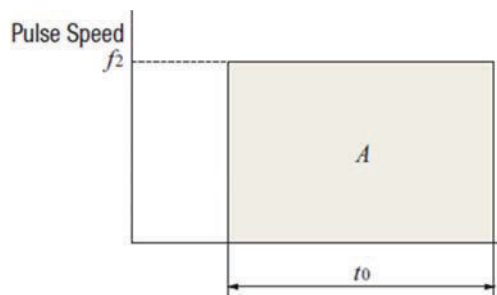


Figura 3.6 Operación arranque parada
(Catálogo General Orientalmotor, 2015, p. H-5)

Dónde:

f_1 : Velocidad de pulso de partida [Hz]

f_2 : Velocidad de pulso de operación [Hz]

A: Numero de Pulsos de operación

t_0 : Tiempo de posicionamiento [s]

t_1 : Tiempo de Aceleración (Desaceleración).

3.3.2 NÚMERO DE PULSOS DE OPERACIÓN

El número de pulsos de operación se expresa como el número de señales de pulso que se suman al ángulo del motor que debe rotar para trasladar la carga de un punto a otro.

$$A = \frac{l}{l_{rev}} \cdot \frac{360^\circ}{\theta_s} \quad [3.1]$$

Dónde:

l : Distancia desde el punto A al punto B [m]

l_{rev} : Distancia por cada rotación del motor [m/rev]

θ_s : Angulo de paso [°]

3.3.3 VELOCIDAD DE PULSOS DE OPERACIÓN

La velocidad de pulsos de operación puede ser obtenida del número de pulsos de operación, tiempo de posicionamiento y del tiempo de aceleración o desaceleración.

El tiempo de aceleración (desaceleración) es un punto importante en la selección de un motor paso a paso. El tiempo de aceleración o desaceleración no puede ser fácilmente ajustado, debido a que se correlaciona con el torque – aceleración y la velocidad de aceleración/desaceleración. Inicialmente, como referencia, se consideró el tiempo de aceleración (desaceleración) en aproximadamente el 25% del tiempo de posicionamiento.

$$t_1 = t_0 \times 0.25 \quad [3.2]$$

$$f_2 = \frac{A - f_1 \cdot t_1}{t_0 - t_1} \quad [3.3]$$

Para la operación de arranque y parada

$$f_2 = \frac{A}{t_0} \quad [3.4]$$

3.3.4 TASA DE ACELERACIÓN/DESACELERACIÓN

La velocidad de aceleración/desaceleración son los valores de ajuste usados por los controladores de los motores de cada fabricante. Esta tasa indica el grado de aceleración de la velocidad de pulsos y se calcula con la ecuación [3.5].

$$T_R = \frac{t_1}{f_2 - f_1} \quad [3.5]$$

En la figura 3.7, se puede ver en forma gráfica la relación de aceleración.

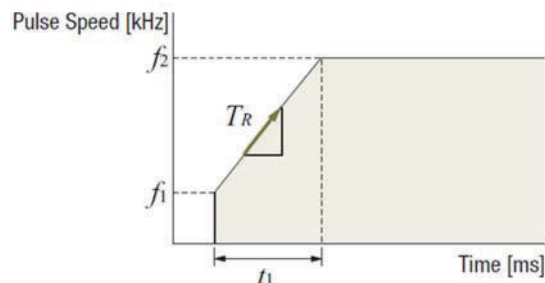


Figura 3.7 Tasa de aceleración/desaceleración
(Catálogo General Orientalmotor, 2015, p. H-5)

3.3.5 CÁLCULO DEL TORQUE DE CARGA

El torque necesario que debe ser suministrado por el sistema de accionamiento al actuador debe ser mayor que el torque resistivo, el mismo que se determina como la suma del torque de aceleración y el torque resistivo a velocidad constante, algunos fabricantes recomiendan aplicar al motor un factor de seguridad entre 1.2 y 2.0, dependiendo del sistema en cuestión para evitar que el motor deje de ejecutar pulsos o se pare por cambios de carga, ya que hay varios efectos difíciles de cuantificar, tal como la velocidad del lubricante, desgaste del actuador, etc.⁵⁰

En la tabla 3.1 y tabla 3.2 se describen las ecuaciones que se utilizaron para el cálculo del torque de carga para los sistemas de transmisión correas transportadoras/piñón cremallera, así como del tornillo.

Tabla 3.1 Cálculo de Torque de Carga para correas transportadoras o piñón cremallera

Descripción	Formula
Torque requerido	$T_L = \frac{F}{2\pi\eta} \cdot \frac{\pi \cdot D}{i} = \frac{F \cdot D}{2 \cdot \eta \cdot i}$ [Nm]
Fuerza Total	$F = F_A + m \cdot g(\text{sen}\theta + \mu \cdot \text{cos}\theta)$ [N]

⁵⁰ SureStep, (2007). *Sistemas de Motores paso a paso*. Manual No.: STP-SYS-MSP. Automationdirect.com, p. A-7 / A-9.

Tabla 3.2 Cálculo de Torque de Carga para Tornillo

Direct Connection	
Descripción	Formula
Torque requerido	$T_L = \left(\frac{F \cdot P_B}{2\pi \cdot \eta} + \frac{\mu_0 \cdot F_0 \cdot P_B}{2\pi} \right)$ [Nm]
Fuerza Total	$F = F_A + m \cdot g(\text{sen}\theta + \mu \cdot \text{cos}\theta)$ [N]

Dónde:

F: Fuerza Total en la dirección del movimiento [N]

F_0 : Precarga [N] = $\frac{1}{3}F$

η : Eficiencia (0.85 – 0.95)

i : Relación de transmisión del mecanismo

P_B : Paso del tornillo [m/rev]

m : Masa total de la masa y carga [Kg]

μ : Coeficiente de fricción

μ_0 : Coeficiente de fricción interna de la tuerca (0.1 ~ 0.3)

θ : Angulo de inclinación [°]

D: Diámetro de la polea o del piñón [m]

g: Aceleración de la gravedad [m/s^2] (9.807)

3.3.6 TORQUE DE ACELERACIÓN

Si la velocidad del motor varia, el torque de aceleración o desaceleración siempre debe ser ajustado. La fórmula básica es la misma para todos los motores. Sin embargo, se debe usar la ecuación [3.23] para el cálculo del par de aceleración para motores paso a paso sobre la base de la velocidad de pulsos.

Formulas básicas comunes para todos los motores

$$T_a = \frac{(J_0 \cdot i^2 + J_L)}{9.55} \cdot \frac{N_M}{t_1} \quad [3.6]$$

Operación de Aceleración/Desaceleración

$$T_a = (J_0 \cdot i^2 + J_L) \cdot \frac{\pi \cdot \theta_s}{180} \cdot \frac{f_2 - f_1}{t_1} \quad [3.7]$$

Operación de Parada/Arranque

$$T_a = (J_0 \cdot i^2 + J_L) \cdot \frac{\pi \cdot \theta_s}{180 \cdot n} \cdot f_2^2 \quad [3.8]$$

Dónde:

J_0 : Inercia del Rotor [Kg m²]

J_L : Inercia Total [Kg m²]

N_M : Velocidad de Operación [r/min]

t_1 : Tiempo de aceleración (desaceleración) [s]

i : Relación de transmisión.

3.3.7 TORQUE REQUERIDO

El Torque requerido, es el resultado de multiplicar la suma del torque de carga y el torque de aceleración por el factor de seguridad.

$$T_M = (T_L + T_a)S_f \quad [3.9]$$

T_M : Torque Requerido [N m]

T_L : Torque de Carga [N m]

T_a : Torque de Aceleración [N m]

S_f : Factor de Seguridad

3.4 SELECCIÓN DE LOS MOTORES PASO A PASO DEL SISTEMA CNC

Con base a los cálculos realizados en el capítulo anterior, en la tabla 3.3 se resumen los requerimientos para los ejes X, Y y Z que servirán para la selección de los motores paso a paso.

Tabla 3.3 Requerimientos para selección de los Motores Paso a Paso

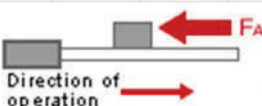

EJE	PESO	RECORRIDO	RESOLUCIÓN	VELOCIDAD	FACTOR DE SEGURIDAD
	[Kg]	[mm]	[mm/pulso]	[mm/s]	F.S.
X	135	2540	0.254	212	2
Y	40	1220	0.254	212	2
Z	13	70	0.254	40	2

3.4.1 TORQUE MÍNIMO Y SELECCIÓN DEL MOTOR PARA AJUSTE DE LA ALTURA DE LA ANTORCHA (EJE Z)

Para la selección del motor paso a paso, se realizó el cálculo del torque mínimo que debe suministrar el motor para realizar el ajuste de la altura de la antorcha. Como primer paso, en la tabla 3.4 se definió las necesidades del actuador y del movimiento del eslabón.

En el capítulo 2 se estableció realizar la transmisión para el ajuste de la altura de la antorcha por medio de un tornillo de potencia.

Tabla 3.4 Requerimientos de movimientos para la selección del motor (eje Z)

CARGA Y GUIA LINEAL					
Peso total de la carga y de la Tabla		W1	[Kg] / [lb]	13	28.65
Coefficiente de fricción de la guía		μ		0.05	
Resolución deseada		L θ	[mm/pulso] / [in/pulso]	0.254	0.0100
Carrera		Dtotal	[mm] / [in]	70	2.7559
Coefficiente de fricción de precargar de la tuerca		μ_0		0.15	
Frecuencia inicial en la partida		f0	[Hz]	20	
Tiempo de movimiento		Ttotal	[s]	0.8	
Tiempo de aceleración y desaceleración		Tacel	[s]	0.5	
ESPECIFICACION DEL TORNILLO DE BOLAS/AVANCE					
Diametro		DB	[mm] / [in]	14.3	0.56
Longitud Total		LB	[mm] / [in]	184	7.244
Paso del tornillo		PB	[mm] / [in]	3.17	0.125
Material				ACERO	▼
Densidad del material del Piñón		ρ	[Kg/m ³] / [oz/in ³]	7850.0	4.536
Eficiencia del Sistema		η	%	31	
FUERZA EXTERNA					
		FA	[Kg] / [lb]	0	0
					
COLOCACION DEL MECANISMO					
Angulo del mecanismo	$\alpha =$	90			
CONDICIONES DE OPERACION					
Velocidad especificada		V	[mm/s] / [in/s]	40	1.57
FACTOR DE SEGURIDAD					
factor de Seguridad		S.F.		2	▼

Con las ecuaciones descritas en la sección 3.4, se realizó el dimensionamiento del motor para el eje Z, luego de varias iteraciones en la tabla 3.5 se estableció una hoja de cálculo que permitió determinar el torque requerido para girar el tornillo y desplazar la antorcha. Es importante que para el cálculo del Torque Requerido T_M , se lo multiplique por un factor de seguridad de dos, esto para asegurar que no se pierda ningún paso en el desplazamiento de la antorcha.

Para el eje Z, se seleccionó un motor paso a paso modelo, KL23H2100-50-4B, de Automation Technology (ver ANEXO VI), por considerarlo una opción razonable por sus características de torque versus velocidad.

Tabla 3.5 Hoja de Cálculo para el dimensionamiento del motor del eje Z

DIMENSIONAMIENTO				
Resolucion requerida	$\theta_s = \frac{(360^\circ \times L_\theta)}{P_B}$	[grados]	28.8454	
Velocidad maxima requerida	$V_{max} = \left(\frac{V}{P_B}\right) \times 60$	[RPM]	757.10	
Inercia del Tornillo	$J_{Tornillo} = \frac{\pi L_B \rho D_B^4}{32}$	[Kg m ²] / [oz in ²]	0.000006	0.3241
Inercia de la Carga	$J_{W1} = W_1 \times \left(\frac{P_B}{2\pi}\right)^2$	[Kg m ²] / [oz in ²]	0.000003	0.1809
Inercia de la carga y el piñón, reflejados al eje del motor	$J_L = J_{Tornillo} + J_{W1}$	[Kg m ²] / [oz in ²]	0.0000092	0.5050
Torque de aceleración	$T_{acel} = J_L \times \left(\frac{V_{max}}{t_{acel}}\right) \times \frac{2\pi}{60}$	[N-m] / [oz - in]	0.00175895	0.2489
Fuerza de gravedad	$F_{gravedad} = (W_1) \times \text{sen}(\alpha) \times 9.81$	[N] / [oz]	127.53	458.432
Fuerza de Fricción	$F_{fricción} = \mu \times (W_1) \times \text{cos}(\alpha) \times 9.81$	[N] / [oz]	0.000	0.0000
Fuerza Total	$F_{total} = F_{ext} + F_{fricción} + F_{gravedad}$	[N] / [oz]	127.5300	458.432
Torque resistivo de la Carga	$T_L = \frac{(F_{total} \times P_B)}{2\pi \times \eta \times 0.01} + \frac{\mu_0 \times F_0 \times P_B}{2\pi}$	[N-m] / [oz - in]	0.211	29.8290
Torque Requerido	$T_M = (T_{acel} + T_L) \times S.F.$	[N-m] / [oz - in]	0.425	60.1559

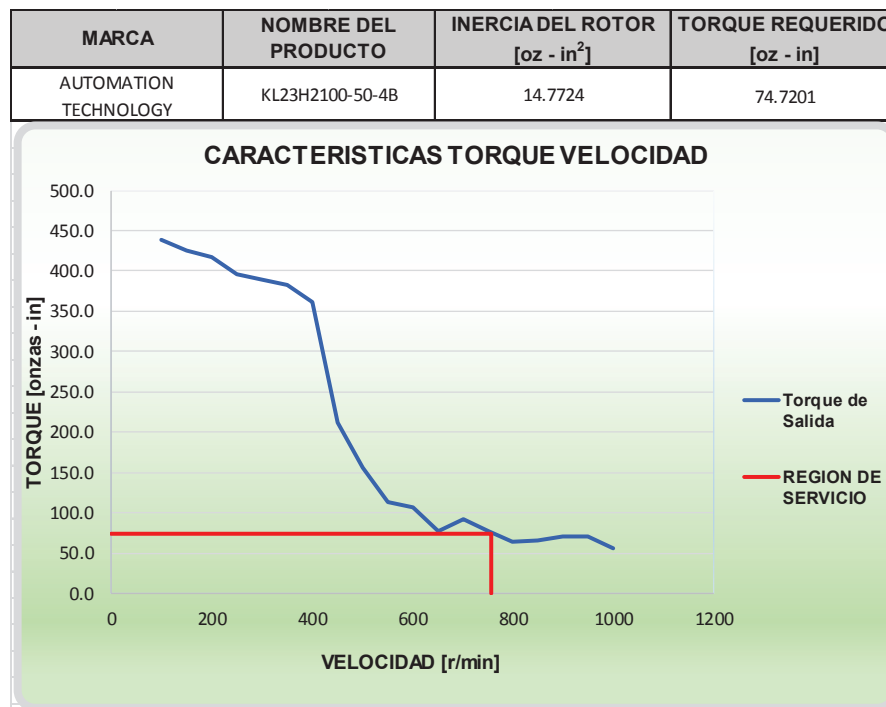


Figura 3.8 Curva característica de Torque versus Velocidad del motor para el eje Z

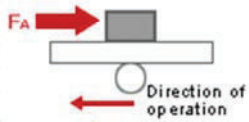

En la figura 3.8 se observa claramente que el torque mínimo para subir o bajar la antorcha por el eje Z ($T_M = 60.77$ oz in) es mucho menor que el torque característico del motor en función del incremento de las revoluciones por minuto con que gira el rotor.

3.4.2 TORQUE MÍNIMO Y SELECCIÓN DEL MOTOR PARA EL DESPLAZAMIENTO DE LA ANTORCHA (EJE Y)

Para el desplazamiento de la antorcha en sentido trasversal se seleccionó el sistema de transmisión piñón cremallera, con el motor de pasos también se ha considerado un sistema de reducción de 3:1 mediante poleas. Para el cálculo del torque mínimo requerido se tomó en cuenta el peso estructural de la antorcha más el peso del motor anteriormente seleccionado con todo su soporte. En la tabla 3.6 se especifican los requerimientos de movimiento de la antorcha sobre el pórtico.

En la tabla 3.6, se muestra las ecuaciones que fueron usadas para conseguir el valor del torque mínimo que debe suministrar el motor a ser seleccionado.

Tabla 3.6 Requerimientos de movimiento para la selección del motor (eje Y)

CARGA Y GUIA LINEAL					
Peso total de la carga y de la Tabla		W1	[Kg] / [lb]	40	88.16
Coefficiente de fricción de la guía		μ		0.05	
Resolución deseada		L0	[mm/pulso] / [in/pulso]	0.254	0.0100
Distancia de movimiento		Dtotal	[mm] / [in]	1220	48.0315
Tiempo de movimiento		Ttotal	[s]	0.8	
Tiempo de aceleración y desaceleración		Tacel	[s]	0.5	
ESPECIFICACIONES DEL PIÑÓN CREMALLERA					
Peso de la cremallera		W2	[Kg] / [lb]	0	0.00
Diámetro Pitch del Piñón		Dp	[mm] / [in]	40	1.575
Espesor del Piñón		Lp	[mm] / [in]	16	0.630
Material del Piñón				ACERO	
Densidad del material del Piñón		ρ	[Kg/m ³] / [oz/in ³]	7900.0	4.565
Eficiencia del Sistema		η	%	90	
FUERZA EXTERNA					
		FA	[Kg] / [lb]	0	0
TRANSMISION POR CORREAS Y POLEAS (DEJAR LOS CAMPOS EN BLANCO SI SE UTILIZA ACOPLAMIENTO DIRECTO)					
Polea primaria (engranaje) diámetro del círculo primitivo		Dp1	[mm] / [in]	32.34	1.273228346
Espesor de Polea primaria		Lp1	[mm] / [in]	14.3	0.563
Material de Polea primaria				ALUMINIO	
Densidad del material Polea secundaria		pp1	[Kg/m ³] / [oz/in ³]	3000.0	1.734
Polea secundaria (engranaje) diámetro del círculo primitivo		Dp2	[mm] / [in]	97.02	3.819685039
Espesor de Polea secundaria		Lp2	[mm] / [in]	14.3	0.563
Material de Polea secundaria				ALUMINIO	
Densidad del material Polea secundaria		pp2	[Kg/m ³] / [oz/in ³]	3000.0	1.734
COLOCACION DEL MECANISMO					
Angulo del mecanismo	$\alpha =$			0	
					
CONDICIONES DE OPERACION					
Velocidad especificada		V	[mm/s] / [in/s]	212	8.35
FACTOR DE SEGURIDAD					
Factor de Seguridad		S.F.		2	

El motor paso a paso correspondiente al modelo KL23H2100-50-4B de Automation Technology es una opción prudente de acuerdo a las características

de torque versus velocidad (ver ANEXO VI). En la figura 3.9 se ilustra la curva característica del motor seleccionado comparado con el requerimiento del sistema.

Tabla 3.7 Hoja de cálculo para el dimensionamiento del motor del eje Y

DIMENSIONAMIENTO					
Desplazamiento por rotación del eje	$d_{carga} = \pi \times D_p$	[mm] / [in]	125.66	4.947	
Resolucion requerida	$\theta_s = \frac{(360^\circ \times L_\theta)}{d_{carga}} \times \left(\frac{D_{p2}}{D_{p1}}\right)$	[grados]	2.18		
Velocidad maxima requerida	$V_{max} = \left(\frac{V}{d_{carga}}\right) \times 60 \times \left(\frac{D_{p2}}{D_{p1}}\right)$	[RPM]	303.67		
Inercia del Piñón	$J_{piñon} = \frac{\pi L_p \rho D_p^4}{32}$	[Kg m^2] / [oz in^2]	0.0000318	1.736	
Inercia de la Carga	$J_{W1} = W_1 \times \frac{D_p^2}{4}$	[Kg m^2] / [oz in^2]	0.0160	874.55	
Inercia de la Cremallera	$J_{W2} = W_2 \times \frac{D_p^2}{4}$	[Kg m^2] / [oz in^2]	0.0000	0.0000	
Inercia de la Polea Primaria	$J_{Dp1} = \frac{\pi L_{p1} \rho_{p1} D_{p1}^4}{32}$	[Kg m^2] / [oz in^2]	0.0000046	0.252	
Inercia de la Polea Secundaria	$J_{Dp2} = \frac{\pi L_{p2} \rho_{p2} D_{p2}^4}{32}$	[Kg m^2] / [oz in^2]	0.0003732	20.397	
Inercia de la carga y el piñón, reflejados al eje del motor	$J_L = J_{Dp1} + (J_{piñon} + J_{W1} + J_{W2} + J_{Dp2}) \times \left(\frac{D_{p1}}{D_{p2}}\right)^2$	[Kg m^2] / [oz in^2]	0.00183	99.88	
Torque de aceleración	$T_{acel} = 1.2 \times J_L \times \left(\frac{V_{max}}{t_{acel}}\right) \times \frac{2\pi}{60}$	[N-m] / [oz - in]	0.1395	19.7489	
Fuerza de gravedad	$F_{gravedad} = (W_1 + W_2) \times \text{sen}(\alpha) \times 9.81$	[N] / [oz]	0	0	
Fuerza de Fricción	$F_{fricción} = \mu \times (W_1 + W_2) \times \text{cos}(\alpha) \times 9.81$	[N] / [oz]	19.620	70.5280	
Fuerza Total	$F_{total} = F_{ext} + F_{fricción} + F_{gravedad}$	[N] / [oz]	19.6200	70.528	
Torque resistivo de la Carga	$T_L = \frac{(F_{total} \times D_p)}{2 \times \eta \times 0.01} \times \left(\frac{D_{p1}}{D_{p2}}\right)$	[N-m] / [oz - in]	0.145	20.57	
Torque Requerido	$T_{Requerido} = (T_{acel} + T_L) \times S.F.$	[N-m] / [oz - in]	0.570	80.6340	

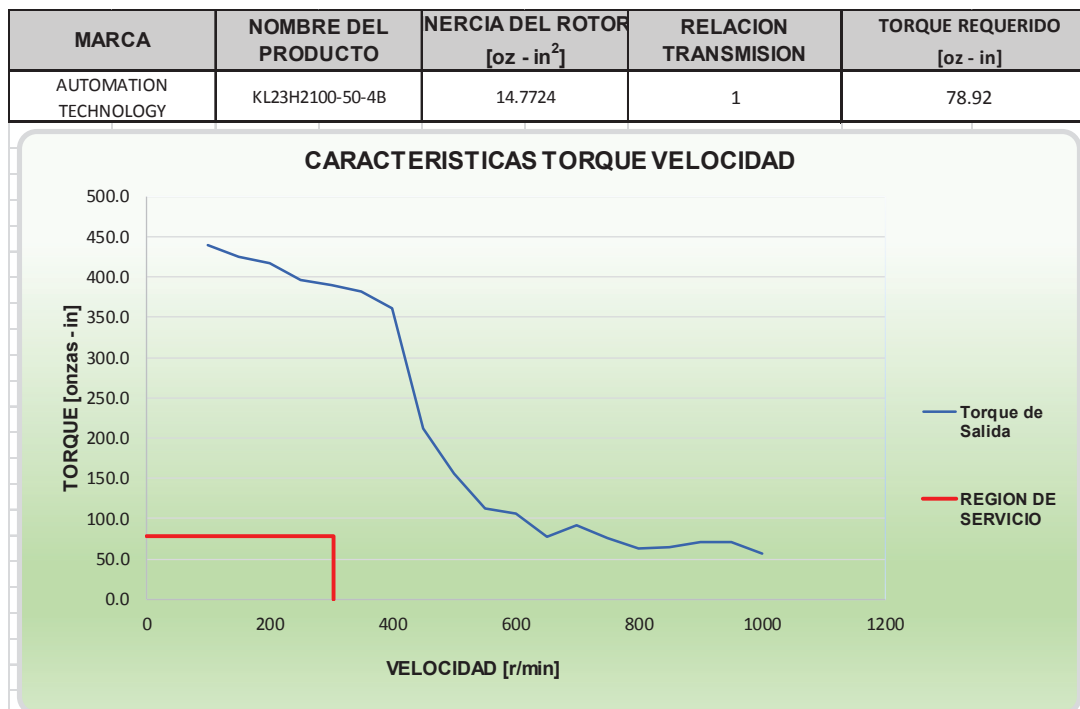


Figura 3.9 Curva característica de Torque versus Velocidad del motor para el eje Y

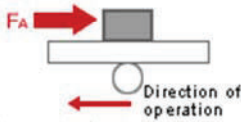

3.4.3 TORQUE MÍNIMO Y SELECCIÓN DE LOS MOTORES PARA EL DESPLAZAMIENTO DEL PÓRTICO (EJE X)

Para el desplazamiento del pórtico se consideró implementar dos motores paso a paso con el fin de evitar pérdida de pasos durante el funcionamiento, junto con los motores de pasos también se consideró colocar un sistema de reducción 3:1 mediante poleas. Para el cálculo del torque mínimo, en principio, es igual que el eje Y pues el sistema de transmisión es idéntico, la diferencia radica en el peso total de desplazamiento, se estableció un 60% del peso del pórtico, guías, sistemas de transmisión y antorcha para la selección de cada motor debido a la carga dinámica producto del desplazamiento de la antorcha.

En la tabla 3.8 se especificó los parámetros de movimiento para la selección de los motores paso a paso.

En la tabla 3.9 se muestra las ecuaciones que se utilizaron para conseguir el valor del torque mínimo que debe suministrar el motor a ser seleccionado.

Tabla 3.8 Requerimientos de movimiento para la selección del motor del eje X

CARGA Y GUIA LINEAL					
Peso total de la carga y de la Tabla		W1	[Kg] / [lb]	81	178.52
Coefficiente de fricción de la guía		μ		0.05	
Resolución deseada		L_0	[mm/pulso] / [in/pulso]	0.254	0.0100
Distancia de movimiento		D_{total}	[mm] / [in]	2540	100.0000
Tiempo de movimiento		T_{total}	[s]	0.8	
Tiempo de aceleración y desaceleración		T_{acel}	[s]	0.5	
ESPECIFICACIONES DEL PIÑÓN CREMALLERA					
Peso de la cremallera		W2	[Kg] / [lb]	0	0.00
Diámetro Pitch del Piñón		D_p	[mm] / [in]	40	1.575
Espesor del Piñón		L_p	[mm] / [in]	20	0.787
Material del Piñón				ACERO	▼
Densidad del material del Piñón		ρ	[Kg/m ³] / [oz/in ³]	7900.0	4.565
Eficiencia del Sistema		η	%	90	
FUERZA EXTERNA					
			FA	[Kg] / [lb]	0 0
TRANSMISION POR CORREAS Y POLEAS (DEJAR LOS CAMPOS EN BLANCO SI SE UTILIZA ACOPLAMIENTO DIRECTO)					
Polea primaria (engranaje) diámetro del círculo primitivo		D_{p1}	[mm] / [in]	32.34	1.273
Espesor de Polea primaria		L_{p1}	[mm] / [in]	14.3	0.563
Material de Polea primaria				ALUMINIO	▼
Densidad del material Polea secundaria		ρ_{p1}	[Kg/m ³] / [oz/in ³]	3000.0	1.734
Polea secundaria (engranaje) diámetro del círculo primitivo		D_{p2}	[mm] / [in]	97.02	3.820
Espesor de Polea secundaria		L_{p2}	[mm] / [in]	14.3	0.563
Material de Polea secundaria				ALUMINIO	▼
Densidad del material Polea secundaria		ρ_{p2}	[Kg/m ³] / [oz/in ³]	3000.0	1.734
COLOCACION DEL MECANISMO					
Angulo del mecanismo	$\alpha =$			0	
					
CONDICIONES DE OPERACION					
Velocidad especificada		V	[mm/s] / [in/s]	212	8.35
FACTOR DE SEGURIDAD					
factor de Seguridad		S.F.		2	▼

Los motores paso a paso que fueron seleccionados corresponden al modelo KL23H2100-50-4B de Automation Technology, similar al elegido para el eje Y, es

una opción prudente de acuerdo a las características de torque versus velocidad. En la figura 3.10 se ilustra la curva característica del motor seleccionado comparado con el requerimiento del sistema.

Tabla 3.9 Hoja de cálculo para el dimensionamiento del motor (eje X)

DIMENSIONAMIENTO						
Desplazamiento por rotación del eje	$d_{carga} = \pi \times D_p$	[mm] / [in]	125.66	4.947		
Resolucion requerida	$\theta_s = \frac{(360^\circ \times L_\theta)}{d_{carga}} \times \left(\frac{D_{p2}}{D_{p1}}\right)$	[grados]	2.18			
Velocidad maxima requerida	$V_{max} = \left(\frac{V}{d_{carga}}\right) \times 60 \times \left(\frac{D_{p2}}{D_{p1}}\right)$	[RPM]	303.67			
Inercia del Piñón	$J_{piñon} = \frac{\pi L_p \rho D_p^4}{32}$	[Kg m^2] / [oz in^2]	0.0000397	2.171		
Inercia de la Carga	$J_{W1} = W_1 \times \frac{D_p^2}{4}$	[Kg m^2] / [oz in^2]	0.0324	1770.96		
Inercia de la Cremallera	$J_{W2} = W_2 \times \frac{D_p^2}{4}$	[Kg m^2] / [oz in^2]	0.0000	0.0000		
Inercia de la Polea Primaria	$J_{Dp1} = \frac{\pi L_{p1} \rho_{p1} D_{p1}^4}{32}$	[Kg m^2] / [oz in^2]	0.0000046	0.252		
Inercia de la Polea Secundaria	$J_{Dp2} = \frac{\pi L_{p2} \rho_{p2} D_{p2}^4}{32}$	[Kg m^2] / [oz in^2]	0.0003732	20.397		
Inercia de la carga y el piñón, reflejados al eje del motor	$J_L = J_{Dp1} + (J_{piñon} + J_{W1} + J_{W2} + J_{Dp2}) \times \left(\frac{D_{p1}}{D_{p2}}\right)^2$	[Kg m^2] / [oz in^2]	0.00365048	199.53		
Torque de aceleración	$T_{acel} = 1.2 \times J_L \times \left(\frac{V_{max}}{t_{acel}}\right) \times \frac{2\pi}{60}$	[N-m] / [oz - in]	0.278604793	39.4517		
Fuerza de gravedad	$F_{gravedad} = (W_1 + W_2) \times \text{sen}(\alpha) \times 9.81$	[N] / [oz]	0	0		
Fuerza de Fricción	$F_{fricción} = \mu \times (W_1 + W_2) \times \text{cos}(\alpha) \times 9.81$	[N] / [oz]	39.731	142.8192		
Fuerza Total	$F_{total} = F_{ext} + F_{fricción} + F_{gravedad}$	[N] / [oz]	39.7305	142.819		
Torque resistivo de la Carga	$T_L = \frac{(F_{total} \times D_p)}{2 \times \eta \times 0.01} \times \left(\frac{D_{p1}}{D_{p2}}\right)$	[N-m] / [oz - in]	0.294	41.65		
Torque Requerido	$T_{Requerido} = (T_{acel} + T_L) \times S.F.$	[N-m] / [oz - in]	1.146	162.2041		

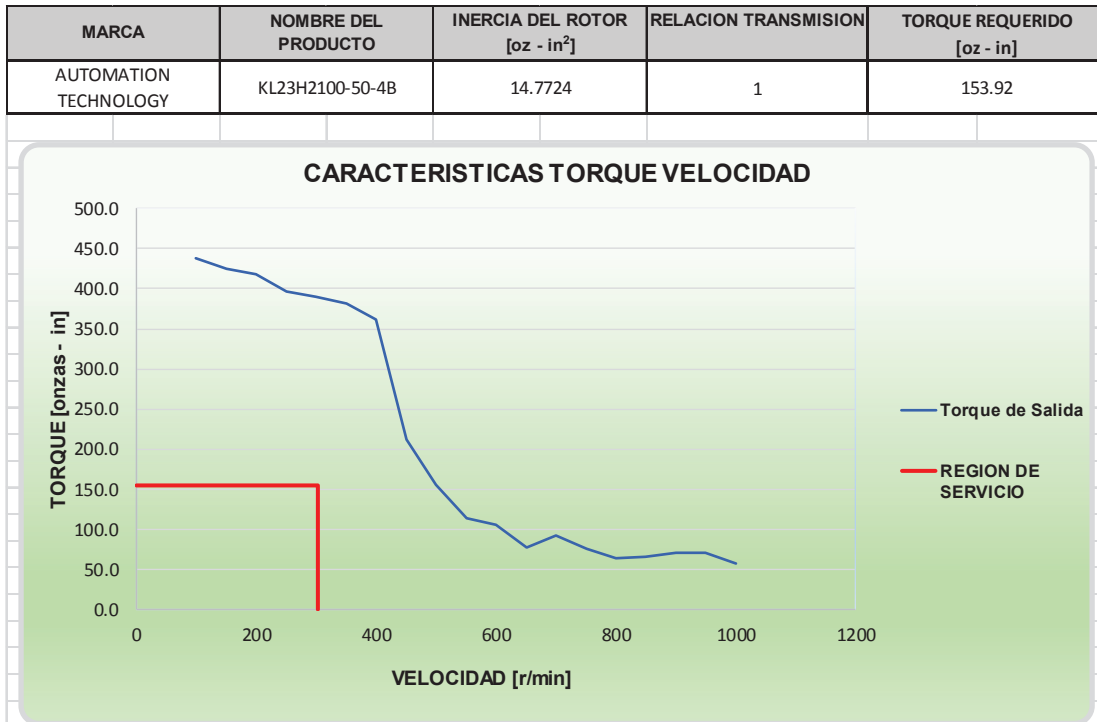


Figura 3.10. Curva característica de Torque versus Velocidad del motor para el eje X

3.4.4 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MOTOR PASO A PASO SELECCIONADO PARA LOS EJES X, Y, Z

En la sección anterior se seleccionó el motor KL23H2100-50-4B para accionar los ejes X, Y y Z, en la figura 3.11 se puede ver una imagen del motor seleccionado para este proyecto.



Figura 3.11 Motor paso a paso KL23H2100-50-4B.

En la tabla 3.10 se detalla las especificaciones técnicas para éste tipo de motor.

Tabla 3.10 Especificaciones del Motor KL23H2100-50-4B

ESPECIFICACIONES DEL MOTOR		
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Tipo de Motor	2 - Phase
2	Tamaño constructivo	60 mm
3	Longitud del motor	139 mm
4	Torque de sujeción	570 oz - in
5	Eje / Gear Tipo	Eje Redondo (No reductor)
6	Eje	Simple
7	Tipo	Alta Resolución
8	Angulo paso básico	1.8°
9	Angulo Paso de Salida	1.8°
10	Tipo de Conexión	Bipolar
11	Corriente por Fase (A/Fase)	5 A
12	Cables	4
13	Tensión (VDC)	3 V
14	Resistencia (Ω /fase)	0.6
15	Inductancia (mH/fase)	2.5
16	Inercia del Rotor	14.77 oz-in ²

3.5 COMPONENTES DEL CONTROLADOR CNC

El controlador consta de varios componentes necesarios en la conversión de los comandos del software en señales eléctricas hacia el driver del motor. En esta sección se analizó y seleccionó los componentes y dispositivos usados en conjunto con el controlador.

La figura 3.12 muestra la configuración típica de los componentes para un controlador CNC. El sistema está compuesto por un computador con un software de control numérico, caja controladora y los drives de los motores. La caja controladora incluye una tarjeta Breakout, fuente de alimentación y los drives de los motores. La tarjeta Breakout provee la protección de los circuitos y distribución de la señal dentro de la Caja de Control.

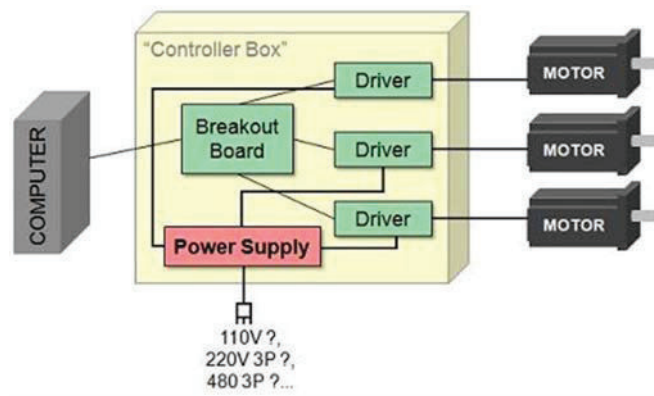


Figura 3.12 Componentes del Controlador CNC
(<http://www.cncroutersource.com/cnc-controller-components.html>)

3.5.1 SELECCIÓN DE LA TARJETA BREAKOUT

Una de las principales funciones de la tarjeta breakout o controlador es recibir la información del computador y traducirla en señales para el accionamiento de los motores.

Las características claves que se deben tener en cuenta para la selección del controlador se detallan a continuación:

- Tipo de conector: El tipo de conector usualmente usado en la industria del CNC es el puerto paralelo tipo hembra DB-25 y terminales de tornillo.
- Numero de señales I/O: En la mayoría de los casos la interfaz de cable DB-25 dispone de un máximo de 24 señales I/O.
- Distribución de energía: Algunos controladores permiten distribuir la energía de la fuente de poder a los drivers de los motores, en cambio, otros simplemente distribuyen las señales y se requiere de un montaje directo de la fuente de poder a los drivers, bypassando el controlador.
- Protección del Circuito: La mayoría de controladores no ofrecen una protección del circuito. Para aplicaciones CNC, es muy recomendable utilizar dispositivos de arranque con algún tipo de protección de circuitos.

Con base en las características mencionadas anteriormente se procedió a seleccionar una tarjeta ARDUINO MEGA 2560, esta es una tarjeta recomendable para impresoras 3D y proyectos de robótica. En la figura 3.13, se muestra una imagen del ARDUINO MEGA 2560, basado en el microcontrolador ATmega2560.

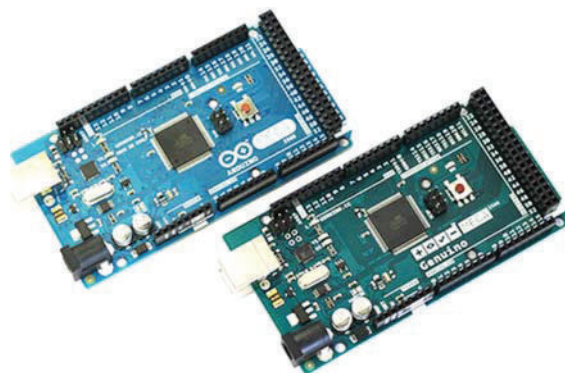


Figura 3.13 Tarjeta ARDUINO MEGA 2560

En la tabla 3.11, se muestra las principales características de la tarjeta ARDUINO 2560.

Tabla 3.11 Especificaciones técnicas del ARDUINO 2560⁵¹

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS		
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Micro controlador	ATmega2560
2	Voltaje de Operación	5 V
3	Voltaje de Entrada (recomendado)	7 – 12 V
4	Voltaje de Entrada (limite)	6 – 20 V
5	Pines Digitales I/O	54 (15 de los cuales proveen salidas PWM)
6	Pines de entrada analógica	16
7	Corriente DC por Pin I/O	20 mA
8	Corriente DC por Pin 3.3V	50 mA
9	Memoria Flash	256 KB de los cuales 8KB para arranque
10	SRAM	8 KB
11	EEPROM	4 KB
12	Velocidad del Reloj	16 MHz
13	Longitud	101.52 mm
14	Ancho	53.3 mm
15	Peso	37g

3.5.2 SELECCIÓN DE DRIVERS DE LOS MOTORES PASO A PASO

Los drivers son dispositivos que reciben y amplifican la señal de frecuencia que provienen del módulo de interface y energizan las bobinas del motor paso a paso lo que hace que el motor gire.

⁵¹ ARDUINO, Recuperado de <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560> (Noviembre 2015)

Un driver de un motor paso a paso requiere de al menos las siguientes conexiones para operar:

- Una dirección de paso, conocido como la señal de dirección
- Número de pasos a seguir, conocido como la señal de paso
- Una conexión común a tierra entre el driver y el módulo de interface
- Conexión de energía de la fuente de poder
- Puesta a tierra de la fuente de poder

Los drivers interpretan las señales de paso y dirección dadas por el computador y energizan las bobinas necesarias para girar el motor en la dirección apropiada con el número correcto de pasos.

Con base en los motores seleccionados para los ejes X, Y y Z y considerando las conexiones mínimas que deben cumplir los drivers, se seleccionó el modelo KL-5056D de Keling Technology que es adecuado para el control de motores paso a paso de la serie KL23H2100-50-4B del ANEXO VI, es un versátil controlador digital paso a paso basado en un DSP con un algoritmo de control avanzado. La tecnología de testeo y configuración de parámetros por sí solo ofrece una óptima respuesta con diferentes motores y pueden funcionar con bajo ruido, poco calor y movimiento suave. En la figura 3.14, se muestra la imagen del modelo de driver seleccionado.

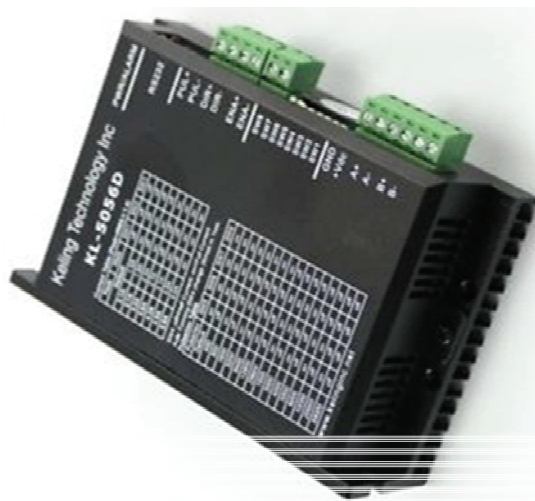


Figura 3.14 Driver Keling Technology KL-5056D

A continuación se describen sus características principales, la información detallada se encuentra en el ANEXO VII.

- Anti-resonancia, provee un torque óptimo y mayor estabilidad en el rango medio
- Tecnología de autocomprobación y comprobación del motor, ofrece óptimas respuestas con diferentes motores
- Los multipasos permite una baja resolución de paso de entrada para producir una salida de micropasos mayor para un rendimiento del sistema suave
- Dispone de una resolución de micropasos programable, desde pasos completos a 102400 pasos por revolución
- Suministro de voltaje hasta +50VDC
- Corriente de salida programable de 0.5 A a 5.6 A
- Frecuencia de pulsos de entrada hasta 200 KHz
- Reducción automática de pérdidas de corriente
- Adecuado para motores de 2 fases y 4 fases
- Protección de sobre voltaje, sobre corriente y error de fase

En la tabla 3.12, se especifica los parámetros eléctricos del driver KL-5056D.

Tabla 3.12 Especificaciones Eléctricas de KL-5056D⁵²

PARAMETROS	KL – 5056D			
	Mínimo	Normal	Máximo	Unidad
Corriente de salida	0.5	-	5.6 (4.0 RMS)	A
Tensión de Alimentación	+20	+36	+50	VDC
Corriente de señal lógica	7	10	16	mA
Frecuencia de entrada de pulsos	0	-	200	kHz
Resistencia de Aislamiento	500			MΩ

⁵² Automation Technology, Recuperado de <http://www.automationtechnologiesinc.com/documentation> (Octubre 2015).

3.5.3 SELECCIÓN DE LA FUENTE DE PODER

Para lograr un buen control de operación, es importante seleccionar una fuente apropiada de voltaje y corriente de salida. Generalmente, la fuente de voltaje determina el desarrollo de altas velocidades del motor, mientras que la corriente determina el torque de salida (particularmente a bajas velocidades). El suministro de un mayor voltaje permite que el motor alcance altas velocidades pero esto genera más ruido y más calor. Si la velocidad de movimiento requerido es baja, es mejor usar un suministro de bajo voltaje para disminuir el ruido y la generación de calor y mejorar la fiabilidad⁵³.

Para la selección de la fuente de alimentación se considera dos parámetros fundamentales:

- a) Voltaje de alimentación
- b) Corriente de salida

En la tabla 3.13, se resume los parámetros de amperaje y voltaje requeridos para los motores paso a paso de cada eje.

Tabla 3.13 Parámetros eléctricos de los motores para los ejes X, Y y Z

	Motor del eje X	Motor del eje Y	Motor del eje Z
Torque se sujeción	570 [on in]	570 [on in]	570 [on in]
Voltaje de Alimentación	3.0 V	3.0 V	3.0 V
Tipo	NEMA 23	NEMA 23	NEMA 23
Cantidad	2	1	1
Corriente por Fase	5.0 A	5.0 A	5.0 A

La corriente de suministro por parte de la fuente de alimentación se calcula con la ecuación [3.10]

$$I_s = \frac{2}{3} (\sum I_n) [A] \quad [3.10]$$

$$I_s = \frac{2}{3} (2 \times 5 + 5 + 5) [A]$$

$$I_s = 13.3 [A]$$

⁵³ KL-5056D. Fully Digital Stepping Driver. Recuperado de <http://www.automationtechnologiesinc.com/wp-content/uploads/downloads/2014/05/KL-5056D.pdf> (Octubre 2015).

El voltaje requerido para el funcionamiento correcto de los driver es de 20 a 50VDC, por lo que se seleccionó la fuente de poder 600W Single Output Power Supply modelo SE-600-36 de Mean Well por cumplir con los requerimientos de corriente y voltaje de suministro (ver ANEXO VIII).

3.6 DISEÑO ELECTRÓNICO

El primer paso en el diseño de cualquier plataforma electro mecánica es el diseño de la arquitectura. El diseño electrónico del Routers CNC, toma en cuenta los circuitos de acondicionamiento de los diferentes sensores, así como la potencia de los motores de pasos y sus circuitos de control.

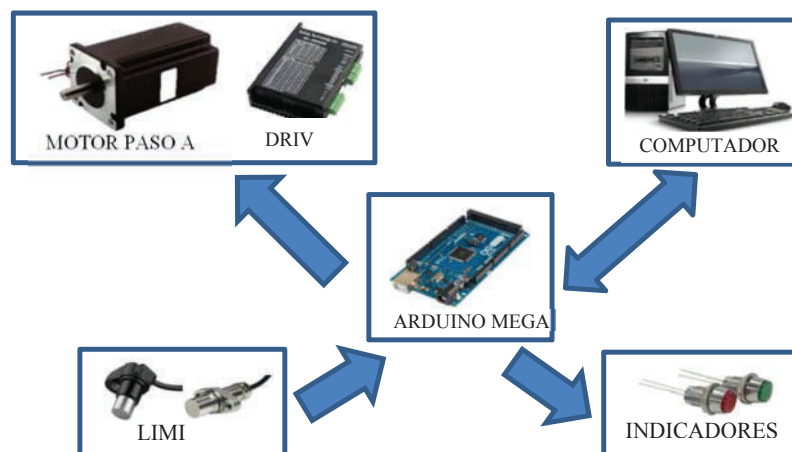


Figura 3.15 Arquitectura del Sistema de Control de la máquina de plasma CNC

En la figura 3.15, se indica la arquitectura del sistema utilizado mostrando claramente el flujo de información entre sensores, actuadores y el computador.

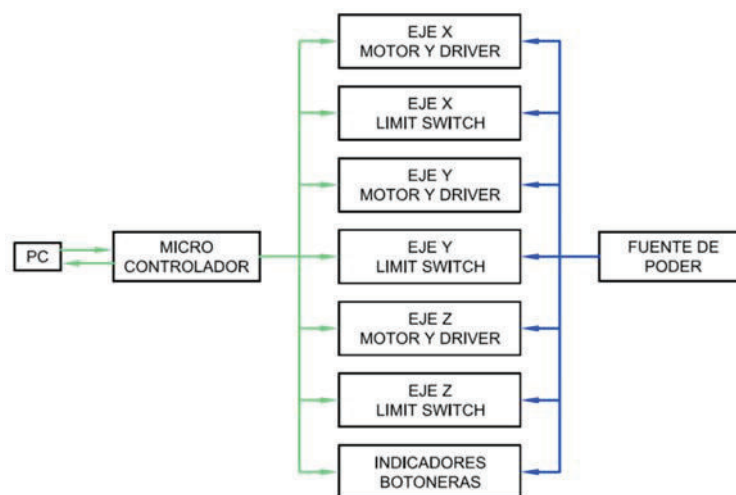
En la tabla 3.14, se resume todos los componentes utilizados para el sistema de control de la máquina de plasma.

Se requiere cuatro motores de pasos, dos para el eje Y y dos para el eje X y Z. Cada motor debe ser controlado por lo que se ha considerado cuatro drivers/controladores por separado. Por razones de seguridad y operación, cada eje necesita de limit switch, así como pulsadores de encendido y parada de emergencia. También se ha considerado luces indicadoras que advierten el momento en que la máquina está encendida y en operación. Finalmente, todo debe ser energizado por una fuente de poder.

Tabla 3.14 Lista de componentes del Sistema de Control

COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONTROL		
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Motor paso a paso KL23H2100-50-4B, eje X	1
2	Motor paso a paso KL23H2100-50-4B, eje Y	2
3	Motor paso a paso KL23H2100-50-4B, eje Z	1
4	Driver Keling Technology KL-5056D, eje X	1
5	Driver Keling Technology KL-5056D, eje Y	2
6	Driver Keling Technology KL-5056D, eje Z	1
7	Tarjeta ARDUINO MEGA 2560	1
8	Fuente de poder 600W Single Output Power Supply SE-600-48	1
9	Finales de Carrera (Proximity sensor) Modelo: PMDOX-01, para los ejes X, Y y Z	6
10	Botoneras PMDX – ESTOP - STD	3
11	Luz indicadora EATON 216774 M22-L-Y (amarillo)	1
12	Luz indicadora EATON 216773 M22-L-G (verde)	1
13	Cable OKOSEAL-N Tipo P-OS TYPE TC CABLE/600V 1 1PR #16 AWG	15m

Todos los componentes se deben conectar al computador, esto requiere de al menos seis puertos. La mayoría de laptops y computadores de escritorio tienen solo seis puertos de comunicación, lo ideal sería utilizar tan sólo un puerto del computador. Para lograr esto se adicionó otro elemento a la arquitectura de control: un microcontrolador Arduino Mega 2560. Todos los dispositivos electrónicos pueden conectarse al microcontrolador y este a su vez hacer la interface con el computador.

**Figura 3.16** Esquema de la Arquitectura de Control

La arquitectura final de la cortadora CNC, mostrado en la figura 3.16, integra todos los componentes funcionales para su operación.

3.6.1 ASIGNACIÓN DE PINES DE LA TARJETA ARDUINO MEGA 2560

La tabla 3.15 muestra la asignación de los pines de la Tarjeta Arduino Mega 2560 considerando las necesidades presentadas para este proyecto así como una breve descripción del funcionamiento del sistema.

Tabla 3.15 Tabla de asignación y descripción de pines del micro controlador

PIN	NOMBRE DEL PIN	ENTRADA/ SALIDA	DESCRIPCIÓN
1	PG5 (OC0B)	Entrada	Reset o abortar la operación
2	PE0 (RXC0/PCINT8)	Entrada	Hold
3	PE1 (TXDO)	Entrada	Encendido
25	PB6 (OC1B/PCINT6)	Salida	Control de los motores paso a paso que desplazan el pórtico Eje Y
27	PH7 (T14)		
29	PG4 (TOSC1)	Salida	Control del motor paso a paso que desplaza la antorcha sobre el pórtico Eje X
31	VCC		
33	XTAL2	Salida	Control del motor paso a paso que ajusta la altura de la antorcha Eje Z
35	PL0 (ICP4)		
39	PL4 (OC5B)	Entrada	Final de carrera para el eje X
41	PL6	Entrada	Final de carrera para el eje Y
43	PL7	Entrada	Final de carrera para el eje Z

3.6.2 DESCRIPCIÓN DE PINES DEL DRIVER KL-5056D

El Driver KL-5056D tiene dos conectores, los conectores P1 es para las señales de control y los conectores P2 para las conexiones de la fuente de alimentación y motores. En la tabla 3.16 se describe con mayor detalle la descripción de cada conector.

Tabla 3.16 Descripción de los Pines del Driver KL-5056D

CONFIGURACIÓN DE LOS CONECTORES P1	
Función de Pines	Descripción
PUL+	<p><u>Señal de Pulso</u>: En el modo de un solo pulso (pulso/dirección), ésta entrada representa el pulso de la señal, de 4-5V para PULSO ALTO y de 0-0.5V para PULSO BAJO. En el modo doble pulso (pulso/pulso), (CW) esta entrada representa pulsos en sentido horario, se activa tanto a nivel alto y bajo. Para una respuesta confiable, el ancho de pulso debe ser superior a 1.5μs. Conectar resistencias en serie para limitar la corriente límite cuando se use 12V o 24V.</p>
PUL-	
DIR+	<p><u>Señal DIR</u>: En modo de pulso único, ésta señal tiene niveles de tensión bajo/alto, representando dos direcciones de giro de motor; en modo de doble pulso, estas señales son de pulso anti-horario (CCW), se activa tanto a nivel alto y bajo. Para la respuesta de movimiento confiable y de DIR debe estar por encima de la señal de pulso 5μs por lo menos 4 – 5V cuando DIR está en alto y 0 – 0.5V cuando DIR es bajo</p>
DIR-	
ENA+	<p>Activar la señal: Esta señal es usada para habilitar/deshabilitar el driver. Nivel alto (señales NPN, PNP), para habilitar el driver y bajo nivel para deshabilitar el driver.</p>
ENA-	
CONFIGURACION DE LOS CONECTORES P2	
Función de Pines	Descripción
+Vdc	Fuente de alimentación, 20 – 50 VDC, incluyendo fluctuación de voltaje y voltaje EMF.
GND	Puesta a tierra.
A+, A-	Fase motor A
B+, B-	Fase motor B

3.6.3 CIRCUITO DE COMUNICACIÓN DEL CONTROLADOR, DRIVER, MOTORES DE PASOS Y FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Una conexión completa del sistema debe incluir los motores, driver, fuente de alimentación y un controlador (generador de pulsos). Una conexión típica se muestra en la figura 3.17.

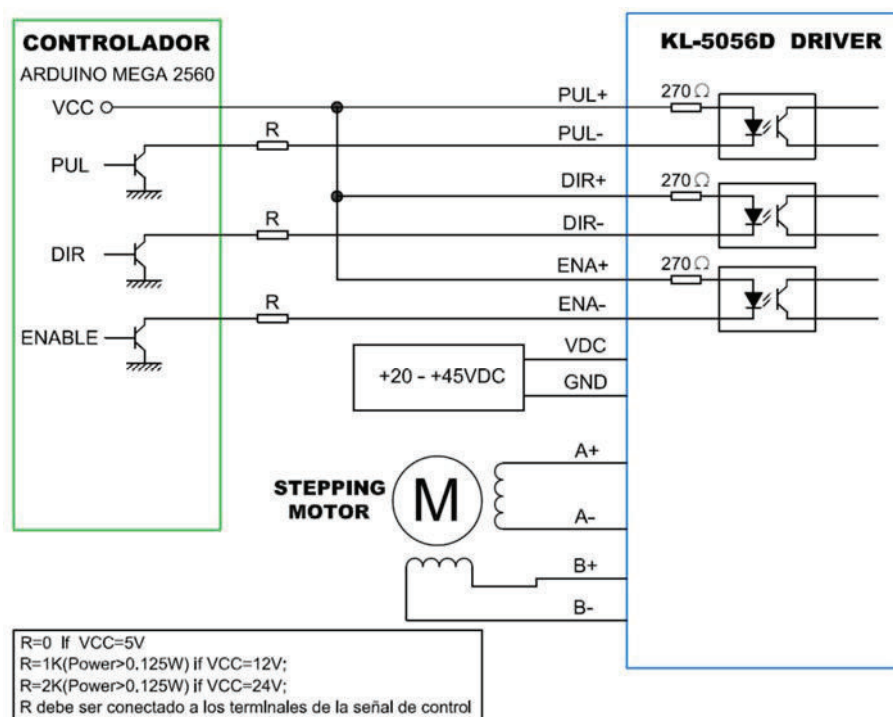


Figura 3.17 Conexión típica del sistema de control de los motores de pasos

Los cuatro cables del motor de pasos son menos flexibles, pero son más fáciles de cablear. La velocidad y el torque dependen de la inductancia del bobinado.

3.6.4 CIRCUITO DE COMUNICACIÓN DEL PLASMA POWERCUT 1300 Y EL CONTROLADOR DEL PLASMA

Para la integración de la cortadora de Plasma Powercut 1300 al sistema de control CNC, se utiliza el conector de interface CNC que dispone el Powercut 1300 como se observa en la figura 3.18. En La figura 3.19 se muestra la conexión de interface CNC para corte mecánico.

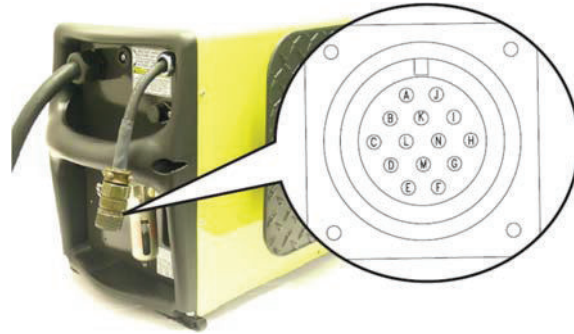


Figura 3.18 Conexión de la interfaz CNC

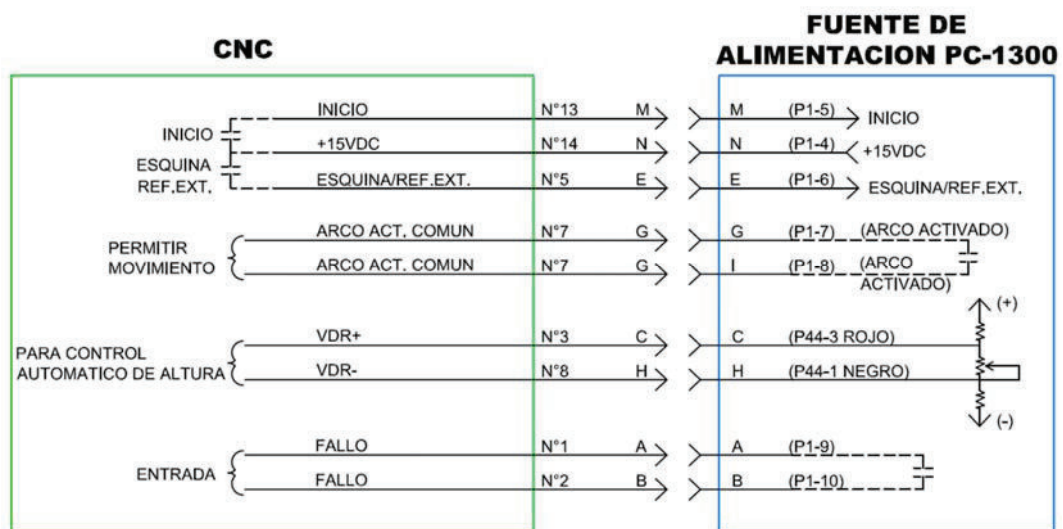


Figura 3.19 Diagrama de interfaz de corte mecánico – conexión de la interfaz CNC

CAPÍTULO 4

COSTOS

En el siguiente análisis de costos se realizó una descripción general de todos los gastos efectuados que permitió conocer la inversión requerida en el diseño y construcción del plasma CNC.

El análisis de costos tiene como objetivo determinar el monto de todos los recursos económicos necesarios para la realización de un proyecto de estas características. Este análisis se lo efectuó tomando en cuenta tanto los costos directos como los indirectos, en lo relacionado con materiales, mano de obra y otros. Una vez establecidos los costos totales que no es más que la suma de los costos directos más los indirectos se agregó un porcentaje de utilidad conocido como ganancia del proyecto que permitió obtener el precio de mercado.

La determinación de costos es una parte importante para lograr el éxito en cualquier negocio, con esto podemos conocer a tiempo si el precio al que vendemos lo que producimos nos permite obtener los beneficios esperados luego de cubrir todos los costos de funcionamiento del proyecto, adicionalmente conocer si somos competitivos con relación a los costos de equipos similares sean estos nacionales o extranjeras.

4.1 COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA

Para determinar los costos totales a los que asciende la construcción de la máquina es necesario detallar tanto los costos directos como los indirectos.

4.1.1 COSTOS DIRECTOS

Los costos directos son aquellos que intervienen de forma directa en la construcción de la máquina. Estos costos están constituidos por los materiales directos y mano de obra directa, que a su vez son costos de fabricación. En las siguientes tablas se muestra un detalle de los costos por materiales, mano de obra, componentes mecánicos y eléctricos de la máquina.

4.1.1.1 Costos de materiales utilizados

En la tabla 4.1 se detallan todos los materiales necesarios para la construcción del plasma CNC, los mismos que fueron obtenidos de algunas cotizaciones y proformas de proveedores locales, también se realizó un detalle del costo de la mano de obra involucrada en la construcción de cada componente. Las dimensiones de cada material fueron obtenidos de los planos que se presentan en el anexo V.

Tabla 4.1. Costo de materiales e insumos

Cantidad	Material	Dimensiones	Peso/unidad	unidad	Costo Material		Costo Mano de obra	
					Unitario	Total	Unitario	Total
1	Placa base riel Eje Z	15x205x55	1,35	kg	2,84	2,84	30	30
1	Guía tornillo	15x45x45	0,41	kg	0,85	0,85	10	10
6	Base estructura	15x76x76	0,62	kg	1,30	7,82	10	60
1	Eje motriz Eje Y	ø19x150	0,27	Kg	0,57	0,57	35	35
1	Piñon cremallera Eje Y	ø50x30	0,46	Kg	0,96	0,96	60	60
1	Base móvil motor Eje Y	6x190x150	1,89	Kg	3,97	3,97	25	25
1	Base fija motor Eje Y	15x215x125	2,97	Kg	6,24	6,24	25	25
1	Soporte motor Eje Z	15x125x85	1,22	Kg	2,55	2,55	20	20
1	Porta tuerca	40x50x50	0,81	Kg	1,70	1,70	35	35
1	Tuerca ACME	ø32x30	0,14	Kg	0,81	0,81	45	45
1	Tornillo ACME	ø16x220	0,81	Kg	1,70	1,70	60	60
3	Perno pivote	ø22x75	0,27	Kg	0,57	1,70	20	60
3	Buje espaciador	ø25x20	0,02	Kg	0,03	0,10	8	24
7	Buje antigiro	ø25x20	0,01	Kg	0,03	0,19	8	56
2	Sujetador resorte	ø25x50	0,12	Kg	0,26	0,51	15	30
1	Piñon cremallera Eje X	ø50x30	0,46	Kg	0,96	0,96	60	60
2	Placa móvil motor Eje X	6x230x130	1,62	Kg	3,40	6,80	30	60
1	Eje motriz Eje X	ø19x150	0,30	Kg	0,62	0,62	35	35
2	Porta Rodamientos	ø70x60	2,03	Kg	4,25	8,51	55	110
2	Tapa lateral pórtico	12x60x125	0,68	Kg	1,42	2,84	20	40
1	Pórtico	UPN140			50,00	50,00	70	70
1	Placa lateral derecha	15x255x550	16,47	Kg	34,59	34,59	120	120
4	Placa lateral cremallera	12x1500x85	11,88	Kg	24,95	99,79	70	280
1	Placa porta antorcha	12x275x115	2,16	Kg	4,54	4,54	25	25
2	Sujetador antorcha	15x65x65	0,41	Kg	0,85	1,70	20	40
1	Placa soporte Eje Z	15x125x300	5,40	Kg	11,34	11,34	35	35
1	Placa lateral izquierda	15x255x550	16,47	Kg	34,59	34,59	120	120
3	Tubo estructural de 75x75x3	75x75x3			38,00	114,00		560
3	Tubo estructural de 50x50x3	50x50x3			34,00	102,00		
2	Perfil angular 50x50x3	50x50x3			22,00	44,00		
1	Placa 2mm	122022440x2			50,00	50,00		
SUBTOTAL						598,78		2.130,00

4.1.1.2 Costo de componentes mecánicos

En la tabla que se muestra a continuación se detalla cada uno de los componentes mecánicos utilizados que en algunos casos requieren ser adquiridos en el extranjero.

Tabla 4.2. Costo de componentes mecánicos

Cantidad	Material	Unitario	Total
1	Motor Eje Y - KL23H2100 50-4B	64,00	64,00
1	Guia Lineal Eje Z	87,00	87,00
1	Carro deslizante EJE Z	98,00	98,00
1	Resorte superior	20,00	20,00
2	Rodamiento de bolas 6003	12,00	24,00
2	Rodamiento de bolas 6202	15,00	30,00
1	Union flexible	35,00	35,00
1	Motor Eje Z - KL23H2100 50-4B	64,00	64,00
1	Resorte de tensión	20,00	20,00
3	Banda dentada XL	24,15	72,45
3	Polea dentada conductora	65,00	195,00
3	Polea dentada conducida	75,00	225,00
2	Motor Eje X - KL23H2100 50-4B	64,00	128,00
2	Carro deslizante EJE Y	110,00	220,00
1	Cremallera Eje Y	168,00	168,00
4	Carro deslizante Eje X	110,00	440,00
2	Guía Lineal Eje X	950,00	1.900,00
4	Cremallera Eje X	168,00	672,00
6	Pie de apoyo articulado	30,30	181,80
2	Guia Lineal Eje Y	400,00	800,00
SUBTOTAL			5.444,25

4.1.1.3 Costo de componentes electrónicos

En la tabla 4.3 se detallan los componentes electrónicos necesarios para el montaje y funcionamiento de la máquina.

Tabla 4.3. Costo de componentes electrónicos

Cantidad	Material	Unitario	Total
1	Driver Keling Technology KL-5056D, eje X	80,00	80,00
2	Driver Keling Technology KL-5056D, eje Y	80,00	160,00
1	Driver Keling Technology KL-5056D, eje Z	80,00	80,00
1	Tarjeta ARDUINO MEGA 2560	30,00	30,00
1	Fuente de poder 600W Single Output Power Supply SE-600-48	92,00	92,00
6	Finales de Carrera (Proximity sensor) Modelo: PMDOX-01, para los ejes X, Y y Z.	21,00	126,00
3	Botoneras PMDX – ESTOP - STD	19,00	57,00
1	Luz indicadora EATON 216774 M22-L-Y (amarillo)	8,00	8,00
1	Luz indicadora EATON 216773 M22-L-G (verde)	8,00	8,00
15	Cable OKOSEAL-N Tipo P-OS TYPE TC CABLE/600V 1 1PR #16 AWG (long. Metros)	2,00	30,00
6	Porta cables PRO CABLE TRACK, ejes X, Y (long. Metros)	120,00	720,00
1	Tablero NEMA 1, HOFFMAN MODELO: A24N20CLP	300,00	300,00
SUBTOTAL			1.691,00

4.1.1.4 Costos directos totales

En la tabla 4.4 se muestra el total de costos directos conformado por los materiales, mano de obra, componentes mecánicos y electrónicos.

Tabla 4.4. Total costos directos

COSTOS DIRECTOS	VALOR
MANO DE OBRA	2.130,00
MATERIALES	598,78
COMPONENTES MECÁNICOS	5444,25
COMPONENTES ELECTRÓNICOS	1.691,00
SUBTOTAL	9.864,03

4.1.2 COSTOS INDIRECTOS

Son aquellos que no intervienen de forma directa en la construcción de la máquina, estos costos se derivan de los materiales indirectos, mano de obra indirecta y otros costos, producto del pago de personal administrativo, servicios básicos, seguros, entre otros. Para el presente proyecto se considerara únicamente los costos de ingeniería y un rubro por gastos menores.

4.1.2.1 Costos de ingeniería

Corresponde al costo por el tiempo que se ha dedicado para el diseño, documentación y selección de los diferentes elementos que conforman la máquina. Adicionalmente se ha incluido una proyección que corresponde al tiempo de realización de pruebas, ajustes, dirección técnica y supervisión. Para este proyecto se ha utilizado un total de 289 horas de ingeniería, las mismas que se encuentra detalladas en la siguiente tabla.

Tabla 4.5. Costos de ingeniería

DISEÑO Y DIRECCIÓN TÉCNICA	Tiempo empleado y costo total		
	Horas	Costo	
		Por hora	Total
Diseño Mecánico	80,0	11,20	896,00
Diseño Electrónico	130,0	11,20	1.456,00
Pruebas y Ajustes	35,0	11,20	392,00
Documentación	24,0	11,20	268,80
Dirección técnica	20,0	16,53	330,60
SUBTOTAL	289,0		3.343,40

4.1.2.2 Otros gastos

Se relacionan principalmente con gastos menores por pagos efectuados de alquiler de un local para el montaje de la máquina así como también de herramientas, servicios básicos, transporte, alimentación, entre otros. Para este caso se estiman costos por \$ 210.

4.1.2.3 Costos indirectos totales

En la tabla 4.6 se muestra el total de costos indirectos.

Tabla 4.6. Total costos indirectos

COSTOS INDIRECTOS	VALOR
DISEÑO Y DIRECCION TÉCNICA	3.343,40
OTROS	210,00
SUBTOTAL	3.553,40

4.1.3 COSTO TOTAL DE LA MÁQUINA

Es la inversión total efectuada para la construcción y resulta de la suma de todos los costos directos y los indirectos. Esto se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 4.7. Costo total de la máquina CNC para corte por plasma

	COSTO
MANO DE OBRA	2.130,00
MATERIALES	598,78
COMPONENTES MECÁNICOS	5.444,25
COMPONENTES ELECTRÓNICOS	1.691,00
TOTAL COSTOS DIRECTOS	9.864,03
DISEÑO Y DIRECCIÓN TÉCNICA	3.343,40
OTROS	210,00
TOTAL COSTOS INDIRECTOS	3.553,40
COSTO TOTAL	13.417,43

El costo total por la construcción de la máquina plasma CNC asciende a \$ 13.417,43 (trece mil cuatrocientos diecisiete con 43/100).

4.1.4 PRECIO DE VENTA PLASMA CNC

Obtenidos los costos de fabricación del plasma CNC es necesario registrar una utilidad a la máquina, la misma que al sumarla se convertirá en el precio de venta al público. Para poder determinar la utilidad es necesario realizar un análisis de costos e inversión efectuada para el diseño y construcción del plasma CNC y compararlo con máquinas de similares características existentes en el mercado, una vez revisados estos dos factores se establece una utilidad para el productor y finalmente el precio de venta, siguiendo la estructura de análisis antes mencionada se muestra a continuación un detalle de la utilidad y precio de venta obtenido.

Tabla 4.8. Precio de venta al público de la máquina CNC para corte por plasma

	PRECIO	
MANO DE OBRA	2.130,00	
MATERIALES	598,78	
COMPONENTES MECÁNICOS	5.444,25	
COMPONENTES ELECTRÓNICOS	1.691,00	
TOTAL COSTOS DIRECTOS		9.864,03
DISEÑO Y DIRECCION TÉCNICA	3.343,40	
OTROS	210,00	
TOTAL COSTOS INDIRECTOS		3.553,40
COSTO TOTAL		13.417,43
% UTILIDAD		20%
COSTO TOTAL + UTILIDAD		16.100,92

El precio de venta al público obtenido es de \$16.100,92 (dieciséis mil cien con 92/100) sin embargo es importante mencionar que este valor no incluye el precio del equipo de plasma cuyo costo aproximado en la marca POWERCUT 1300 ESAB es de \$6,000.00

CAPÍTULO 5

DISEÑO DEL PROGRAMA “PLASMA CNC” Y SIMULACIÓN

En el presente capítulo se describe el desarrollo de un software CAM para obtener la trayectoria de la antorcha de plasma para corte a partir de un modelo CAD. Adicionalmente, en la segunda parte del capítulo se simuló la interfaz computadora – máquina, mediante un software sender CNC (Universal Gcode sender) se envía a la información obtenida por el programa desarrollado en forma de código G hacia una tarjeta de control virtual que comanda los movimientos de los motores de paso para cada eje según la trayectoria indicada.

Para este proyecto se seleccionó Matlab como plataforma de desarrollo del programa e interfaz gráfica que permitirá extraer las características de archivos CAD en formato DXF, tomar la información sobre líneas, círculos y arcos que componen un dibujo y generar un código en formato estándar (Código G) para indicar a la máquina que debe hacer.

En la figura 5.1 se presenta un diagrama de bloques del sistema desarrollado en donde se pueden identificar las diferentes entradas y salidas en cada etapa del proceso.

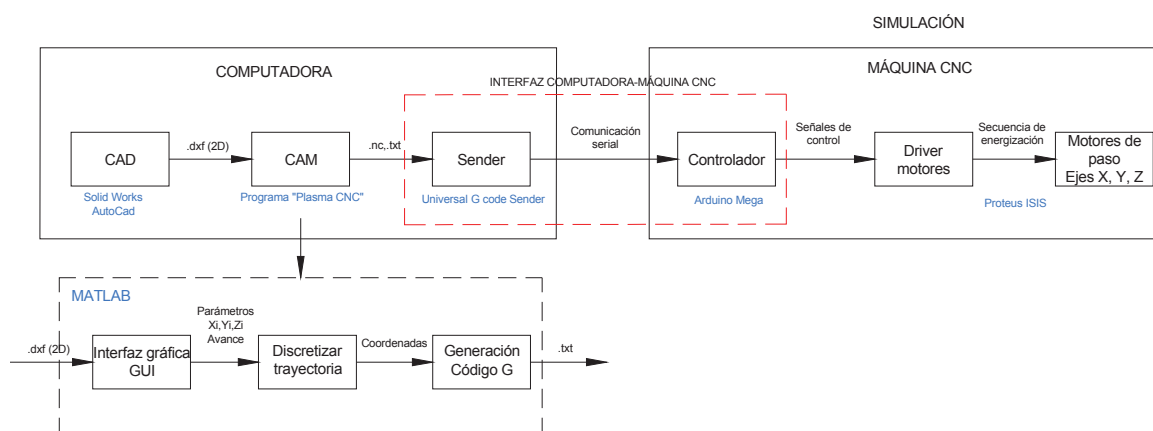


Figura 5.1 Esquema de la arquitectura para el software de la máquina

5.1 REQUERIMIENTOS DEL PROGRAMA CAM

Se requiere un programa que permita generar códigos G a partir de archivos de AutoCAD DXF 2D. Los códigos G, como se mencionó en el capítulo 1 son instrucciones para que la máquina realice movimientos y operaciones. De tal manera, el programa debe:

- Obtener la información de archivos DXF 2D en lo que tiene que ver con las coordenadas de las diferentes entidades
- Dibujar la trayectoria a seguir
- Generar códigos G estandarizados en un archivo de texto el cual pueda ser cargado en un software de control y simular la trayectoria de mecanizado

5.2 ALGORITMO PARA DETECCIÓN DE ARCHIVOS DXF

Como se mencionó en el capítulo 1, los archivos DXF son formatos de intercambio de dibujos de AutoCAD que están estructurados en secciones que contienen la información del dibujo. En la sección ENTIDADES, se encuentra toda la información de los objetos gráficos como: líneas, arcos, círculos, poli líneas y puntos.

En el presente proyecto se utilizó la función de Matlab ***f_LectDxf***⁵⁴ para la lectura de archivos DXF. Esta función presenta en Matlab la información en cuanto a coordenadas más no datos adicionales como el color de la capa, anchura de línea, estilo de línea, que en este caso no es relevante. Las coordenadas se muestran en forma de celdas que pueden ser transformadas a matrices y que más adelante podrán ser manejadas como información.

A continuación se presenta un diagrama de flujo en donde se puede observar de manera general el proceso para la obtención de coordenadas de un archivo DXF desde MATLAB mediante la función ***f_LectDxf***.

⁵⁴Mathworks; Recuperado de http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/24572-read-dxf-file-data/all_files (Noviembre 2015)

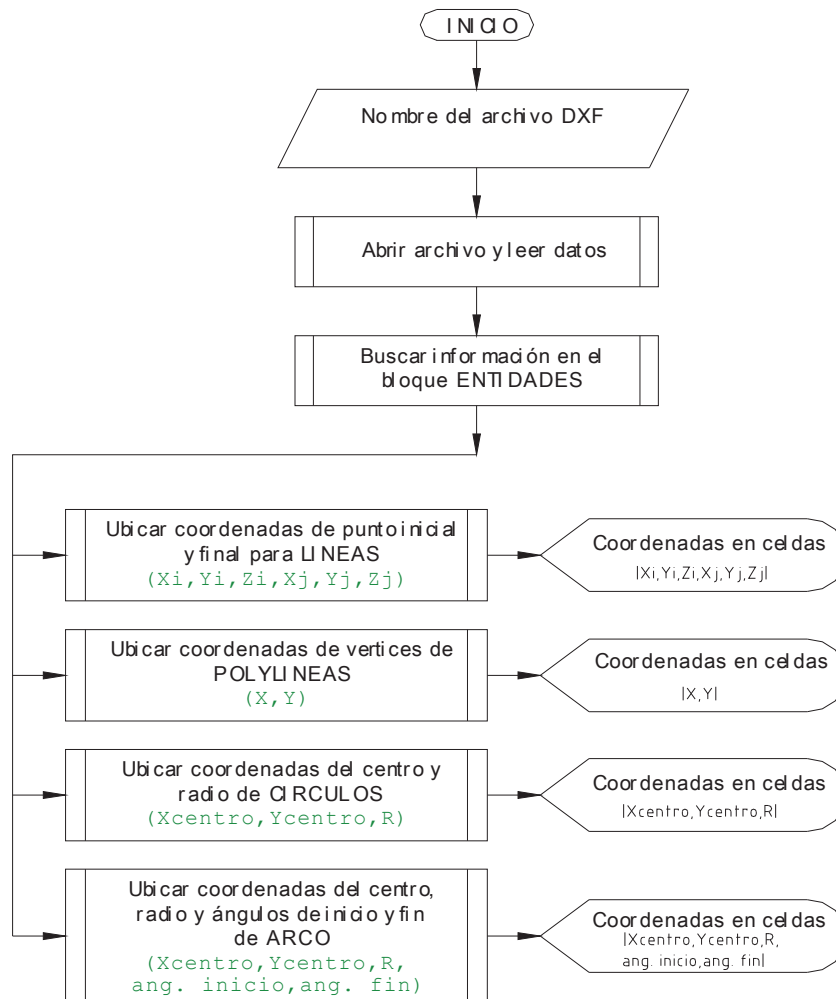


Figura 5.2 Diagrama de flujo para la función $f_LectDxf$

5.3 ALGORITMO PARA GENERACIÓN DE CODIGOS G

A partir del script indicado para lectura de archivos DXF, se desarrolló el programa que permite generar códigos G. Como primer paso, se definió los datos o parámetros que se requiere introducir en el GUI para obtener un código G que satisfaga las necesidades del usuario. Luego, mediante el manejo de la información entregada por la función $f_LectDxf$ se dibuja la trayectoria, es decir se representa en MATLAB lo que contiene el archivo DXF.

Posteriormente, mediante la manipulación de matrices se realizan algunos cálculos para obtener una matriz normalizada de la información, cuya estructura es la siguiente:

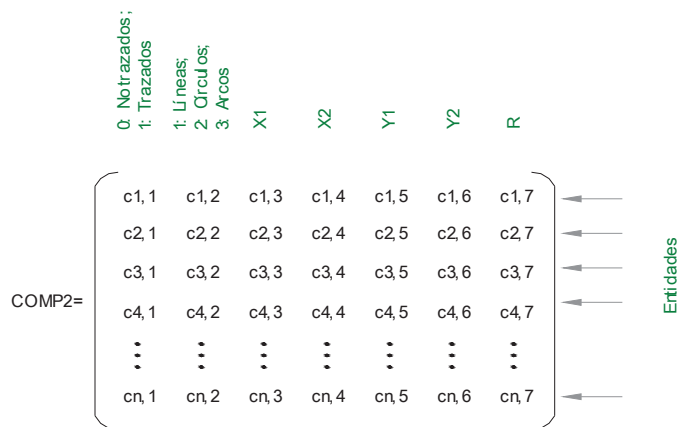
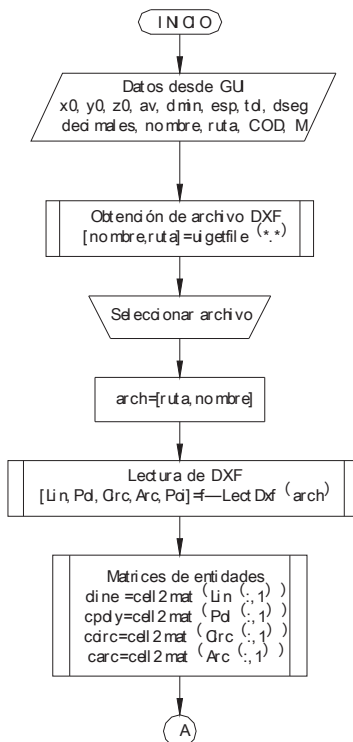


Figura 5.3 Estructura de matriz normalizada de elementos

En base a la matriz normalizada se genera la parte central del código G en lo que tiene que ver con la forma del perfil a cortar, esta parte de código se ensambla en una matriz con un encabezado y finalización que es común para todos los archivos y se presenta en la interfaz gráfica.

En la figura 5.4, se presenta el diagrama de flujo para el programa desarrollado. Las líneas de programación de las diferentes funciones se muestran en el anexo presentado como CD.



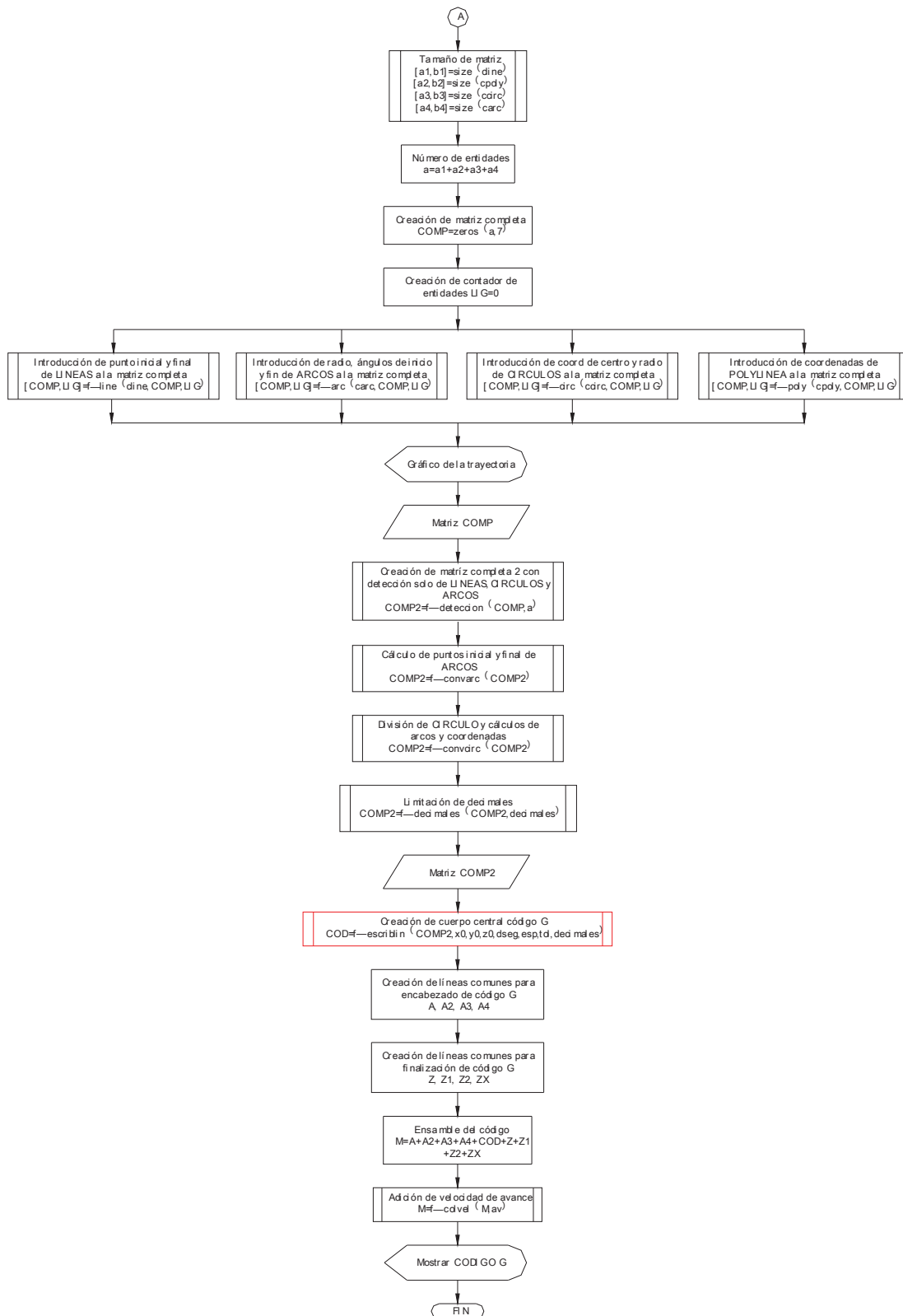


Figura 5.4 Diagrama de flujo para generación de Códigos G “Plasma CNC”

5.4 INTERFÁZ GRAFICA DEL USUARIO GUI PARA EL PROGRAMA DESARROLLADO

En la figura 5.5 se muestran la interfaz para el programa “Plasma CNC”, la misma que consta de tres pantallas. La primera es una bienvenida que permite ingresar hacia otras pantallas que son: 1. Información: donde ofrece una pequeña descripción del programa; 2. Ingreso: donde el usuario accede al programa en el que se puede cargar el archivo DXF, ingresar diferentes parámetros como: el punto x, y, z inicial para posicionamiento de la antorcha, espesor del material, altura de corte de la antorcha, velocidad de avance, altura de seguridad y generar el código G.



Figura 5.5 Pantalla de inicio programa PLASMA CNC v1.0

El funcionamiento del programa es bastante sencillo. El usuario crea el perfil 2D de la pieza en un programa CAD, exporta el diseño en un archivo DXF y lo importa al software desarrollado por medio del botón “cargar archivo”. Luego, el usuario debe configurar los parámetros de mecanizado como son: punto inicial x, y, z, espesor del material, altura de la antorcha, velocidad de avance, altura de seguridad y número de decimales para marcar la precisión. Una vez ingresados los parámetros requeridos mediante el botón “Resolver” se genera el código G. El

programa posibilita guardar el código, regresar a la pantalla de inicio o salir. Adicionalmente, permite codificar líneas, arcos y círculos, algo suficiente para la fabricación de piezas básicas como bridas, contornos de letras y números, discos, arreglos sencillos (celosías), formas libres, entre otras que son muy comunes en el uso de este tipo de máquinas.

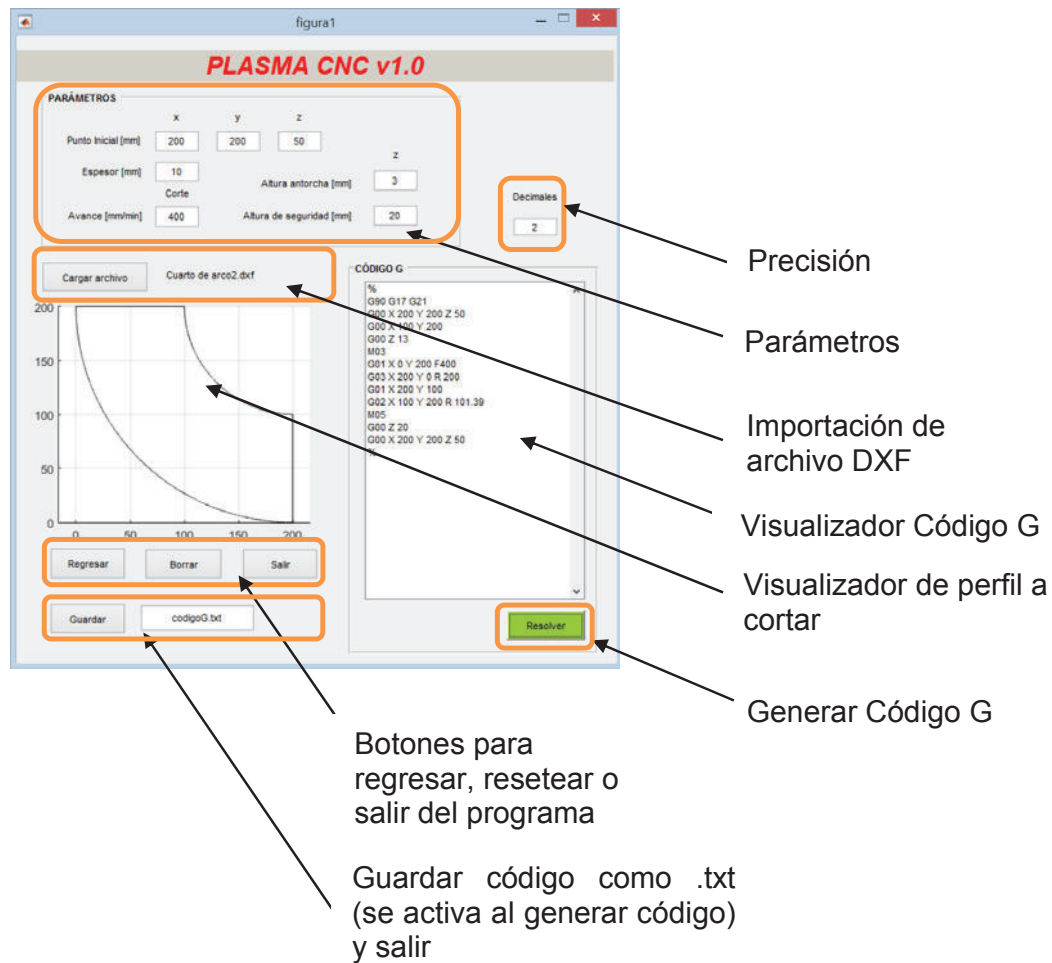


Figura 5.6 Interfaz de usuario programa PLASMA CNC v1.0

5.5 VERIFICACIÓN Y PRUEBAS

El procedimiento para generar el código G en el programa desarrollado es el siguiente:

- 1. Diseño del perfil:** El perfil de la pieza a maquinar se crea en cualquier programa CAD que permita exportar los diseños a archivos DXF. El perfil

se dibuja de tal manera que se utilice solo el primer cuadrante del sistema de coordenadas. No deben existir líneas sobre montadas y el dibujo debe ser llevado a cabo de manera ordenada. En el caso de existir en el dibujo bloques hay que explotar el dibujo de manera que se obtenga entidades sueltas.

- 2. Abrir programa Plasma CNC:** El programa puede ser abierto desde Matlab al correr el GUI de INICIO o mediante un ejecutable INICIO el mismo que no requiere Matlab.
- 3. Importación de archivo DXF:** El archivo DXF generado se importa en la aplicación desarrollada mediante la opción cargar archivo. El programa extrae las coordenadas de inicio y fin de cada entidad detectada.
- 4. Parámetros de mecanizado:** Se coloca el punto de inicio de la herramienta así como también el espesor del material y la altura de corte, normalmente este valor está entre 3 y 6 mm para corte por plasma. Adicionalmente, se coloca la velocidad de avance del corte que depende del espesor del material y la máquina de plasma que se detalla en la tabla 2.24. También se consideró la inclusión de una altura de seguridad, que es la distancia en el eje Z donde la antorcha se posiciona cada vez que termina un corte, esta acción es más utilizada cuando existen más de un perfil a cortar.
- 5. Resolver:** Por medio del botón resolver se genera el código G para el corte del perfil DXF importado.
- 6. Guardar, Borrar, Regresar:** El código G generado puede ser guardado como archivo de texto (.txt) para ser abierto por cualquier software sender. Así también, se puede resetear las pantallas para cargar un nuevo archivo mediante el botón Borrar.

A continuación se muestran un par de ejemplos resueltos y validados mediante la simulación del corte en el software profesional CNC USB CONTROLLER de las tarjetas controladoras industriales MK⁵⁵. Para cada ejemplo se presenta el código generado por el programa “Plasma CNC v1.0” y se compara con el código que se

⁵⁵ CNC USB CONTROLLER; Recuperado de <http://www.planet-cnc.com/> (Noviembre 2015)

Tabla 5.1 Validación del ejemplo 1

Programa "Plasma CNC v1.3"	Software CNC USB CONTROLLER
<pre> % G90 G17 G21 G00 X 0 Y 0 Z 50 G00 X 10 Y 10 G00 Z 8 M03 G01 X 20 Y 10 F1200 G02 X 50 Y 10 R 15 G01 X 100 Y 10 G03 X 110 Y 20 R 10 G01 X 110 Y 70 G01 X 100 Y 62 G01 X 90 Y 70 G01 X 90 Y 40 G01 X 50 Y 40 G01 X 50 Y 70 G03 X 20 Y 70 R 15 G01 X 20 Y 40 G01 X 10 Y 40 G01 X 10 Y 10 M05 G00 Z 20 G00 X 0 Y 0 Z 50 %</pre>	<pre> 1: % 2: G90 G17 G21 3: (Layer: 0) 4: G00 Z 20.00000] 5: G00 X 10.00000 Y 10.00000] 6: G01 Z 8.00000 F1.00] 7: M03 8: G01 X 20.00000 Y 10.00000 F1200.00] 9: G01 X 20.00000 Y 10.00000] 10: G02 X 50.00000 Y 10.00000 I 15.00000 J 0.00000] 11: G01 X 100.00000 Y 10.00000] 12: G03 X 110.00000 Y 20.00000 I 0.00000 J 10.00000] 13: G01 X 110.00000 Y 70.00000] 14: G01 X 100.00000 Y 62.00000] 15: G01 X 90.00000 Y 70.00000] 16: G01 X 90.00000 Y 40.00000] 17: G01 X 50.00000 Y 40.00000] 18: G01 X 50.00000 Y 70.00000] 19: G01 X 50.00000 Y 70.00000] 20: G03 X 20.00000 Y 70.00000 I -15.00000 J 0.00000] 21: G01 X 20.00000 Y 70.00000] 22: G01 X 20.00000 Y 40.00000] 23: G01 X 10.00000 Y 40.00000] 24: G01 X 10.00000 Y 10.00000] 25: M05 26: G00 Z 20.00000] 27: %</pre>

Ejemplo 2: Gancho cerrado, espesor: 10mm

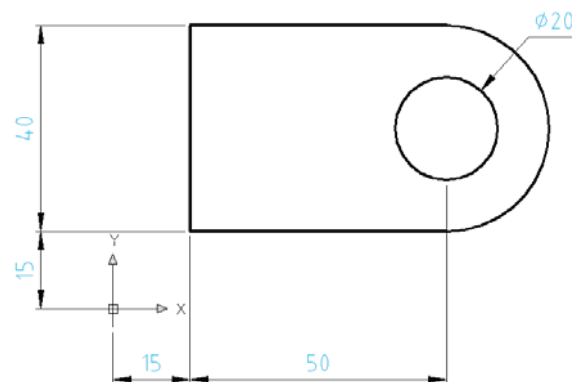


Figura 5.9 Perfil 2D correspondiente al ejemplo 2

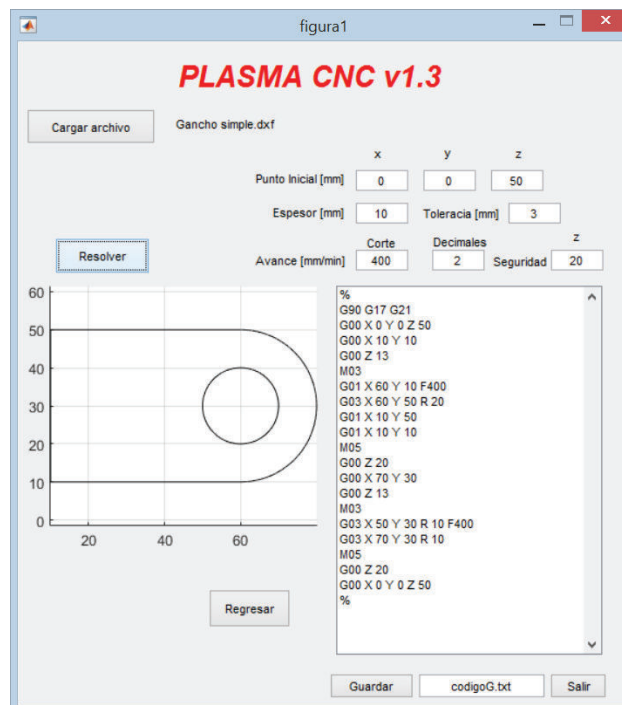


Figura 5.10. Generación de código G para ejemplo2

Tabla 5.2 Validación del ejemplo 2

Programa "Plasma CNC v1.3"	Software CNC USB CONTROLLER
<pre> % G90 G17 G21 G00 X 0 Y 0 Z 50 G00 X 10 Y 10 G00 Z 13 M03 G01 X 60 Y 10 F400 G03 X 60 Y 50 R 20 G01 X 10 Y 50 G01 X 10 Y 10 M05 G00 Z 20 G00 X 70 Y 30 G00 Z 13 M03 G03 X 50 Y 30 R 10 F400 G03 X 70 Y 30 R 10 M05 G00 Z 20 G00 X 0 Y 0 Z 50 %</pre>	<pre> 1: % 2: G90 G17 G21 3: (Layer: 0) 4: G00 Z 20.00000] 5: G00 X 10.00000 Y 10.00000] 6: G01 Z 13.00000 F400.00] 7: M03 8: G01 X 60.00000 Y 10.00000] 9: G01 X 60.00000 Y 10.00000 10: G03 X 60.00000 Y 50.00000 I 0.00000 J 20.0000] 11: G01 X 10.00000 Y 50.00000] 12: G01 X 10.00000 Y 10.00000] 13: M05 14: G00 Z 20.00000] 15: G00 X 60.00000 Y 40.00000] 16: G01 Z 13.00000] 17: M03 18: G03 X 60.00000 Y 20.00000 I 0.00000 J -10.000] 19: G03 X 60.00000 Y 40.00000 I 0.00000 J 10.0000] 20: M05 21: G00 Z 20.00000] 22: %</pre>

Ejemplo 3: Rueda de ginebra, espesor 12mm

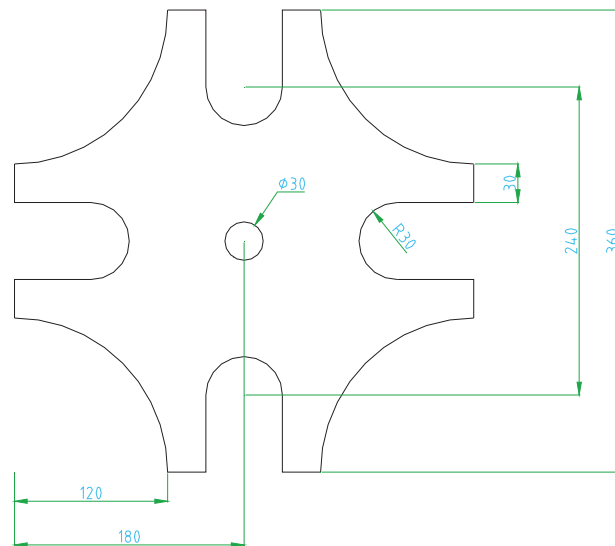


Figura 5.11 Perfil 2D correspondiente al ejemplo 3

The screenshot shows the PLASMA CNC v1.0 software interface. The window title is "figura1". The main title is "PLASMA CNC v1.0".

PARÁMETROS

	x	y	z
Punto Inicial [mm]	0	0	50
Espesor [mm]	12		
Corte		Altura antorcha [mm]	3
Avance [mm/min]	300	Altura de seguridad [mm]	20
		Decimales	2

Cargar archivo: Rueda Ginebra.dxf

CÓDIGO G

```

%
G90 G17 G21
G00 X 0 Y 0 Z 50
G00 X 120 Y 0
G00 Z 15
M03
G01 X 150 Y 0 F300
G01 X 150 Y 60
G02 X 210 Y 60 R 30
G01 X 210 Y 0
G01 X 240 Y 0
G02 X 360 Y 120 R 120
G01 X 360 Y 150
G01 X 300 Y 150
G02 X 300 Y 210 R 30
G01 X 360 Y 210
G01 X 360 Y 240
G02 X 240 Y 360 R 120
G01 X 210 Y 360
G01 X 210 Y 300
G02 X 150 Y 300 R 30
G01 X 150 Y 360
G01 X 120 Y 360
G02 X 0 Y 240 R 120
G01 X 0 Y 210
  
```

Buttons: Regresar, Borrar, Salir, Guardar, codigoG.txt, Resolver

Figura 5.12. Generación de código G para ejemplo3

Tabla 5.3 Validación del ejemplo 3

Programa "Plasma CNC v1.3"	Software CNC USB CONTROLLER
<pre> % G90 G17 G21 G00 X 0 Y 0 Z 50 G00 X 120 Y 0 G00 Z 15 M03 G01 X 150 Y 0 F300 G01 X 150 Y 60 G02 X 210 Y 60 R 30 G01 X 210 Y 0 G01 X 240 Y 0 G02 X 360 Y 120 R 120 G01 X 360 Y 150 G01 X 300 Y 150 G02 X 300 Y 210 R 30 G01 X 360 Y 210 G01 X 360 Y 240 G02 X 240 Y 360 R 120 G01 X 210 Y 360 G01 X 210 Y 300 G02 X 150 Y 300 R 30 G01 X 150 Y 360 G01 X 120 Y 360 G02 X 0 Y 240 R 120 G01 X 0 Y 210 G01 X 60 Y 210 G02 X 60 Y 150 R 30 G01 X 0 Y 150 G01 X 0 Y 120 G02 X 120 Y 0 R 120 M05 G00 Z 20 G00 X 195 Y 180 G00 Z 15 M03 G03 X 165 Y 180 R 15 F300 G03 X 195 Y 180 R 15 M05 G00 Z 20 G00 X 0 Y 0 Z 50 %</pre>	<pre> 1: % 2: G90 G17 G21 3: (Layer: 0) 4: G00 Z 20.00000] 5: G00 X 120.00000 Y 0.00000] 6: G01 Z 15.00000 F300.00] 7: M03 8: G03 X 0.00000 Y 120.00000 I -120.00000 J 0.] 9: G01 X 0.00000 Y 120.00000 10: G01 X 0.00000 Y 150.00000] 11: G01 X 60.00000 Y 150.00000] 12: G03 X 60.00000 Y 210.00000 I 0.00000 J 30.0] 13: G01 X 0.00000 Y 210.00000] 14: G01 X 0.00000 Y 240.00000] 15: G01 X 0.00000 Y 240.00000 16: G03 X 120.00000 Y 360.00000 I 0.00000 J 120] 17: G01 X 150.00000 Y 360.00000] 18: G01 X 150.00000 Y 300.00000] 19: G03 X 210.00000 Y 300.00000 I 30.00000 J 0.] 20: G01 X 210.00000 Y 360.00000] 21: G01 X 240.00000 Y 360.00000] 22: G03 X 360.00000 Y 240.00000 I 120.00000 J 0] 23: G01 X 360.00000 Y 210.00000] 24: G01 X 300.00000 Y 210.00000] 25: G03 X 300.00000 Y 150.00000 I 0.00000 J -30] 26: G01 X 360.00000 Y 150.00000] 27: G01 X 360.00000 Y 120.00000] 28: G03 X 240.00000 Y 0.00000 I 0.00000 J -120.] 29: G01 X 240.00000 Y 0.00000] 30: G01 X 210.00000 Y 0.00000] 31: G01 X 210.00000 Y 60.00000] 32: G03 X 150.00000 Y 60.00000 I -30.00000 J 0.] 33: G01 X 150.00000 Y 60.00000] 34: G01 X 150.00000 Y 0.00000] 35: G01 X 120.00000 Y 0.00000] 36: M05 37: G00 Z 20.00000] 38: G00 X 180.00000 Y 195.00000] 39: G01 Z 15.00000] 40: M03 41: G03 X 180.00000 Y 165.00000 I 0.00000 J -15] 42: G03 X 180.00000 Y 195.00000 I 0.00000 J 15.] 43: M05 44: G00 Z 20.00000]</pre>

5.6 SIMULACIÓN

Para llevar a cabo la simulación de la máquina de plasma, en primer lugar, se estableció la integración de los programas utilizados, esto se aprecia en la figura 5.13.

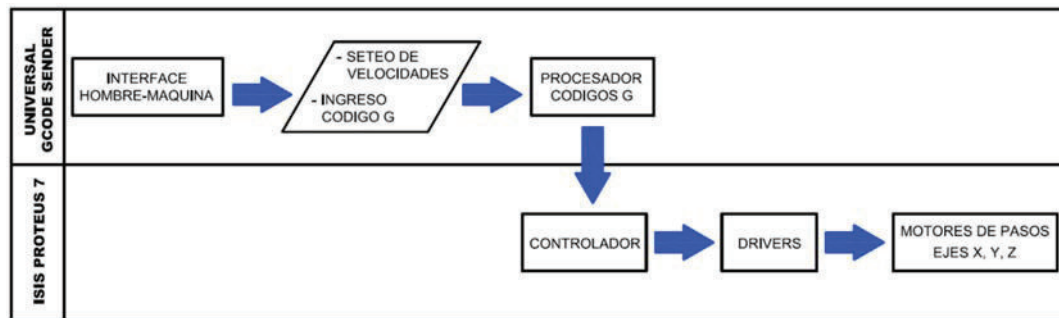


Figura 5.13 Integración de software para la simulación

El Universal Gcode Sender es un programa que sirve como interface computador – máquina desarrollado en un código abierto GRBL, que controla los movimientos de la máquina y se ejecuta en una tarjeta Arduino⁵⁶.

ISIS PROTEUS 7, es un sistema virtual de modelado que combina la simulación de circuitos, componentes animados y modelos de microprocesadores para co-simular los diseños basados en microcontroladores completos. Este programa permite a los usuarios interactuar con el diseño usando indicadores, botones, interruptores y pantallas.

5.6.1 CIRCUITO DE CONEXIONADO IMPLEMENTADO PARA LA SIMULACIÓN

En la figura 5.14, se muestra el diagrama de conexionado correspondiente al sistema de control de la máquina de plasma desarrollado en ISIS PROTEUS 7.

⁵⁶ Sonny Jeon; GRBL; Recuperado de <https://github.com/grbl/grbl/wiki> (Noviembre 2015)

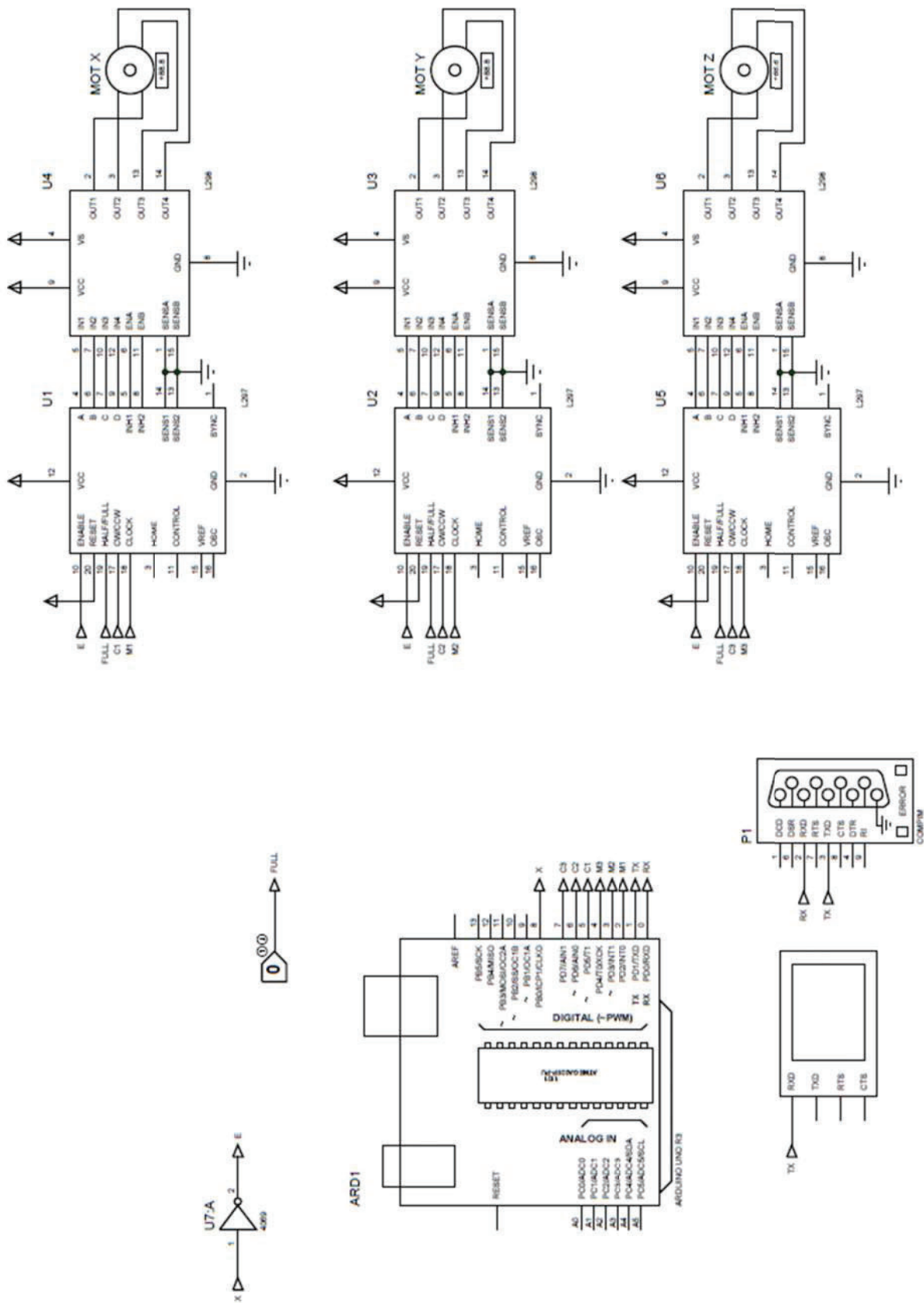


Figura 5.14. Diagrama de conexionado desarrollado en ISIS PROTEUS 7

En el circuito de la figura 5.14 se colocó un microcontrolador que es necesario para la comunicación serial y los drivers para el control de los motores de pasos.

También se incluyó un *Virtual Terminal* que sirve para mostrar que el sistema se encuentra funcionando correctamente o que se ha producido algún error. Debido a que la librería de ISIS PROTEUS 7 no dispone exactamente de algunos componentes electrónicos seleccionados en el capítulo 3, es necesario buscar las librerías equivalentes para la realización de la simulación.

En la tabla 5.4 se muestra los principales componentes del circuito real y sus librerías equivalentes para ISIS PROTEUS 7.

Tabla 5.4. Principales componentes del circuito de conexionado del sistema de control y sus librerías equivalentes de ISIS PROTEUS 7

ITEM	COMPONENTE DEL SISTEMA DE CONTROL	LIBRERIA DE ISIS PROTEUS 7
1	Motor paso a paso KL23H2100-50-4B, ejes X, Y, Z	Stepper Motor bipolar 4 wires.
2	Driver Keling Technology KL-5056D, eje X, Y, Z	L297 L298 Stepper Motor Drive, ejes X, Y, Z
3	ARDUINO MEGA 2560	ARDUINO UNO R3

5.6.2 EJECUCIÓN DE LA SIMULACIÓN

Para la ejecución de la simulación, se sigue el procedimiento descrito a continuación:

1. Se ejecuta el programa Virtual Serial Ports Emulator (VSPE), éste es un software libre destinado a crear, probar y depurar las aplicaciones que utilizan los puertos paralelos, permitiendo crear máquinas virtuales para enviar y recibir datos. Al ejecutar el VSPE, se despliega la ventana principal, se hace click en *Create new device*, para crear una nueva conexión de comunicación como se muestra en la figura 5.15.

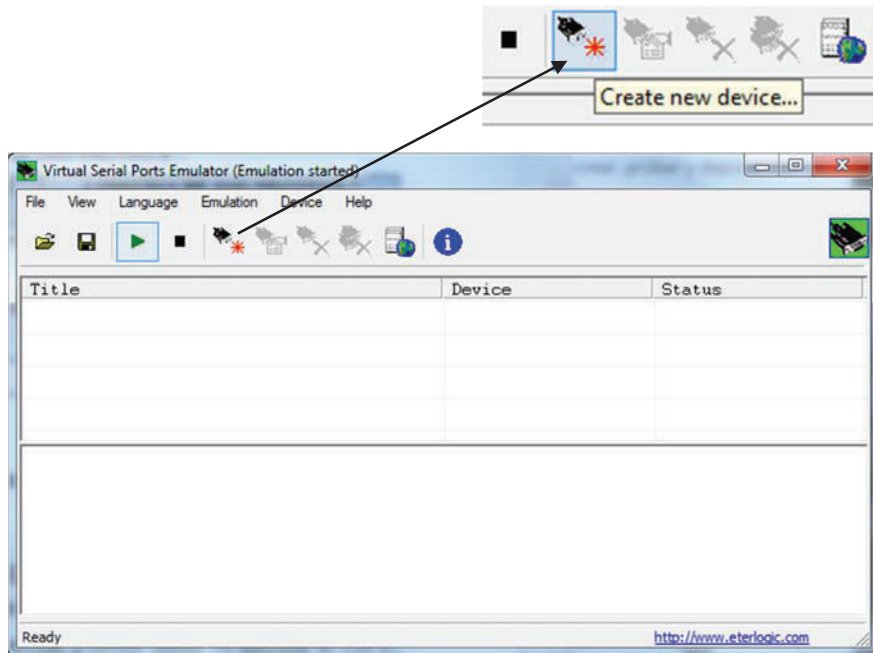


Figura 5.15. Ventana principal VSPE y creación de nuevo puerto de conexión

2. En las ventanas de *Specify device type*, se selecciona el tipo de dispositivo *Connector*, luego se selecciona el puerto serial *COM2*.

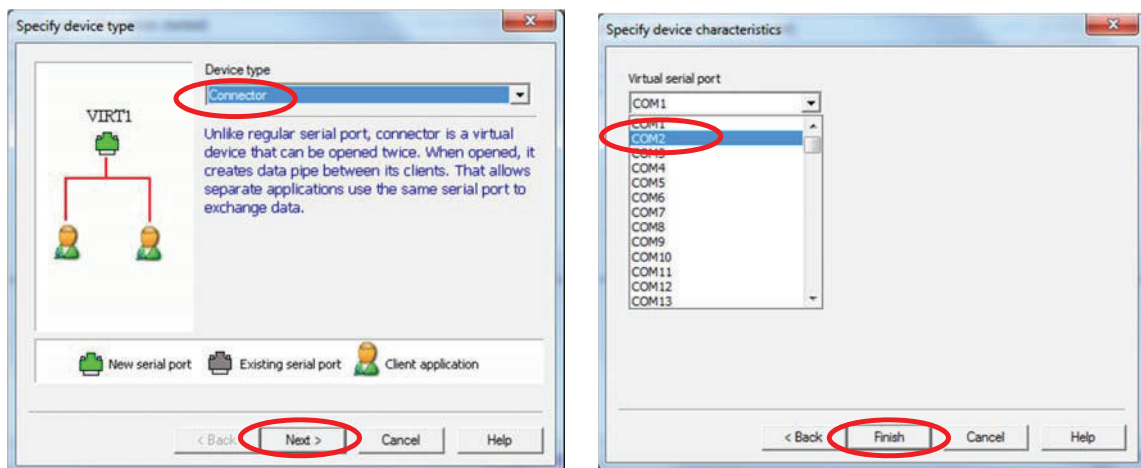


Figura 5.16. Especificación del tipo de conexión serial

3. Finalmente se hace click en *Finish*, con esto se completa la configuración del dispositivo. En la ventana principal se muestra el puerto de comunicación *COM2* listo (*Ready*).

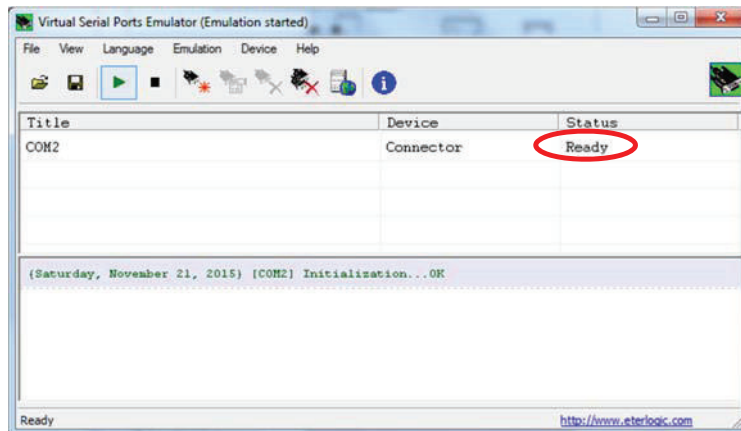


Figura 5.17. Ventana principal de VSPE que muestra la conexión virtual ya configurada

- Una vez configurado el emulador del puerto de comunicación COM2, se procede a cargar el circuito de conexionado de la figura 5.14 en el programa de ISIS PROTEUS 7.

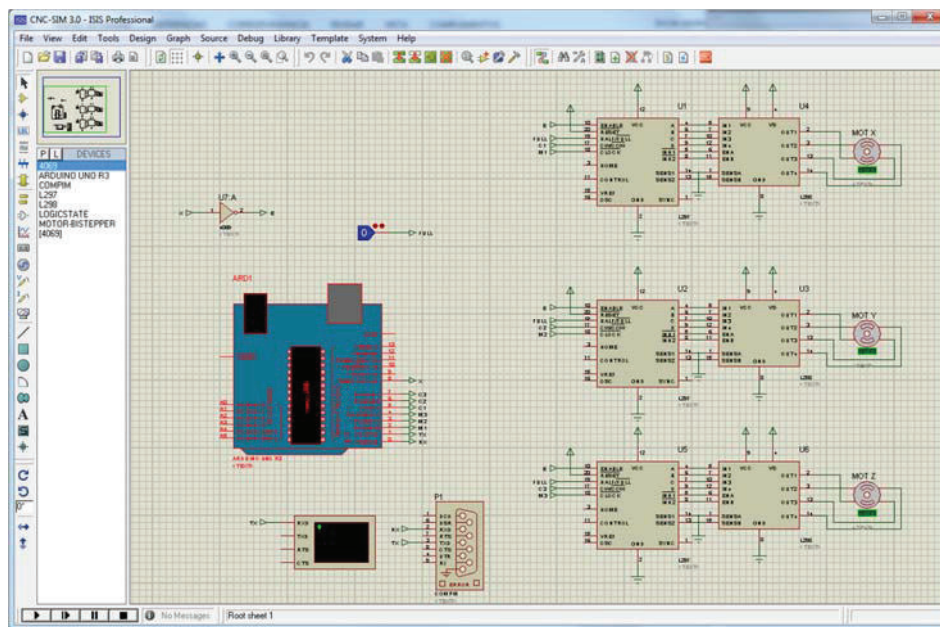


Figura 5.18. Circuito de conexionado desarrollado en ISIS PROTEUS

- Haciendo doble click en la tarjeta Arduino UNO R3 se despliega la ventana *Edit Component*, en el casillero de *Program File* se procede a cargar el archivo grblv09, que se encuentra en la carpeta de librerías de ARDUINO. El archivo grblv09, es un programa libre para controladores ARDUINO desarrollado en

lenguaje C altamente optimizado, es compatible con los estándares de códigos G. Finalmente se hace click en OK para aceptar los cambios.

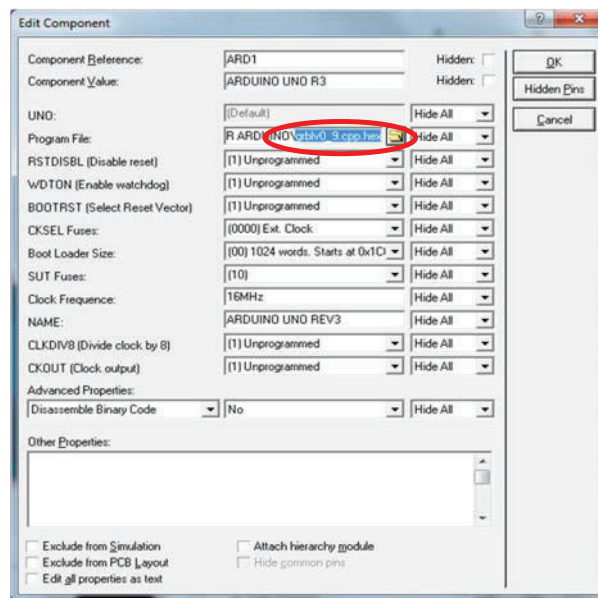


Figura 5.19. Configuración del controlador ARDUINO UNO R3

6. Una vez configurado el controlador ARDUINO UNO R3, en la barra de herramientas de simulación se hace click en play, iniciando así la depuración del sistema. Al finalizar la depuración el circuito se encuentra listo para iniciar comunicación en el UNIVERSAL GCODE SENDER.

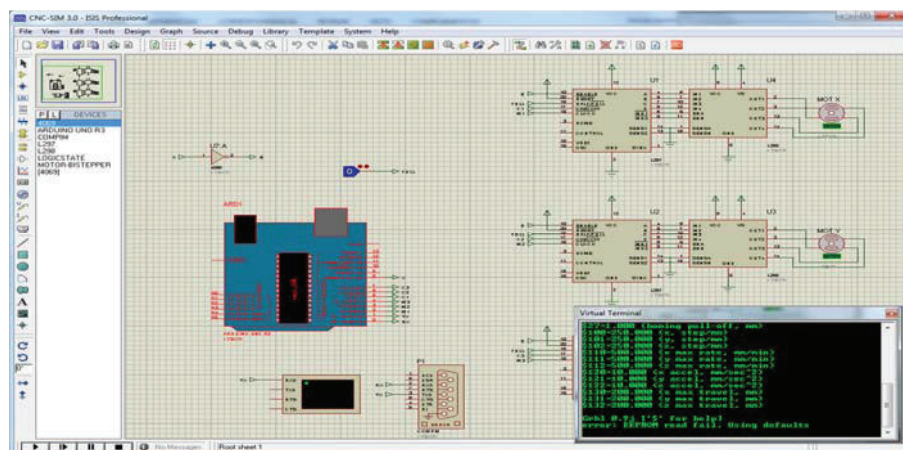


Figura 5.20. Sistema depurado y listo para iniciar comunicación

7. Se inicia el programa UNIVERSAL GCODE SENDER (Versión 1.0.8), en la pestaña *Port* se debe seleccionar COM2, como se muestra en la figura 5.21.

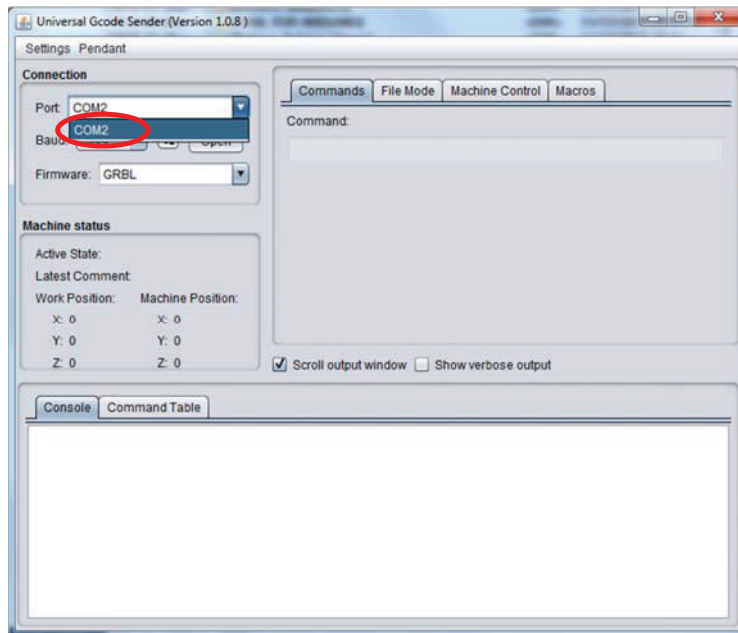


Figura 5.21. Selección del puerto de comunicación *COM2*

8. En la pestaña *File Mode*, se hace click en *Browse* para cargar el archivo *Figura.txt* que contiene el Código G del ejemplo a simular.

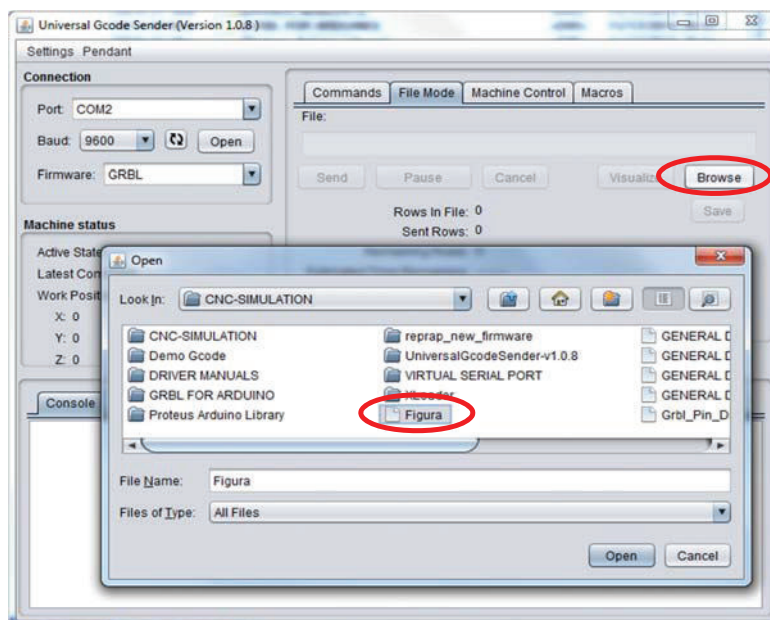


Figura 5.22. Selección del Código G

9. Una vez cargado el archivo con el Código G, se procede a abrir la conexión del puerto *COM2* haciendo click en *Open*, luego se visualiza el modelo.

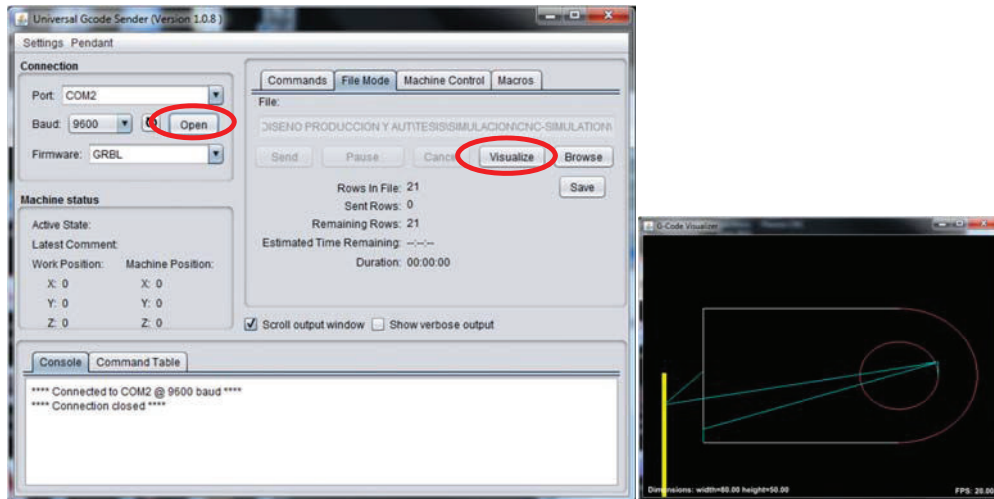


Figura 5.23. Apertura del puerto de conexión *COM2* y visualización del modelo

10. En la pestaña *Comands* se setea los parámetros de operación de la máquina. Estos parámetros se muestran digitando \$\$ en el espacio *Command*. Se deben ajustar las velocidades de pulsos o pasos con que la máquina CNC traslada la antorcha, en nuestro caso los valores a setear es de 4 pulsos/mm, para los tres ejes debido a la resolución de 0.254 mm/pulso propuesta para el diseño de la máquina de plasma.

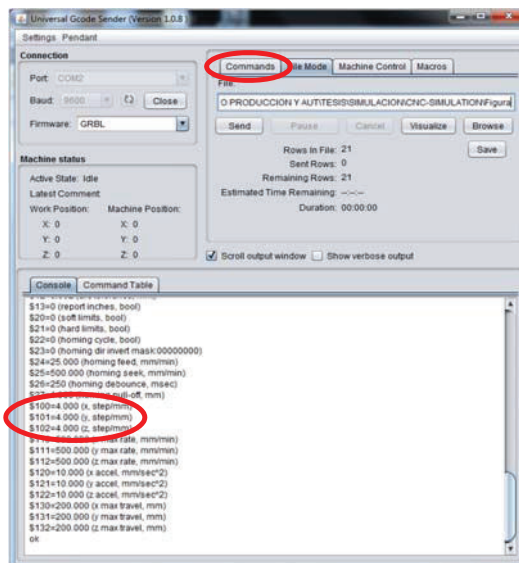


Figura 5.24 Configuración de la velocidad para los ejes X, Y, Z

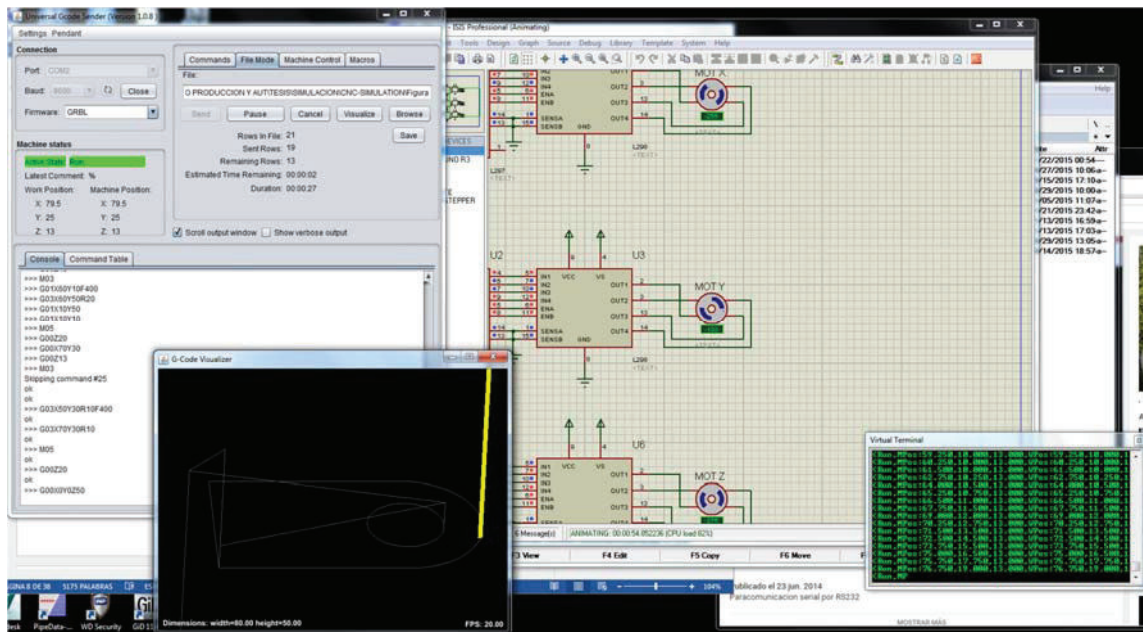
En la pestaña *Commands*, se escribe los siguientes valores:

- \$100 = 4
- \$101 = 4
- \$102 = 4

Para verificar que el seteo es el correcto se digita nuevamente \$\$ en el espacio de *command*

Los valores seteados quedan de acuerdo a la figura 5.24.

11. Finalmente para ejecutar la simulación se hace click en Send, al ejecutarse la simulación final de la máquina en la figura 5.25 se muestra su funcionamiento. Durante la simulación se muestra la ejecución de cada línea de código y el giro de los motores correspondientes a cada eje.



CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Se cumplieron satisfactoriamente los objetivos planteados ya que se realizó el diseño mecánico atendiendo todas sus etapas así como también el diseño electrónico y la programación de un software CAM, el cual mediante el ingreso de parámetros básicos y la importación de archivos DXF 2D permitió generar códigos G.
- En el análisis de los diferentes componentes se comprobó que resisten las condiciones de diseño solicitadas dando factores de seguridad altos debido a que las cargas son relativamente pequeñas y los espesores de placas, perfiles estructurales, diámetro de ejes se han seleccionado considerando la facilidad de fabricación y montaje de manera que se garantice la robustez de la máquina.
- Para generar soluciones eficientes, fue necesario establecer la estructura funcional de la máquina, lo que permitió estudiar detalladamente el proceso de corte automático por plasma y entender el flujo de entradas y salidas para llevar a cabo cada modo de operación
- El sistema CNC desarrollado dispone de los componentes que toda máquina de estas características incorporan, sean estas para uso artesanal o industrial, como son: Un eje Z para control de altura de antorcha, eje Y para desplazamiento transversal y eje X para movimiento longitudinal del pórtico.
- El control del plasma CNC se basó en un sistema de lazo abierto con motores de pasos para el accionamiento de cada eje, lo que derivó en la utilización de sistemas de transmisión con reductor de velocidad por poleas de sincronización para una mayor ganancia en la resolución y mayor torque

de salida, siempre y cuando se garantice la precisión de los componentes del sistema motriz y guías.

- Se logró desarrollar la programación para generar códigos G en coordenadas absolutas de manera que la secuencia de instrucciones permita realizar trayectorias cerradas a partir del reconocimiento del punto más cercano partiendo desde el origen ingresado desde la interfaz y de esta manera optimizar los movimientos para el corte. Sin embargo esto depende aún del orden al crear el diseño en formato DXF.
- Se desarrolló una función para crear arcos tanto en sentido horario como anti horario lo cual implicó analizar y estudiar de la forma como AutoCAD considera las coordenadas de este tipo de entidades llegando a determinar que éste software siempre dibuja los arcos de derecha a izquierda.
- Los códigos G generados fueron comparados con los códigos creados por el software profesional CNC USB Controller obteniendo resultados muy parecidos. En todos los casos la simulación de la trayectoria de corte generada fue correcta.
- La simulación planteada permitió validar tanto el conexionado de los diferentes elementos electrónicos de la máquina como los códigos G obtenidos por el programa "Plasma CNC v1.0".
- El precio del equipo es de \$16.100,92 que se encuentra por debajo del valor comercial de máquinas cortadoras por plasma CNC de dimensiones similares, por lo que se aprecia una conveniencia económica en fabricar la máquina de plasma CNC en el país en lugar de importarlo, con la ventaja de personalizar el equipo en función de los requerimientos del usuario.

6.2 RECOMENDACIONES

- Con base en el diseño mecánico, sistema de control desarrollado y validación mediante la simulación, se recomienda llevar el proyecto a su próximo estado, el cual consiste en construir un Plasma CNC, ya que de

acuerdo al análisis económico resulta más barato construir en el país este tipo de máquina-herramienta que importarlo.

- Con respecto al programa CAM, se podría extender su aplicación con la inclusión de la opción seleccionar la secuencia de corte especialmente cuando se presenta el caso de cortar tanto contorno externo como formas internas, esto con la finalidad de optimizar aún más los movimientos de la máquina. Así también, se recomienda incluir a la opción de compensación a derechas o izquierdas para atenuar los efectos del corte.
- Para trabajos futuros, se podría establecer una co - simulación entre Matlab y Solidworks mediante la aplicación de SimMechanics y una programación que permita enviar los códigos G a la máquina virtual de manera que se pueda ver en tiempo real el movimiento de los ejes según la trayectoria que establezca el código G generado. También se podría simular ente Matlab, LabView y SolidWorks por medio del módulo Softmotion y el uso de una tarjeta arduino.
- Partiendo de lo logrado en el desarrollo del programa Plasma CNC v1.0, y siguiendo las metodologías implementadas, se recomienda avanzar a la generación de códigos G para modelos hechos en 3D que son que gran utilidad hoy en día en las impresoras en tres dimensiones.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AGUINAGA ÁLVARO; “Integración CAD-CAM-CIM”; primera edición; Escuela Politécnica Nacional; Ecuador; 2013.
- ARDUINO; Recuperado de [https : // www . arduino . cc / en / Main / Arduino Board Mega2560](https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560) (Octubre 2015).
- ASME NOG-1 2010. Rules for Construction of Overhead and Gantry Cranes (Top Running Bridge, Multiple Girder).
- ATLANTA (2012); “Rack and Pinion Drive-Calculation and Selection”; Recuperado de www.atlantadrivers.com/pdf/ads_racksel.pdf (Junio, 2015).
- AUTOMATION TECHNOLOGY; “Fully Digital Stepping Driver”; Recuperado [http : // www . automation technologiaesinc .com / wpcontent / uploads / downloads / 2014/05/KL-5056D.pdf](http://www.automationtechnologiaesinc.com/wpcontent/uploads/downloads/2014/05/KL-5056D.pdf) (Octubre 2015).
- AWS C5.2; “Recommended Practices for Plasma Arc Cutting and Gouging”; 2001.
- BRAZALES, W. “Implementación de un centro de mecanizado con tres grados libertad para grabado o corte en materiales rígidos”. Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Control. EPN. Quito, Ecuador. 2013
- CNC USB CONTROLLER; Recuperado de <http://www.planet-cnc.com/> (Noviembre 2015).
- CNC RUETER SOURCE, Recuperado de <http://www.cncroutersource.com/cnc-controller-components.html>.
- CRISANTO, C (2013). “Automatización de un robot cartesiano para el proceso de soldadura lineal MIG”. (Proyecto previo a la obtención del título de ingeniero en electrónica y control). EPN. Quito – Ecuador.

ESAB (2008); "Cutting Products"; Recuperado de <http://www.esab-cutting.net/products/cutting-systems.html>; Koike Aronson (2015); "Worldwide Manufacturer of Metal Cutting, Welding & Positioning Equipment"; Recuperado de <http://www.koike.com/plasma-oxy-fuel-cutting-machines> (Abril, 2015)

F. NESSIER, (2009); "Introducción a la programación y operación de máquinas CNC"; Universidad Tecnológica Nacional, Argentina.

GATES, PowerGrip GT3; "Drive Design Manual"; Gates Corporation; 2014

GROOVER, Mikell P; "Fundamentals of Modern Manufacturing. Materials, Processes and Systems"; tercera edición; John Wiley & Sons INC; United States of America; 2007.

G. PÁRAMO (2012); "Aplicaciones de los Sistemas CAD/CAM en la manufactura moderna"; Recuperado de: <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidadeafit/article/view/1110>(Diciembre 2014).

GUALLICHICO, D; ZAMBRANO, C. "Programación e implementación de un pantógrafo CNC para oxicorte mediante el uso de Matlab basado en la importación de un archivo en formato gráfico". Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Control. EPN. Quito, Ecuador. 2012

GUANOLUISA, H; SANCHEZ, O. "Diseño y construcción de una máquina fresadora CNC de 3 grados de libertad con un volumen de trabajo útil de 500x500x100mm para tallar madera en alto y bajo relieve". Tesis previa a la obtención del grado de Máster en Diseño, Producción y Automatización Industrial. EPN. 2013

H. MORENO A. (2012); "Robots paralelos: conceptos básicos y aplicaciones"; Universidad Politécnica de Madrid; Madrid, España.

INGEACOL (2009); Recuperado de <http://www.ingeacol.com/cart> (Mayo, 2015)

KIONG Y OTROS; Precision Motion Control – Desing and Implementation; Segunda edición; Springer.

LINCOLN ELECTRIC (1999a); “What is Plasma”; Recuperado de <http://www.lincolnelectric.com/es-es/support/welding-how-to/Pages/what-is-plasma.aspx> (Abril, 2015).

LORENE, D. “Design of a desktop milling machine for fabrication in an introductory machine shop class” Proyecto previo a la obtención del título de Master of Science in Mechanical Engineering. Massachusetts Institute of Technology . 2010

MECATROBOTIC (2009); Recuperado de <http://maquinados.cnc-mecatrototic.com/> (Mayo, 2015).

MOTT ROBERT; ‘Diseño de Elementos de Máquina’; cuarta edición; Pearson Educación; México; 2006.

NSK LINEAR GUIDES; “Precision Machine Components”; primera edición, Japan NSK Ltd; Japón; 2008.

OVERBY ALAN; “CNC Machining Handbook. Building, Programming and Implementation”; primera edición; McGrawHill; United States of America; 2011.

O. OCHOA (2006); Cursos de Mecatrónica. Universidad Nacional de Colombia; Recuperado de <http://www.Virtual.unal.edu.co/cursos/ingeniería/mecatrónica/> (Diciembre, 2014).

RIBA, Carles; “Diseño Concurrente”, primera edición; Universidad Politécnica de Cataluña ETSEIB; 2002.

SICILIANO y Otros; “Springer Handbook of Robotics”; primera edición; German; 2008.

- SMID, Peter; "CNC Programming Handbook. A Comprehensive Guide to Practical CNC Programming"; segunda edición, Industrial Press Inc; New York; 2003.
- SIEMENS. PLM SOFTWARE. Recuperado de [http : // www . plm . automation . siemens . com/es_mx/plm/cam.shtml](http://www.plm.automation.siemens.com/es_mx/plm/cam.shtml) (Diciembre 2014).
- SUPRA CNC (2015); Recuperado de <http://www.supracnc.com/plasma/> (Mayo, 2015).
- SKF(1997); Recuperado de [http : // www . skf . com / es / products / linear - motion/index.html](http://www.skf.com/es/products/linear-motion/index.html) (Abril, 2015).
- SCHAEFFLER Iberia (2008): "Schaeffler Group Industrial"; Recuperado de [http://www.schaeffler.com/remotemedien/media/_shared_media/_library/01_publications/schaeffler_2/catalogue_1/downloads_6/lf1_es_es.pdf](http://www.schaeffler.com/remotemedien/media/_shared_media/08_media_library/01_publications/schaeffler_2/catalogue_1/downloads_6/lf1_es_es.pdf) (Abril, 2015).
- SINGH,Vivek; "Analysis of process parameters of Plasma Arc Cutting using design of experiments", National Institute Technology Roukela Lincoln Electric; 2011.
- SHIGLEY Joseph; "Diseño en Ingeniería Mecánica", octava edición; McGraw Hill; México; 2008.
- SUH Y OTROS, (2008); "Theory and Design of CNC Systems"; primera edición. Springer.
- SURESTEP, (2007); "Sistemas de Motores paso a paso. Manual No.: STP-SYS-MSP. Automationdirect.com".
- STOCK DRIVE PRODUCTS/STERLING INSTRUMENT (2002); "Timing belt and pulleys"; Recuperado de [https : // sdp - si . com / eStore / CenterDistanceDesigner](https://sdp-si.com/eStore/CenterDistanceDesigner) (Septiembre 2015).
- THK, "Catálogo General", Recuperado de http://www.thk.com/sites/default/files/documents/mx_pdf/product/2009/DCatalogEspanol_1.pdf

TOMAHAWK 375 AIR, Lincoln Electric; “Manual del Operador”; 2012.

SONNY JEON; GRBL; Recuperado de <https://github.com/grbl/grbl/wiki>
(Noviembre 2015)

VANEGAS L (2011); “Diseño de Tornillos”. Recuperado de
<http://www.utp.edu.co/~lvanegas/disl/Cap8.pdf> (Mayo, 2015)

VACA, S. “Diseño y simulación de un robot manipulador industrial tipo puma capaz de levantar pesos de hasta 20kg”. Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico). EPN, Quito, Ecuador. 2012

ZAVALA D. “Prototipo de un sistema de diseño y manufactura asistido por computadora, controlado por archivos de intercambio de datos”. Proyecto previo a la obtención del título de Licenciado en Electrónica y Telecomunicaciones. Universidad De LA Salle. León, México. 2005

ANEXOS

ANEXO I

ESPECIFICACIONES DEL PLASMA POWERCUT 1300 DE ESAB

PowerCut® 1300



Options & Accessories

70A spare parts kit, PT-38 0558007641
 Plasma flow measuring kit 0558000739

Torch Guide Kits

Deluxe: 1-3/4 in. (44.5 mm) 42 in. (106 cm) radius. 0558003258
 Basic: 1-3/4 in. (44.5 mm) 28 in. (71 cm) radius 0558002675

Torch holder for PT-37 torch with 32 pitch rack .. 0558005926
 Remote hand switch, 25 ft. (7.6 m)..... 0558008349
 Stand-off guide..... 0558006614
 40A drag nozzle 0558007682
 Utility cart..... 0558007898
 Gouging heat shield..... 0558008186
 Gouging nozzle..... 0558007681
 CNC cable interface 30 ft. (9 m) 57002248
 Plug-n-Play mechanized kit 0558007885
 Heavy-duty water separator 0558007897

PT-37 Replacement Torches

With rack 4.5 ft. (1.3 m) 0558004860
 With rack 17 ft. (5.2 m) 0558004861
 With rack 25 ft. (7.6 m) 0558004862
 With rack 50 ft. (15.2 m) 0558004863
 Without rack 4.5 ft. (1.3 m) 0558004894
 Without rack 17 ft. (5.2 m) 0558004895
 Without rack 25 ft. (7.6 m) 0558004896
 Without rack 50 ft. (15.2 m) 0558004897

PT-38 Replacement Torches

25 ft. (7.6 m) 0558006786
 50 ft. (15.2 m) 0558006787

Optional Five-Year Warranty

Powercut 1300 extended warrantyXWPC1300

Specifications

PowerCut 1300	
Cuts, in. (mm)	1-1/4 (32)
Severs, in. (mm)	1-1/2 (38)
Output	70A @ 60% duty cycle, 1ph 70A @ 100% duty cycle, 3ph
Input	208/230V, 1ph, 50/60Hz, 70/60A 208/230/400/460/575V, 3ph, 50/60Hz, 36/31/18/20/15A
Recommended engine driven generator power	230V, 1ph = 14kW 230V, 3ph = 12.5kW 460V, 3ph = 16kW 575V, 3ph = 16kW
Air requirements, cfm @ psig (L/min @ bar)	400 @ 90 (165 @ 4.8-5.2)
Dimensions, LxWxH, in. (mm)	27.8x12.7x14.9 (706x323x378)
Weight, lbs. (kg)	90 (41)

Cut Speed Chart (70A)

Thickness		Cut Speeds		
in.	mm	ipm	mm/min	
0.125	3.1	140	3,556	Recommended.
0.25	6.3	47	1,194	
0.375	9.5	25	635	
0.5	12.7	10	254	
0.625	15.8	25	635	
0.75	19	4	101	
1	25.4	12	304	
1.25	31	10	254	
1.5	38	5	127	Max.

ESAB Welding and Cutting Products

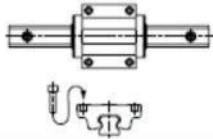
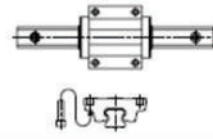
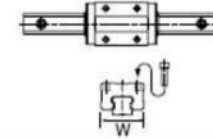
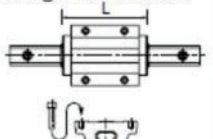
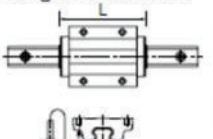
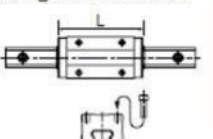
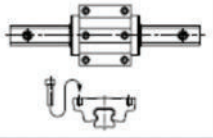
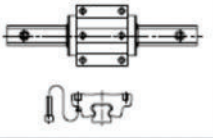
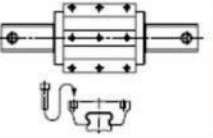
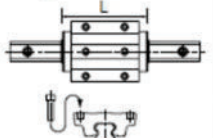
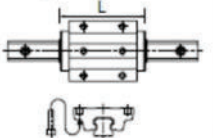
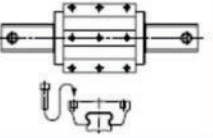
USA: www.esabna.com / 1.800.ESAB.123 | Canada: www.esab.ca / 1.877.935.3226 | Mexico: www.esab.com.mx / (81) 8305-3700

PAC-21167A_06/14

ANEXO II

TIPOS DE GUÍAS LINEALES DE LA MARCA THK Y APLICACIONES

Types and Features

<p style="text-align: center;">Model HSR-A</p> <p>The flange of the LM block has tapped holes.</p> 	<p style="text-align: center;">Model HSR-B</p> <p>The flange of the LM block has through holes. Used in places where the table cannot have through holes for mounting bolts.</p> 	<p style="text-align: center;">Model HSR-R</p> <p>Having a smaller LM block width (W) and tapped holes, this model is optimal for compact design.</p> 
<p style="text-align: center;">Model HSR-LA</p> <p>The LM block has the same sectional shape as model HSR-A, but has a longer overall LM block length (L) and a greater rated load.</p> 	<p style="text-align: center;">Model HSR-LB</p> <p>The LM block has the same sectional shape as model HSR-B, but has a longer overall LM block length (L) and a greater rated load.</p> 	<p style="text-align: center;">Model HSR-LR</p> <p>The LM block has the same sectional shape as model HSR-R, but has a longer overall LM block length (L) and a greater rated load.</p> 
<p style="text-align: center;">Model HSR-CA</p> <p>Has six tapped holes on the LM block.</p> 	<p style="text-align: center;">Model HSR-CB</p> <p>Six-bolt type. The LM block has six through holes. Used in places where the table cannot have through holes for mounting bolts.</p> 	<p style="text-align: center;">Models HSR 100/120/150 HA/HB/HR</p> <p>Large types of model HSR that can be used in large-scale machine tools and building structures.</p> 
<p style="text-align: center;">Model HSR-HA</p> <p>The LM block has the same sectional shape as model HSR-CA, but has a longer overall LM block length (L) and a greater rated load.</p> 	<p style="text-align: center;">Model HSR-HB</p> <p>The LM block has the same sectional shape as model HSR-CB, but has a longer overall LM block length (L) and a greater rated load.</p> 	<p style="text-align: center;">Models HSR 100/120/150 HA/HB/HR</p> <p>Large types of model HSR that can be used in large-scale machine tools and building structures.</p> 

ANEXO III CARACTERÍSTICAS DEL MODELO HSR-R Y HSR-B

Models HSR-R | HSR-RM
Models HSR-LR | HSR-LRM

a. Dimensions of the LM Guides

Model No.	External dimensions			LM block dimensions								Grease nipple	LM rail dimensions				Basic rating C	Dynamic rating Co	Static permissible moment kN·m ²			Mass LM rail kg/m				
	M	W	L	B	C	S x f	L1	T	K	N	E		W	W1	F	d x d x h			M1	M2	M3		M4			
HSR 1CR HSR 2CRM	28	34	58.6	26	26	MX6	38.8	8	23.3	8.3	5.6	PS12C1B	18	18	60	6X9.5X8.5	8.3	17.4	0.080	0.457	0.260	0.457	0.084	0.13	1.5	
HSR 2CR HSR 2CRM	30	44	74	32	36	MX6	50.8	8	26	5	12	B-MF	20	12	18	60	6X9.5X8.5	13.8	23.8	0.19	1.04	0.19	1.04	0.201	0.25	2.3
HSR 3CR HSR 3CRM	30	44	90	32	50	MX6	66.8	8	26	5	12	B-MF	20	12	18	60	6X9.5X8.5	21.3								
HSR 4CR HSR 4CRM	40	48	83.1	36	36	MX6	59.5	9	34.5	10	12	B-MF	23	12.5	22	60	7X11X9	19.9	34.4	0.307	1.71	0.307	1.71	0.344	0.54	3.3
HSR 5CR HSR 5CRM	40	48	102.2	36	50	MX6	76.6	9	34.5	10	12	B-MF	23	12.5	22	60	7X11X9	27.2	45.9	0.529	2.74	0.529	2.74	0.459	0.67	3.3
HSR 6CR HSR 6CRM	45	60	98	40	40	MX10	70.4	9	38	10	12	B-MF	26	16	26	80	8X14X12	28	46.8	0.524	2.7	0.524	2.7	0.562	0.9	4.8
HSR 7CR HSR 7CRM	45	60	120.6	40	60	MX10	93	9	38	10	12	B-MF	26	16	26	80	8X14X12	37.3	62.5	0.899	4.37	0.899	4.37	0.751	1.1	4.8
HSR 8CR HSR 8CRM	55	70	109.4	50	50	MX12	90.4	11.7	47.5	15	12	B-MF	34	18	29	80	8X14X12	37.3	61.1	0.792	3.93	0.792	3.93	0.905	1.5	6.6
HSR 9CR HSR 9CRM	55	70	134.8	50	72	MX12	105.8	11.7	47.5	15	12	B-MF	34	18	29	80	8X14X12	50.2	81.5	1.32	6.35	1.32	6.35	1.2	2	6.6
HSR 10CR HSR 10CRM	70	86	139	60	60	M12X17	98	15	60	20	16	B-PT1/8	45	20.5	38	105	10X20X17	60	92.6	1.42	7.30	1.42	7.30	1.83	2.6	6
HSR 11CR HSR 11CRM	70	100	133	60	60	M12X18	116	15	60	20	16	B-PT1/8	45	20.5	38	105	10X20X17	80.4	127	2.44	12.6	2.44	12.6	2.43	3.3	11
HSR 12CR HSR 12CRM	80	100	201.1	75	95	M12X18	156	20.5	67	21	16	B-PT1/8	63	23.5	44	120	16X23X20	88.5	137	2.45	13.2	2.45	13.2	3.2	4.5	15.1
HSR 13CR HSR 13CRM	90	126	186	75	100	M16X20	147	23	76	19	16	B-PT1/8	63	23.5	44	120	16X23X20	141	215	4.8	25.5	4.8	25.5	5.62	8.5	22.6
HSR 14CR HSR 14CRM	110	156	245.8	100	140	M16X20	176.6	29	94	23	16	B-PT1/8	85	30.5	66	180	24X35X28	192	286	8.72	46.5	8.72	46.5	11	17	35.2

Model number coding: HSR25 B 2 QZ UU CO M +1200L P M-II

Note: Symbol M indicates that stainless steel is used in the LM block, LM rail and balls. Those models marked with this symbol are therefore highly resistant to corrosion and environment. Static permissible moment¹ 1 block: static permissible moment value with 1 LM block. 2 blocks: static permissible moment value with 2 blocks closely contacting with each other.

Models HSR-B | HSR-BM
Models HSR-LB | HSR-LBM

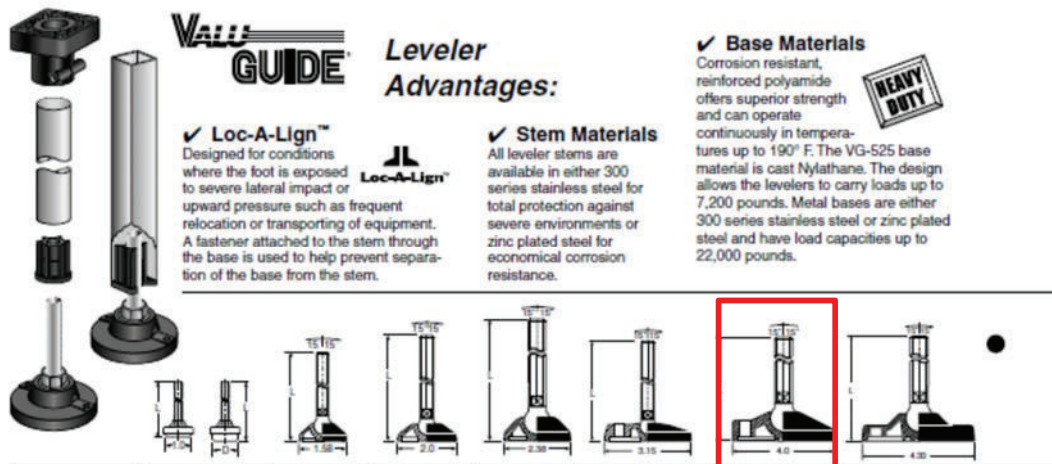
a. Dimensions of the LM Guides

Model No.	External dimensions			LM block dimensions								Grease nipple	LM rail dimensions				Basic rating C	Dynamic rating Co	Static permissible moment kN·m ²			Mass LM rail kg/m						
	M	W	L	B	C	H	L1	T	T1	K	N		E	W	W1	F			d x d x h	M1	M2		M3	M4				
HSR 1CB HSR 2CBM	24	30	46.4	26	26	MX6	38.8	8	23.3	8.3	5.6	PS12C1B	18	18	60	6X9.5X8.5	8.3	17.4	0.080	0.457	0.260	0.457	0.084	0.13	1.5			
HSR 2CB HSR 2CBM	30	40	74	32	40	MX6	50.8	10	26	5	12	B-MF	20	21.5	18	60	6X9.5X8.5	13.8	23.8	0.19	1.04	0.19	1.04	0.201	0.25	2.3		
HSR 3CB HSR 3CBM	30	40	90	32	50	MX6	66.8	10	26	5	12	B-MF	20	21.5	18	60	6X9.5X8.5	21.3										
HSR 4CB HSR 4CBM	36	70	83.1	37	45	7	59.5	16	11	10	30.5	6	12	B-MF	23	23.5	22	60	7X11X9	19.8	34.4	0.307	1.71	0.307	1.71	0.344	0.59	3.3
HSR 5CB HSR 5CBM	36	70	102.2	37	48	7	76.6	16	11	10	30.5	6	12	B-MF	23	23.5	22	60	7X11X9	27.2	45.9	0.529	2.74	0.529	2.74	0.459	0.75	3.3
HSR 6CB HSR 6CBM	42	90	98	42	52	9	70.4	19	9	10	35	7	12	B-MF	26	31	26	80	8X14X12	28	46.8	0.524	2.7	0.524	2.7	0.562	1.1	4.8
HSR 7CB HSR 7CBM	42	90	120.6	42	62	9	93	19	9	10	35	7	12	B-MF	26	31	26	80	8X14X12	37.3	62.5	0.899	4.37	0.899	4.37	0.751	1.3	4.8
HSR 8CB HSR 8CBM	48	100	109.4	48	62	9	90.4	21	12	13	40.5	8	12	B-MF	34	33	29	80	8X14X12	37.3	61.1	0.792	3.93	0.792	3.93	0.905	1.6	6.6
HSR 9CB HSR 9CBM	48	100	134.8	48	82	9	105.8	21	12	13	40.5	8	12	B-MF	34	33	29	80	8X14X12	50.2	81.5	1.32	6.35	1.32	6.35	1.2	2	6.6
HSR 10CB HSR 10CBM	60	120	139	60	80	11	98	25	13	15	50	10	16	B-PT1/8	40	37.5	38	105	10X20X17	60	92.6	1.42	7.30	1.42	7.30	1.83	2.6	6
HSR 11CB HSR 11CBM	70	140	133	70	116	95	114	116	15	17	57	11	16	B-PT1/8	53	43.5	44	120	16X23X20	80.4	127	2.44	12.6	2.44	12.6	2.43	3.3	11
HSR 12CB HSR 12CBM	80	170	201.1	80	142	116	147	156	23	23	76	19	16	B-PT1/8	63	53.5	53	150	16X23X20	141	215	4.8	25.5	4.8	25.5	5.62	8.5	22.6
HSR 13CB HSR 13CBM	90	190	186	90	164	116	147	156	23	23	76	19	16	B-PT1/8	63	53.5	53	150	16X23X20	192	286	8.72	46.5	8.72	46.5	7.7	19.7	35.2
HSR 14CB HSR 14CBM	110	210	245.8	110	186	140	176.6	236	29	34	94	23	16	B-PT1/8	85	65	65	180	24X35X28	310	310	8.71	46.6	8.71	46.6	11	17	35.2

Model number coding: HSR25 B 2 QZ UU CO M +1200L P M-II

Note: Symbol M indicates that stainless steel is used in the LM block, LM rail and balls. Those models marked with this symbol are therefore highly resistant to corrosion and environment. Static permissible moment¹ 1 block: static permissible moment value with 1 LM block. 2 blocks: static permissible moment value with 2 blocks closely contacting with each other.

ANEXO IV CARACTERÍSTICAS DE APOYOS ARTICULADOS



**VALLI
GUIDE**

**Leveler
Advantages:**

✓ Loc-A-Lign™

Designed for conditions where the foot is exposed to severe lateral impact or upward pressure such as frequent relocation or transporting of equipment. A fastener attached to the stem through the base is used to help prevent separation of the base from the stem.



✓ Stem Materials

All leveler stems are available in either 300 series stainless steel for total protection against severe environments or zinc plated steel for economical corrosion resistance.

✓ Base Materials

Corrosion resistant, reinforced polyamide offers superior strength and can operate continuously in temperatures up to 190° F. The VG-525 base material is cast Nylathane. The design allows the levelers to carry loads up to 7,200 pounds. Metal bases are either 300 series stainless steel or zinc plated steel and have load capacities up to 22,000 pounds.



Part Number	VG-580	VG-533	VG-537	VG-501	VG-505	VG-511	VG-518
Static Load (lbs) <small>2:1 safety factor included</small>	100 100 300	700	700	2000	2000	2600	4000
Available Thread Sizes	5/16-18 3/8-16 1/2-13 (D-1.5)	5/16-18 (D-1.0) 3/8-16 M10 1/2-13 M12 5/8-11 M16	3/8-16 M10 1/2-13 M12 5/8-11 M16	1/2-13 M12 5/8-11 M16 3/4-10 M20	3/8-16 M10 1/2-13 M12 5/8-11 M16	1/2-13 M12 5/8-11 M16 3/4-10 M20	1/2-13 M12 5/8-11 M16 3/4-10 M20
Overall Length (L) ±1/8" <small>Note: Not all thread sizes are available in all lengths</small>	2.13" 2.31" 3.06" 3.98"	3.70"	3.90" 6.10"	4.54" 6.22" 7.71" 10.71"	3.74" 5.93"	4.52" 6.20" 7.69" 10.89"	4.68" 6.36" 7.85" 10.85"
Articulation	N/A	±15°	±15°	±15° Loc-A-Lign ±5°	±15°	±15° Loc-A-Lign ±5°	±15° Loc-A-Lign ±5°
Loc-A-Lign™ Available	N/A	N/A	N/A	Yes	N/A	Yes	N/A
Vibration Pad	Standard on VG-580	VG-534	VG-538	VG-504	VG-506	VG-512	VG-516
Lag Holes Available	N/A	N/A	N/A	N/A	Double	Single, Double	N/A
Page Number	368	352	352	353	354	355-358	360
Solid Base Available	N/A	N/A	N/A	VG-501D page 363	VG-506D page 364	N/A	N/A
Socket Style	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	VG-511B page 365	N/A

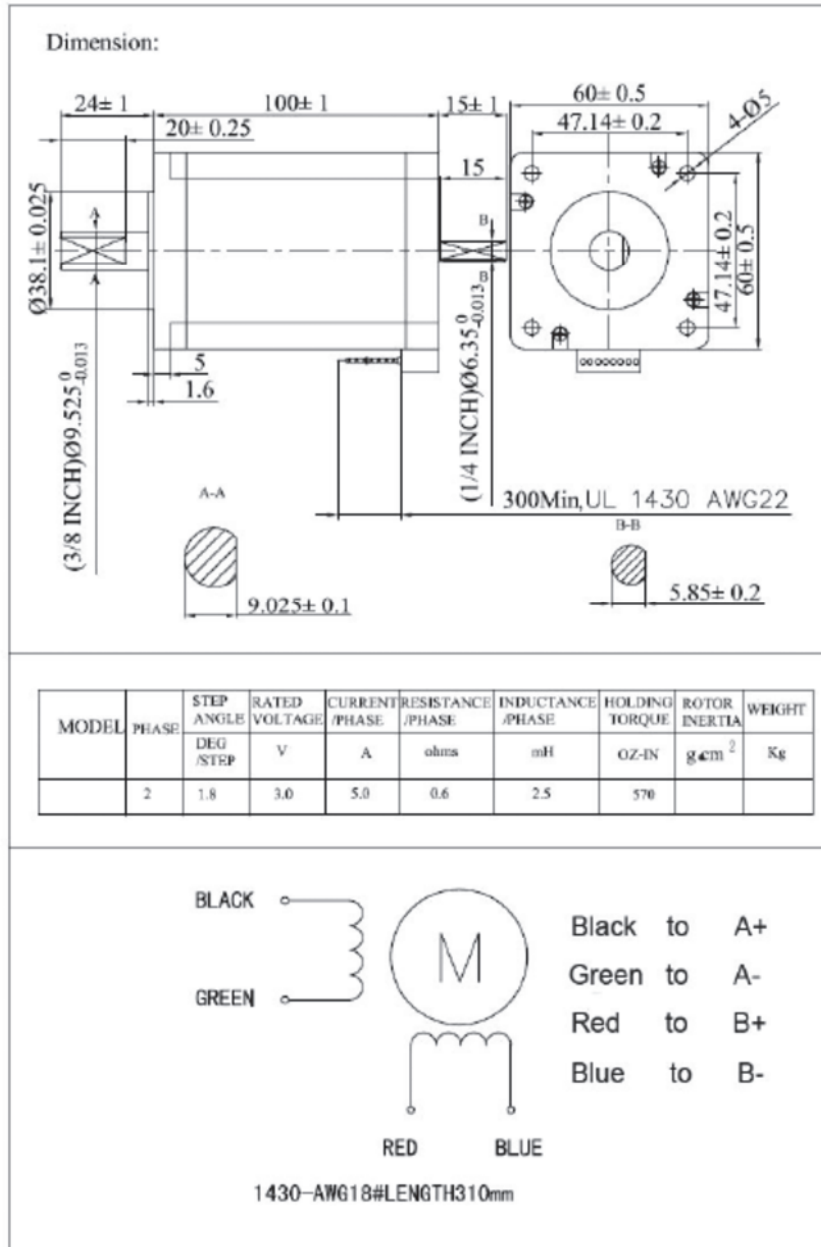
Machine & Equip. Components

ANEXO V
PLANOS CONSTRUCTIVOS

ANEXO VI

ESPECIFICACIONES MOTOR DE PASO PARA LOS EJES X, Y, Z

KL23H2100-50-4B



ANEXO VII

CARACTERÍSTICAS DRIVER MOTORES PASOS

Operating Environment and other Specifications

Cooling	Natural Cooling or Forced cooling
	Environment Avoid dust, oil fog and corrosive gases
Operating Environment	Ambient Temperature 0°C — 50°C (32°F — 122°F)
	Humidity 40%RH — 90%RH
	Operating Temperature 70°C (158°F) Max
Storage Temperature	Vibration 5.9m/s ² Max
	-20°C — 65°C (-4°F — 149°F)
Weight	Approx. 280g (10 oz)

3. Pin Assignment and Description

The KL-5056D has two connectors, connector P1 for control signals connections, and connector P2 for power and motor connections. The following tables are brief descriptions of the two connectors. More detailed descriptions of the pins and related issues are presented in section 4, 5, 9.

Connector P1 Configurations

Pin Function	Details
PUL+	Pulse signal. In single pulse (pulse/direction) mode, this input represents pulse signal, each rising or falling edge active (software configurable), 4-5V when PUL-HIGH, 0-0.5V when PUL-LOW. In double pulse mode (pulse/pulse), this input represents clockwise (CW) pulse, active both at high level and low level (software configurable). For reliable response, pulse width should be longer than 2.5-µs. Series connect resistors for current-limiting when +12V or +24V used. The same as DIR and ENA signals.
PUL-	DIR signal. In single-pulse mode, this signal has low/high voltage levels, representing two directions of motor rotation; in double-pulse mode (software configurable), this signal is counter-clock (CCW) pulse, active both at high level and low level (software configurable). For reliable motion response, DIR signal should be ahead of PUL signal by 5µs at least. 4-5V when DIR-HIGH, 0-0.5V when DIR-LOW. Please note that rotation direction is also related to motor-driver wiring match. Exchanging the connection of two wires for a coil to the driver will reverse motion direction.
DIR+	Enable signal. This signal is used for enabling/disabling the driver. High level (NPN control signal, PNP and Differential control signals are on the contrary, namely Low level for enabling.) for enabling the driver and low level for disabling the driver. Usually left UNCONNECTED (ENABLED).
DIR-	
ENA+	
ENA-	

2. Specifications

Electrical Specifications (T_a = 25°C/77°F)

Parameters	KL-5056D			Unit
	Min	Typical	Max	
Output current	0.5	-	5.6 (4.0 RMS)	A
Supply voltage	+20	+36	+50	VDC
Logic signal current	7	10	16	mA
Pulse input frequency	0	-	200	kHz
Isolation resistance	500	-	-	MΩ

Mechanical Specifications (unit: mm [inch])

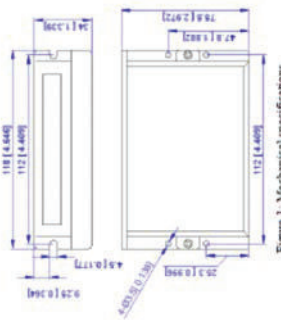


Figure 1. Mechanical specifications

Elimination of Heat

- Driver's reliable working temperature should be <70°C (158°F), and motor working temperature should be <80°C (176°F).
- It is recommended to use automatic idle-current mode, namely current automatically reduce to 60% when motor stops, so as to reduce driver heating and motor heating.
- It is recommended to mount the driver vertically to maximize heat sink area. Use forced cooling method to cool the system if necessary.

ANEXO VIII

ESPECIFICACIONES FUENTE DE ALIMENTACIÓN



600W Single Output Power Supply

SE-600 series



■ Features :

- AC input active surge current limiting
- AC input range selected by switch
- Protection: Short circuit / Overload / Over voltage / Over temperature
- Forced air cooling by built-in DC fan
- High power density 4.9w/in³
- Built-in remote sense function
- UL approved
- Low cost
- 2 years warranty



SPECIFICATION

MODEL	SE-600-5	SE-600-12	SE-600-15	SE-600-24	SE-600-27	SE-600-36	SE-600-48	
OUTPUT	DC VOLTAGE	5V	12V	15V	24V	27V	36V	48V
	RATED CURRENT	100A	50A	40A	25A	22.2A	16.6A	12.5A
	CURRENT RANGE	0 ~ 100A	0 ~ 50A	0 ~ 40A	0 ~ 25A	0 ~ 22.2A	0 ~ 16.6A	0 ~ 12.5A
	RATED POWER	500W	600W	600W	600W	599.4W	597.6W	600W
	RIPPLE & NOISE (max.) <small>Note.2</small>	150mVp-p	150mVp-p	150mVp-p	150mVp-p	150mVp-p	200mVp-p	200mVp-p
	VOLTAGE ADJ. RANGE	4.75 ~ 5.5V	10 ~ 13.5V	13.5 ~ 16.5V	22 ~ 26.4V	24 ~ 30V	32 ~ 40V	43 ~ 58V
	VOLTAGE TOLERANCE <small>Note.3</small>	±2.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%
	LINE REGULATION	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%
	LOAD REGULATION	±2.0%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%
	SETUP, RISE TIME	1000ms, 50ms/230VAC	1000ms, 50ms/115VAC at full load					
HOLD UP TIME (Typ.)	20ms/230VAC	16ms/115VAC at full load						
INPUT	VOLTAGE RANGE	90 ~ 132VAC / 180 ~ 264VAC selected by switch			254 ~ 370VDC			
	FREQUENCY RANGE	47 ~ 65Hz						
	EFFICIENCY (Typ.)	78%	83%	84%	87%	87%	87%	88%
	AC CURRENT (Typ.)	12A/115VAC	7.5A/230VAC					
	INRUSH CURRENT (Typ.)	30A/115VAC	60A/230VAC					
	LEAKAGE CURRENT	<2.0mA/240VAC						
	OVERLOAD	105 ~ 125% rated output power Protection type: Shut down o/p voltage, re-power on to recover						
PROTECTION	OVER VOLTAGE	5.75 ~ 6.3V	13.8 ~ 16.2V	18 ~ 21V	27.8 ~ 32.4V	31 ~ 36.5V	42 ~ 50V	57.6 ~ 67.2V
	OVER TEMPERATURE	85°C ±5°C (T _{SW}) defect on heatsink of power transistor Protection type: Shut down o/p voltage, recovers automatically after temperature goes down						
	WORKING TEMP.	-20 ~ +60°C (Refer to output load derating curve)						
ENVIRONMENT	WORKING HUMIDITY	20 ~ 90% RH non-condensing						
	STORAGE TEMP., HUMIDITY	-40 ~ +85°C, 10 ~ 95% RH						
	TEMP. COEFFICIENT	±0.05%/°C (0 ~ 50°C)						
	VIBRATION	10 ~ 500Hz, 2G 10min/1cycle, 60min. each along X, Y, Z axes						
SAFETY & EMC	SAFETY STANDARDS	UL60950-1 approved						
	WITHSTAND VOLTAGE	IP-QP:3KVAC	IP-FG:1.5KVAC	OP-FG:0.5KVAC				
	ISOLATION RESISTANCE	IP-QP, IP-FG, OP-FG: 100M Ohm@500VDC						
OTHERS	MTBF	197K hrs min. MIL-HDBK-217F (25°C)						
	DIMENSION	247*127*63.5mm (L*W*H)						
	PACKING	2.1Kg; 6pcs/13.4Kg/1.03CUFT						
NOTE	<ol style="list-style-type: none"> All parameters NOT specially mentioned are measured at 230VAC input, rated load and 25°C of ambient temperature. Ripple & noise are measured at 20MHz of bandwidth by using a 12" twisted pair wire terminated with a 0.1µF & 47µF parallel capacitor. Tolerance : includes set up tolerance, line regulation and load regulation. 							

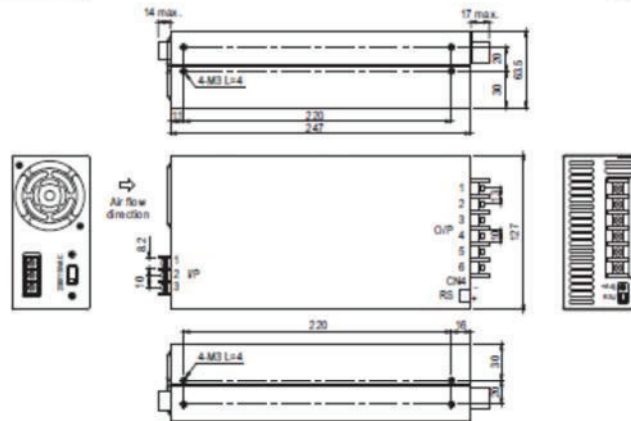


600W Single Output Power Supply

SE-600 series

Mechanical Specification

Case No. 926A Un:1mm



AC Input terminal :

Pin No.	Assignment
1	AC/L
2	AC/N
3	FG ↓

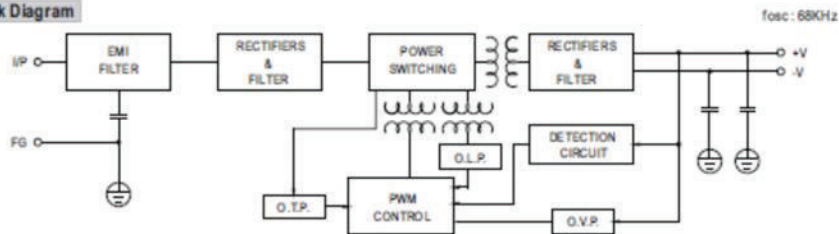
DC Output terminal :

Pin No.	Assignment
1-3	+V
4-6	-V

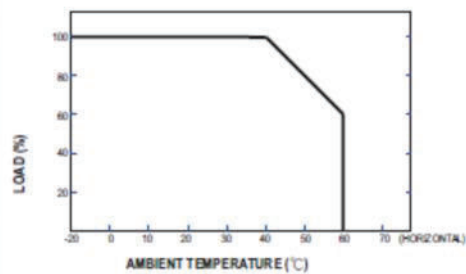
RS Connector (CN1) : JST B-XH or equivalent

Pin No.	Assignment	Mating Housing	Terminal
1	+S	JST XHP	JST SXH-00T
2	-S	orequivalent	orequivalent

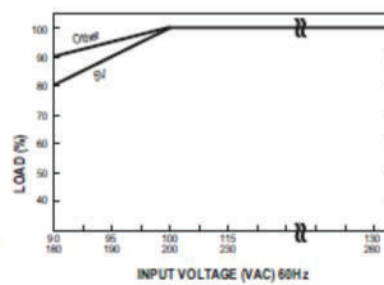
Block Diagram



Derating Curve



Static Characteristics



ANEXO IX

EJEMPLOS RESUELTOS EN “Plasma CNC v1.0”

